

KLIMA.PROFIT



Stadt und Unternehmen im Dialog

Klimaanpassung in Bestandsgewerbegebieten unter besonderer Berücksichtigung der regionalen Wertschöpfung und Zukunftsfähigkeit

KLIMA.PROFIT



Stadt und Unternehmen im Dialog

Klimaanpassung in Bestandsgewerbegebieten
unter besonderer Berücksichtigung der
regionalen Wertschöpfung und Zukunftsfähigkeit

Inhalt

Einführung	5
KLIMA.PROFIT	7
Projektziele.....	7
Umsetzung und Ergebnisse.....	9
Vorstellung der Projektgebiete	11
Projektgebiet Bochum Wattenscheid-Ost / Hansastraße	11
Projektgebiet Dortmund Dorstfeld-West.....	13
Projektgebiet Duisburg Kaßlerfeld.....	13
Klima: Wandel und Anpassung	15
Gewerbegebiete im Klimawandel	17
Risiken der Klimawandelfolgen.....	17
Chancen der Klimawandelfolgen	19
Klimawandel im Ruhrgebiet	21
Was bedeutet der Klimawandel für die drei Fallstudiengebieten	27
Bochum	27
Dortmund.....	29
Duisburg.....	33

Möglichkeiten zur Klimaanpassung in Bestandsgewerbegebieten	37
Maßnahmen zur Reduzierung der Hitzebelastung	37
Maßnahmen zur Abgrenzung der Hitzeinsel zum Wohnbestand	38
Maßnahmen zum Erhalt der lokalen Belüftungsfunktion.	38
Maßnahmen zur Vermeidung von Schäden durch Überflutungen	39
Maßnahmen zur Vermeidung von Sturmschäden.	39
Bewertung von Maßnahmen für Gebäude und Außengelände.	40
Bewertung von Maßnahmen für Gebäude und Außengelände (Tabelle 02)	42
Klimaanpassungsmaßnahmen in den Projektgebieten	45
Wenn Hitze zu Produktionsausfällen führt (Dortmund)	45
Wenn Starkregen meinen Standort überflutet (Duisburg)	50
Wie gemeinsame Anpassungsmaßnahmen mehr bewirken (Bochum)	56
KLIMA.PROFIT: Wie Anpassung „Mehrwert“ schafft	61
Einführung Kosten-Nutzen-Analyse von Anpassungsmaßnahmen.	61
Ergebnisse der Kosten-Nutzen-Analysen	63
Kritische Diskussion von Kosten-Nutzen-Analysen von einzelunternehmerischen Maßnahmen zur Klimaanpassung	67
Leitfaden zur Klimaanpassung von Bestandsgewerbegebieten	69
Fazit	75
Quellen und Weitere Informationen	77
Ansprechpersonen der Modellgebiete	78
Endnoten	80
Impressum	82



Einführung

Der Einfluss des Klimawandels auf Menschen und Natur, Städte und Gemeinden, Unternehmen und Infrastrukturen ist enorm und Wetterextreme häufen sich: Dürreperioden, Überschwemmungen nach Starkniederschlägen, Hitzewellen oder Stürme – die Folgen können lokal begrenzt, regional oder landesweit zu erheblichen materiellen und immateriellen Schäden führen. Jüngste Ereignisse wie die Hochwasserkatastrophe 2021 und Berichte hierzu machen die Intensität des Klimawandels deutlich. Wie groß die Schäden und damit verbundenen Einschränkungen sind, hängt insbesondere von der Anpassungsfähigkeit bestehender Systeme und Infrastrukturen ab. Eine zentrale Rolle spielt dabei die Gestaltung und Anpassung bestehender Siedlungsstrukturen. Das betrifft Verkehrsflächen Wohnbauflächen, Industrie- und Gewerbeflächen und sowie verbundene Maßnahmen an sozialen und technischen Infrastrukturen. Die Bandbreite reicht dabei von einer vorsorgenden Siedlungsplanung, etwa durch Erhalt von Freiflächen in der Nähe von Fließgewässern, über den vorsorgenden Katastrophenschutz,

bspw. durch Hochwasserschutzsysteme, bis hin zu kleinflächigen Entsiegelungsmaßnahmen zur Schaffung von Retentionsflächen.

Knapp 20 % der Siedlungsfläche in Deutschland entfallen auf Industrie- und Gewerbeflächen.¹ Das veranschaulicht die Dimensionen der Herausforderung, die mit Blick auf die bereits eingetretenen sowie zu erwartenden Klimawandelfolgen zu bewältigen sind. Diese Flächen sind durch einen hohen Anteil von Rangier-, Lager- und Parkflächen geprägt und weisen mit durchschnittlich über 60 % einen hohen Versiegelungsgrad auf.² Entsprechend ist der Anteil von unversiegelten Flächen sowie Grünflächen sehr gering, was die Verletzlichkeit (Vulnerabilität) der Standorte im Hinblick auf Hitze- und Starkregenereignisse stark erhöht. Hinzu kommen erhebliche Luftschadstoffbelastungen durch Emissionen der Produktionsbetriebe, das Verkehrsaufkommen sowie Lärmbelastungen der angrenzenden Wohngebiete durch Produktion und Verkehr. Städtebaulich lange vernachlässigt,

bieten insbesondere zentral oder innenstadtnah gelegene Gewerbegebiete erhebliche Potenziale für eine zukunftsfähige Stadtentwicklung. Dabei spielen Aspekte wie Aufenthaltsqualität, Standortimage, urbane Produktion oder Diversifizierung eine wichtige Rolle. Im Zusammenhang mit Maßnahmen zur Klimaanpassung können wichtige Impulse zur nachhaltigen Entwicklung von Gewerbegebieten im Speziellen sowie des Quartiers oder der Stadt insgesamt entstehen, um weitere Schritte in Richtung Klimaschutz zu setzen. Mit dem Projekt KLIMA.PROFIT werden Maßnahmen zur Klimaanpassung in Bestandsgewerbegebieten in Bochum, Dortmund und Duisburg entwickelt und untersucht. Ziel der Maßnahmen ist es, bereits heute eingetretene Schadensereignisse an den Gewerbebeständen zu minimieren und die Gebiete damit insgesamt resilienter gegenüber den Folgen des Klimawandels zu machen. Von Bedeutung ist dabei, den ökonomischen Mehrwert von Anpassungsmaßnahmen zu identifizieren und zu kommunizieren.

Abbildung 01: Hochwasserschutz-Sandsäcke mit überfluteten Häusern im Hintergrund

Quelle: mbruxelle / stock.adobe.com



KLIMA.PROFIT

Das Projekt KLIMA.PROFIT wurde vom Deutschen Institut für Urbanistik (Difu) und der EPC gGmbH zwischen Januar 2019 und Dezember 2021 durchgeführt. Es wurde durch das [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit](#) unter dem Förderkennzeichen 03DAS169A als ein Leuchtturmvorhaben (Förderschwerpunkt 3) der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) gefördert. Betreut wurde das Projekt durch den [Projektträger ZUG](#).

Projektziele

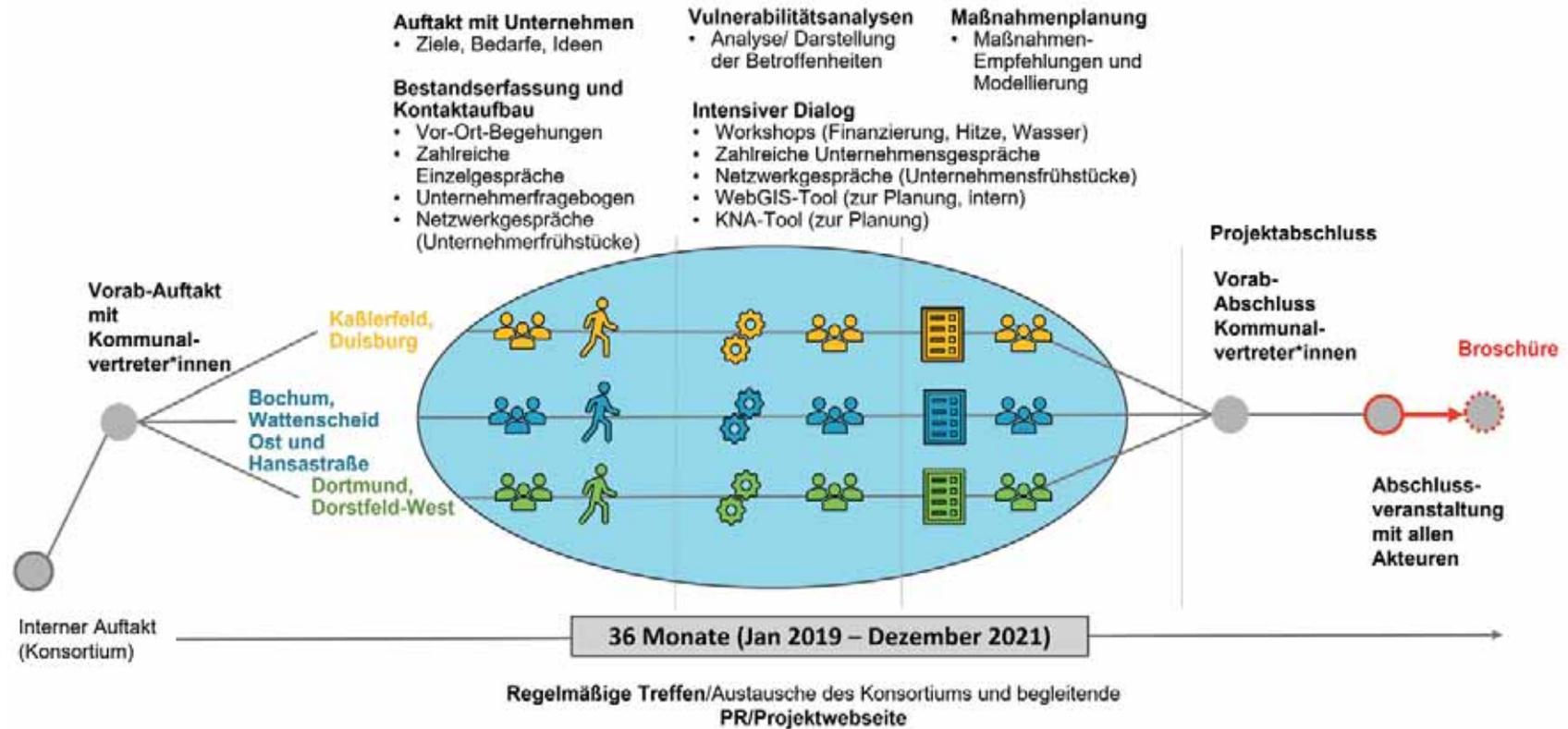
Zentrales Projektziel von KLIMA.PROFIT ist es, Maßnahmen zur Klimaanpassung in Bestandsgewerbegebieten in Dortmund, Bochum und Duisburg zu initiieren, zu entwickeln und vorzubereiten sowie

deren Umsetzung zu unterstützen. Ziel der Maßnahmen ist es, wetterbedingte Schadensereignisse an den Gewerbestandorten zu vermindern und die Gebiete gegenüber klimabedingten Wetterereignissen resilienter zu machen, bestenfalls mit einer Wirkung für den ganzen Stadtteil. Darüber hinaus fördern diese Maßnahmen die Aufwertung gewerblich genutzter Areale, erhöhen die Aufenthaltsqualität der Gewerbestandorte und verbessern somit die Arbeits- und Standortbedingungen. Eine solche Aufwertung kann der Ansiedlung neuer und Stärkung bestehender Unternehmen und letztlich der Schaffung neuer Arbeitsplätze Vorschub leisten. Das Projekt basiert auf der Erkenntnis, dass die Entwicklung klimaangepasster Bestandsgewerbegebiete nur durch die Einbindung relevanter lokaler Akteure (Unternehmen, Eigentümer, Wirtschaftsförderung, Stadtplanung) gelingen und nachhaltig gesichert

werden kann. Vor diesem Hintergrund ist ein weiteres Hauptziel von KLIMA.PROFIT, die verschiedenen Interessen der gebietsrelevanten Akteure zu identifizieren und mit Bezug auf Klimaanpassung zu analysieren und miteinander zu verbinden. KLIMA.PROFIT wird die verschiedenen Interessen der oben aufgeführten Akteure miteinander verknüpfen und eine „klimaangepasste Entwicklung der Gebiete“ als gemeinsames Ziel verankern. Ein wesentliches Teilziel ist es dabei, den Unternehmen mittels qualitativer und quantitativer Kosten / Nutzen-Analysen die Vorteile von Klimaanpassungsmaßnahmen zu verdeutlichen sowie die Umsetzung erster niedrigschwellige Maßnahmen anzustoßen. Durch die Anpassung an die Folgen des Klimawandels kann die Zukunftsfähigkeit der Bestandsgebiete positiv beeinflusst werden. Hiervon profitieren Unternehmen und Kommunen gleichermaßen.

Abbildung 02: Klimaanpassung – Wasser nutzen statt ableiten.
Quelle: Maic Verbücheln / Deutsches Institut für Urbanistik (Difu)

Projektverlauf und Ergebnisse (Abb. 03)



Quelle: Eigene Darstellung

„Durch die Anpassung an die Folgen des Klimawandels wird die Zukunftsfähigkeit der Bestandsgebiete positiv beeinflusst. Hiervon profitieren Unternehmen und Kommunen gleichermaßen.“

Umsetzung und Ergebnisse

Die Umsetzung des Projektes erfolgte in mehreren, aufeinander aufbauenden Arbeitsschritten. Abbildung 03 stellt den Projektverlauf sowie jeweiligen Aktivitäten / Ergebnisse im Überblick dar.

Im engen Austausch mit den Kommunen, Wirtschaftsförderungen und lokalen Unternehmen wurde zunächst die lokale Situation in den drei Gewerbegebieten analysiert. Im Mittelpunkt standen dabei die

Betroffenheiten der Unternehmen durch klimawandelbedingte Wetterereignisse und deren Auswirkungen auf das unternehmerische Handeln. Gestützt wurden diese qualitativen Erkenntnisse durch jeweils gebietsspezifische Vulnerabilitätsanalysen. Somit kann das aktuelle und zukünftige Gefährdungspotenzial der Standorte gegenüber den Folgen des Klimawandels besser eingeschätzt und gegenüber den Unternehmen kommuniziert werden. Mit besonders

Betroffenen und am Projekt interessierten Unternehmen wurden Handlungsempfehlungen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels diskutiert und die Wirkungen der Maßnahmen modelliert. Für ausgewählte Maßnahmen wurden im Folgenden beispielhaft Kosten-Nutzen-Analysen zur ökonomischen Bewertung von Anpassungsmaßnahmen auf Ebene der Unternehmen durchgeführt.



Vorstellung der Projektgebiete

Das Ruhrgebiet ist durch die jahrzehntelange monoindustrielle Ausprägung der Wirtschaft besonders stark vom ökonomischen Strukturwandel sowie den anhaltenden Folgen klimaschädlicher Wirtschaftsformen betroffen. Viele Gewerbegebiete in der Region werden in den nächsten Jahren transformiert und modernisiert. Vor diesem Hintergrund ist die Revitalisierung von Gewerbebestandsgebieten ein zentraler Schwerpunkt der regionalen Wirtschaftsförderung und Flächenentwicklung. In den ausgewählten Gewerbegebieten der Städte Bochum, Dortmund und Duisburg sind die bestehenden Probleme auf administrativ-planerischer Seite erkannt. Das Projekt KLIMA.PROFIT arbeitete in den folgenden drei Gewerbegebieten:

- Bochum – Gewerbegebiet Wattenscheid Ost und Hansastraße
- Dortmund – Gewerbe- und Industriegebiet Dorstfeld West
- Duisburg – Gewerbe- und Industriegebiet Kaßlerfeld

Projektgebiet Bochum Wattenscheid- Ost / Hansastraße

Das Bochumer Gewerbegebiet Wattenscheid Ost und Hansastraße ist ein langjährig gewachsener Standort, der zwei aneinandergrenzende Gewerbegebiete um-

fasst. Die beiden Gebiete mit insgesamt rund 1.500 Beschäftigten zeichnen sich durch einen vielfältigen Branchenmix aus, der durch Logistiker, Baustoffhändler, Autohäuser, Handwerksbetriebe und Dienstleister geprägt ist.

Die für eine klimaangepasste Entwicklung des Gewerbegebiets Wattenscheid Ost und Hansastraße relevanten Konzepte umfassen neben dem Integrierten städtebaulichen Entwicklungskonzept (ISEK) „Gesundes Wattenscheid“³ das Bochumer Klimaanpassungskonzept⁴ und die Zukunftsvereinbarung Regenwasser. Das 2015 entwickelte ISEK zeigt in seiner SWOT-Analyse u.a. die Chancen (z.B. ökologische Aufwertung der

Abbildung 04: Heizkraftwerk Duisburg-Hamborn

Quelle: Wibke / pixabay.com



Abb. 05: Projektgebiet Bochum Wattenscheid-Ost / Hansastraße, Quelle: openstreetmap.org



Abb. 06: Projektgebiet Dortmund Dorstfeld-West, Quelle: openstreetmap.org

Gewerbeflächen durch Entsiegelung/Grundstückbe-
grünung unter Berücksichtigung der Interessen der
Gewerbetreibenden) und Risiken (z.B. fehlende In-
vestitionsbereitschaft in gewerbliche Immobilien) der
Gewerbstandorte auf.

Zur Erarbeitung der gewerblichen Entwicklungszie-
le in Wattenscheid Ost sind u.a. die Umsetzung der

städtischen Klimaanpassungsstrategie im Stadtbe-
zirk Wattenscheid sowie die Erstellung eines Profi-
lierungs- und Entwicklungskonzepts geplant. Zur Ge-
werbehofentwicklung im Gebiet Hansastraße wurde
im ISEK zudem eine Bedarfs- und Konzeptstudie zur
Standortsicherung und -aufwertung, Leerstandsre-
aktivierung sowie die Entwicklung eines Gewerbe-
hofs für junge Unternehmerinnen und Unternehmer

angedacht. Mittelfristig soll ein Citymanagement zur
Vernetzung und Beratung der Akteure vor Ort etab-
liert werden.

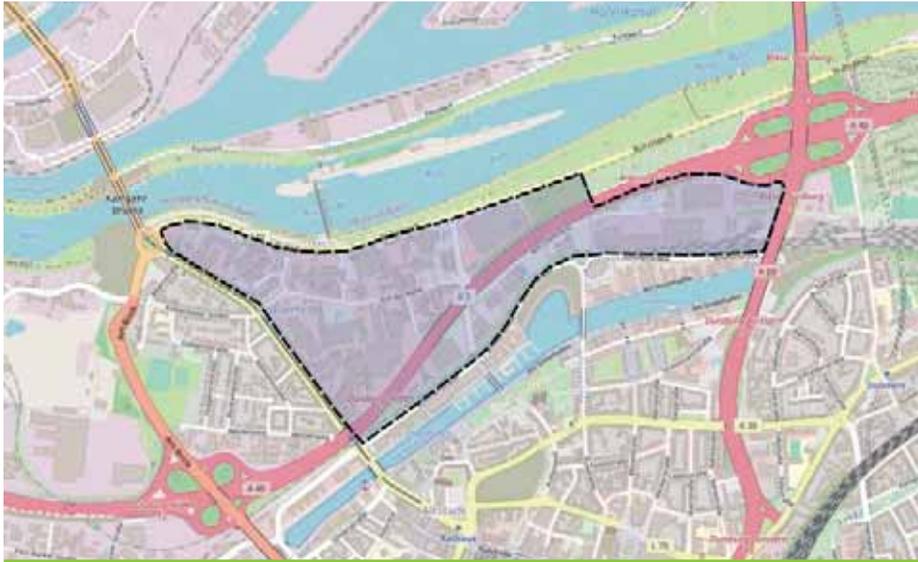


Abb. 07: Projektgebiet Duisburg Kaßlerfeld, Quelle: openstreetmap.org

Projektgebiet Dortmund Dorstfeld-West

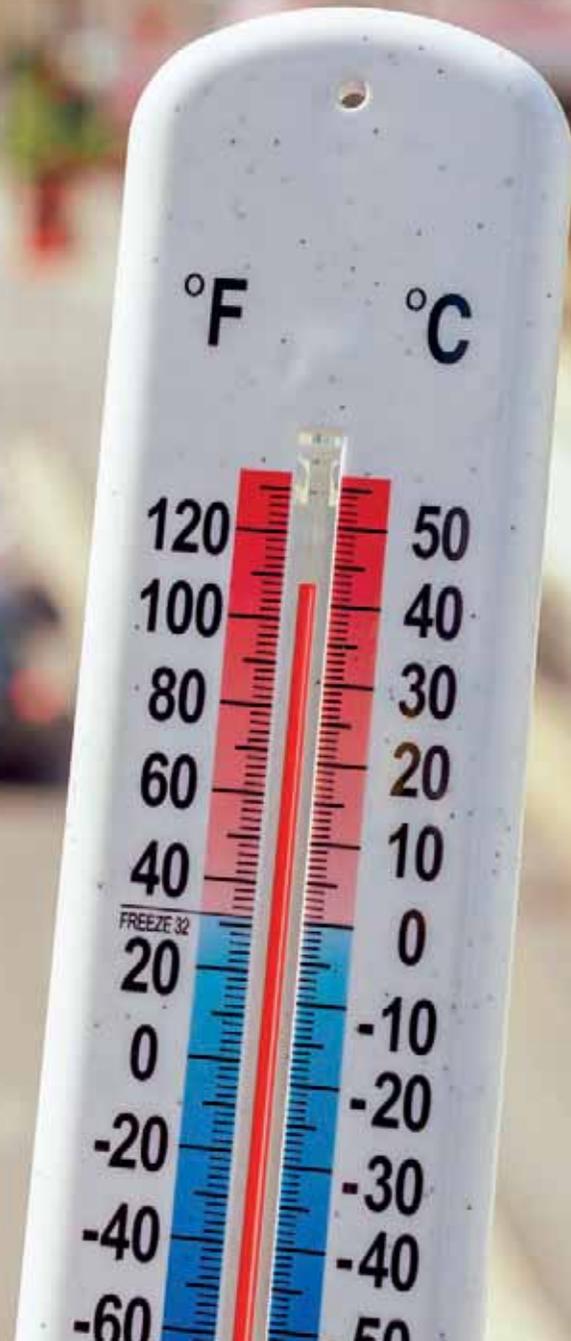
Die 175 ansässigen Unternehmen mit ihren mehr als 5.000 Beschäftigten im Gewerbe- und Industriegebiet Dorstfeld West weisen eine hohe Branchenvielfalt (Schwerpunkte: 28 % produzierende Betriebe, 24 % Handelsunternehmen) und damit wirtschaftliche

Stabilität auf. Das 2016 entwickelte Integrierte Klimaschutzteilkonzept⁵ beinhaltet neben einer ausführlichen SWOT-Gebietsanalyse gemeinsam mit den ansässigen Unternehmen entwickelte kurzfristiger (z.B. Information und Bewusstseinsförderung) sowie mittel- und langfristiger (z.B. Erhöhung Grün- und Freiflächenanteil) Ziele zur Anpassung an den Klimawandel, die als Grundlage für dieses Vorhaben dienen sollen.

Projektgebiet Duisburg Kaßlerfeld

Das Gewerbe- und Industriegebiet Kaßlerfeld liegt zentral in Duisburg Mitte und befindet sich in unmittelbarer Nähe zum Duisburger Hafen und zum Innenhafen. Es wird geprägt von Logistikunternehmen, dem produzierenden Gewerbe und der zentralen Kläranlage. Im Bereich des Gewerbegebietes Kaßlerfeld soll ein innovativer Stadtraum⁶ mit neuen urbanen Qualitäten als gesamtstädtischer und regional bedeutender hochwertiger Wohn- und Arbeitsstandort entwickelt werden.

Hierzu soll ein Konzept erstellt werden, das eine Mischung aus Wohn- und Büronutzungen sowie wohnverträglichem Gewerbe und Einzelhandel ermöglicht. Die Teilnahme an KLIMA.PROFIT soll u.a. einen Beitrag zur Erstellung einer detaillierten Rahmenplanung leisten. Durch das Projekt hat zum Ziel, insbesondere das zwischen dem zukünftigen innovativen Stadtraum Kaßlerfeld und dem Innenhafen gelegene Gewerbegebiet zu betrachten, um eine Verbindung zwischen diesen beiden Quartieren zu schaffen.



Klima: Wandel und Anpassung

Die durchschnittlichen Lufttemperaturen in Deutschland liegen schon heute knapp 2 °C über den Temperaturen 100 Jahre zuvor⁷. Dabei hat sich die Erwärmungsrate in den letzten 50 Jahren nochmals deutlich beschleunigt. Der Klimawandel ist also bereits in vollem Gange. Die steigenden Durchschnittstemperaturen bedeuten dabei konkret: häufigere und intensivere Hitzewellen, Zunahme von (lokalen) Starkregenereignissen und zugleich die Zunahmen von Trockenperioden⁸. Die Wahrscheinlichkeit von Starkniederschlägen wird durch den Klimawandel bis um das neunfache⁹ erhöht, wie sie im Sommer 2021 vorgekommen sind. Davon sind Menschen ebenso wie Infrastrukturen und Gebäude betroffen. Dringend notwendig sind weitere Anstrengungen zum besseren Klimaschutz, um die bereits eingetretenen Veränderungen nicht weiter zu verschärfen. Gleichwohl reichen die Klimaschutzmaßnahmen global und hierzulande nicht aus, um die Klimaveränderungen aufzuhalten. Daher kommt der Anpassung an die unvermeidbaren Folgen der bereits eingetretenen Klimaveränderungen eine zu-

nehmende Bedeutung zu – für Städte, Infrastrukturen und Unternehmen gleichermaßen. Folgende Fragen im Rahmen des Projektes illustrieren die Dimension dieser Aufgabe:

- Wie können bestehende Gewerbegebiete an die Folgend es Klimawandels angepasst werden und gleichzeitig einen Beitrag zum Klimaschutz leisten?
- Wie können Produktionsprozesse auch im Falle von Hitzewellen aufrechterhalten werden?
- Wie können Mitarbeitenden vor Hitzebelastung geschützt werden?
- Wie schütze ich meinen Standort vor Hochwasser?
- Wie kann die Aufenthaltsqualität für Mitarbeitende und / oder KundInnen erhöht werden?
- Mit welchen Maßnahmen könnten Standorte an die Herausforderungen angepasst werden und gleichzeitig das Klima schützen?
- Welchen betriebswirtschaftlichen Nutzen haben Anpassungsmaßnahmen?

Für Unternehmen bedeuten die bereits eingetretenen sowie prognostizierten Klimaveränderungen zentrale Herausforderungen für die Anpassung von Standorten und Produktionsprozessen. Für die Kommunen bedeutet dies, die Gewerbebestände durch Anpassungsmaßnahmen der öffentlichen Infrastruktur und im öffentlichen Raum für diese Herausforderungen fit zu machen. Allein im Kontext der Zunahmen von Starkregen- und Überflutungsereignissen ist mit einer Zunahme der Schadenspotenziale auszugehen. Mit entsprechenden Anpassungsmaßnahmen können diese um 25 bis 59 % reduziert werden.¹⁰ Investitionen in die Klimaanpassung können bauliche Schäden und Produktionsausfälle vermeiden und können darüber hinaus vielfach mit wirksamen Maßnahmen zum Klimaschutz verknüpfen. Das ist ein Gewinn für Unternehmen, Mitarbeitende, KundInnen und die Standorte insgesamt. So schaffen Versickerungsflächen Platz bei Starkregenereignissen und können gleichzeitig lokale Kühleffekte erzeugen und die Standortqualität für MitarbeiterInnen und KundInnen erhöhen.

Abbildung 08: Hitzebetroffenheit

Quelle: mbruxelle / stock.adobe.com



Gewerbegebiete im Klimawandel

Knapp 20% der Siedlungsfläche in Deutschland entfallen auf Industrie- und Gewerbeflächen.¹¹ Diese sind geprägt durch einen hohen Anteil von Rangier-, Lager- und Parkflächen und weisen daher mit durchschnittlich über 60% einen hohen Versiegelungsgrad auf.¹² Entsprechend ist der Anteil von unversiegelten Flächen sowie Grünflächen anteilig sehr gering. Hinzu kommen die erhebliche Luftbelastung durch Emissionen von Produktionsbetrieben, Verkehrsaufkommen sowie Lärmbelastungen für angrenzende Wohnquartiere durch Produktion und Verkehr. Die bauliche Struktur von Gewerbegebieten ist darüber hinaus durch einen hohen Anteil von Verkehrsflächen, großflächige Baustrukturen und geringe Aufenthaltsqualität gekennzeichnet. Insbesondere der hohe Versiegelungsgrad stellt eine große Herausforderung im Zusammenhang mit der zunehmenden Intensität von Starkregenereignissen und Zunahmen der Anzahl und Dauer von Hitzeperioden dar. So kann es in der Folge zu Überschwemmungen von (Einzel-) Standorten und möglichen Produktionsausfällen oder Schadensfällen

(Gebäude, Produktionsanlagen) kommen. Durch die starke Aufheizung versiegelter Flächen bilden sich in Gewerbegebieten großflächige Hitzeinseln, die vor Ort eine erhebliche Belastung für Mitarbeitende und KundInnen darstellen (vgl. Abb. 09) und großräumig in benachbarte Wohngebiete hineinwirken können. Darüber hinaus kann durch die Aufheizung von Außenbereichen (Parkfläche, Rangierflächen) und großen Dachflächen, insb. älterer Gebäude mit geringem Dämmschutz, ein erheblicher Kühlbedarf entstehen, der im Hinblick auf Emissionen und Kosten ein beträchtliches zusätzliches Schadenspotenzial und unternehmerisches Risiko darstellt.

Risiken der Klimawandelfolgen

Die Risiken für Gewerbegebiete und Unternehmensstandorte können im Zusammenhang mit den Folgen des Klimawandels zunehmen. Potenzielle Risiken sind u.a.¹³

- Überflutungen bei Flusshochwasser / Sturmfluten, Sturzfluten, Anstieg des Grundwasserstandes; Überflutungen in Folge von Starkregenereignissen (Rückstau)
- Hagel, Schneelast
- Hitze, bspw. im Zusammenhang mit Hitzewellen
- Windlast, etwa bei Herbst- und Winterstürmen, Gewitterstürmen
- Gravitative Massenbewegungen in Folge von Starkregenereignissen
- Dürren

In Folge von Überflutungen können Schäden an Gebäuden, Lagerbeständen, Produktionsanlagen sowie Verkaufsflächen auftreten. Daraus resultieren möglicherweise Produktionsausfälle, Schäden / Zerstörung von Lagerbeständen oder Produkten, Schäden an der Gebäudesubstanz sowie ggf. die Beeinträchtigung des Kundenverkehrs durch Wasserschäden in Verkaufsräumen. In Folge von Hitzewellen kann es zur Aufheizung von Innenräumen kommen sowie einer

Abbildung 09: Überschwemmte Siedlungsfläche.

Quelle: kiono / stock.adobe.com

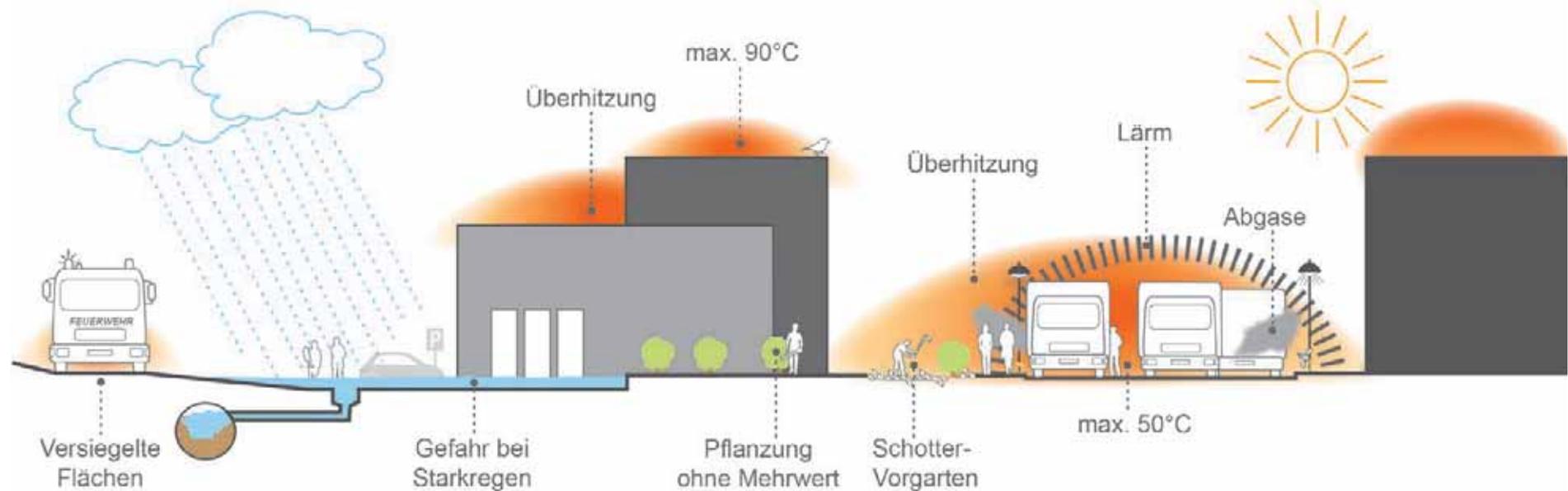
erheblichen Hitzebelastung im Außenraum. Daraus resultierende Schäden können sein: reduzierte Arbeitsproduktivität der Mitarbeitenden bis hin zum Arbeitsausfall bei starker Erhitzung, Hitzebelastung von KundInnen in Außenräumen (bspw. Parkplatzflächen), erhöhter Kühlbedarf der Innenräume und damit verbundene Kostensteigerungen, thermische Belastung der Bausubstanz (Gebäude, Parkplatzflächen) und damit verbundene Schäden. Durch eine direkte Windlast können Schäden an Gebäuden entstehen, wenn

diese dem Druck nicht standhalten. Durch Windsog (bspw. Gebäudeöffnungen) können auch im Gebäude erhebliche Schäden verursacht werden. Große Schäden entstehen im Zusammenhang mit dem Windwurf von Gegenständen (bspw. entwurzelte Bäume, umgestürzte Anlagen etc.). In Gebieten mit entsprechenden topographischen Voraussetzungen können durch starke Niederschläge Massenbewegungen (bspw. Schlammlawinen) erhebliche Schäden verursachen. Für Industriebereiche, die produktionsbedingt auf

Kühlwasser angewiesen sind, können Dürreperioden das Angebot an natürlichem Kühlwasser erheblich einschränken und Produktionsausfälle verursachen.

Für die Kommunen bestehen die Herausforderungen insbesondere in der Anpassung öffentlicher Infrastrukturen an die Folgen des Klimawandels. Das betrifft den gesamten Stadtraum und damit auch Gewerbegebiete. Der Anpassungsbedarf wird von Seiten der Gemeinden eher als gering eingeschätzt.

Klimabelastung von Gewerbegebieten (Abb. 10)



Quelle: Sandra Sieber, TU Darmstadt (Gewerbegebiete im Wandel, 2019)

Die Anfälligkeit von Gewerbegebieten bzw. einzelnen Unternehmensstandorten gegenüber den Folgen des Klimawandels ist dabei von zahlreichen Faktoren abhängig, u.a.¹⁴

- Lage des Gewerbegebietes (Hanglage, Senke, Gewässernähe) und Lage des Unternehmensstandortes in dem Gewerbegebiet
- Vorhandene Verkehrsinfrastruktur und deren Anfälligkeit gegenüber den Folgen des Klimawandels
- Lage im Stadtraum
- Umgebungseigenschaften (Grünflächen, umgebende Bebauung..)
- Bebauungsdichte und Versiegelungsgrad
- Ausrichtung der Gebäude
- Art der gewerblichen Tätigkeiten
- Produktbezogene Eigenschaften (z.B. Lagerung, Empfindlichkeiten)
- Gebäudesubstanz (z.B. Unterkellerung, tieferliegende Einfahren, Verglasungen, Dämmstandard)
- Zustand des öffentlichen Kanalnetzes

Chancen der Klimawandelfolgen

Attraktive Standorte gewinnen für viele Unternehmen an Relevanz mit Blick auf die Gewinnung von Fachkräften und im Kontext des Wettbewerbs um KundInnen mit anderen Standorten. Für Gewerbegebiete und einzelne Unternehmensstandorte liegen daher in der Anpassung an die Folgen des Klimawandels erhebliche Chancen. Für Kommunen und ihre Wirt-

schaftsförderungen bedeutet das Gewerbegebiete in ihrer Nutzung und Gestaltung zu diversifizieren und damit auch gesamtstädtisch Entwicklungsimpulse zu setzen. Öffentliche Grünflächen in Gewerbegebieten können nicht nur einen Kühleffekt haben und Versickerungsflächen für Regenwasser bieten, sondern auch die Aufenthaltsqualität für die dort Beschäftigten und KundInnen steigern. Dezentrale Anlagen, die das gesamte oder einen Teil des Gewerbegebietes mit Kühl- oder Heizenergie versorgen, können einen Mehrwert für die Unternehmen schaffen (Kostenreduzierung) und dabei gleichzeitig einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz leisten. Zwar gibt es zahlreiche Möglichkeiten die Betroffenheiten durch Hitze oder Starkregen durch Anpassungsmaßnahmen an einzelnen Unternehmensstandorten zu reduzieren, etwa durch Verschattungseinrichtungen oder kleinräumige Entsiegelungsmaßnahmen. Gleichwohl spielen Zusammenarbeit und kooperative Maßnahmen eine besondere Rolle. So können gemeinsam abgestimmte Begrünungsmaßnahmen oder Entsiegelungsmaßnahmen an mehreren Unternehmensstandorten eine deutlich größere Wirkung haben als separate und ggf. damit kontraproduktive Maßnahmen. Eine besondere Rolle kommt dabei dem Gebietsmanagement, der Wirtschaftsförderung und der kommunalen Verwaltung zu: Zum einen mit Blick auf die Entwicklung und Aktivierung von Unternehmensnetzwerken zur Umsetzung abgestimmter Anpassungsmaßnahmen; zum anderen mit Blick auf die Planung und Gestaltung der öffentlichen Infrastrukturen und öffentlichen Räume in den Gewerbegebieten. Hierin liegt ein wesentlicher Schlüssel, um Gewerbegebiete zukunftsfähig zu ge-



Abb. 11: Gesteigerte Aufenthaltsqualität durch Begrünung bei Hitzebetroffenheit.
Quelle: F8 \ Suport Ukraine / stock.adobe.com

stalten und Anpassungsmaßnahmen auf Ebene der Unternehmen wirksam mit Anpassungsmaßnahmen im öffentlichen Raum zu verknüpfen. Denn allein werden Unternehmen diese Aufgabe nicht bewältigen können. Genauso sind die Städte und Gemeinden auf die Impulse und Maßnahmen der Unternehmen angewiesen, um die Herausforderungen des Klimawandels bewältigen zu können.



Klimawandel im Ruhrgebiet

Makroklimatisch werden alle drei Untersuchungsgebiete von Duisburg über Bochum bis Dortmund dem Klimabereich „Nordwest-Deutschland“ zugeordnet, der sich von der Nordseeküste bis zu den Südseiten von Eifel und Westerwald und bis zur Ostseite des Sauerlandes erstreckt. Durch die Lage im Westwindgürtel und die relative Nähe zum Atlantik ist das Klima in diesem Teil Deutschlands überwiegend maritim beeinflusst, was sich im Allgemeinen durch kühle Sommer und milde Winter äußert. Nur gelegentlich setzt sich ein kontinentalklimatischer Einfluss mit längeren Hochdruckphasen durch. Dann kann es im Sommer

zu höheren Temperaturen und trockenem sommerlichen Wetter bei schwachen östlichen bis südöstlichen Winden kommen. Im Winter sind kontinental geprägte Wetterlagen häufig mit anhaltenden Kälteperioden verbunden (MURL 1989).

Stellvertretend für die Region des Ruhrgebietes lässt sich für den Zeitraum von 1912 bis heute aus den Daten der Bochumer Ludger-Mintrop-Stadtklimastation eine leichte, aber stetige Zunahme der Jahresdurchschnittstemperatur von fast 2 Kelvin (Temperaturunterschiede werden in Kelvin angegeben, dabei

entspricht die Einteilung der Skala der °C) ablesen (Abb. 13).

Dabei ist nicht der Klimawandel die alleinige Ursache für diesen Temperaturanstieg in den letzten 100 Jahren, sondern etwa die Hälfte der Erwärmung resultiert aus dem Wachstum der Stadt Bochum seit 1912, also aus der Verstärkung des Stadtklimaeffektes. Nicht der mittlere Temperaturanstieg von rund 2 Kelvin in den letzten 100 Jahren ist von Bedeutung für Klimaanpassungsmaßnahmen, sondern die aus der Verschiebung der Temperaturverteilung resultierende

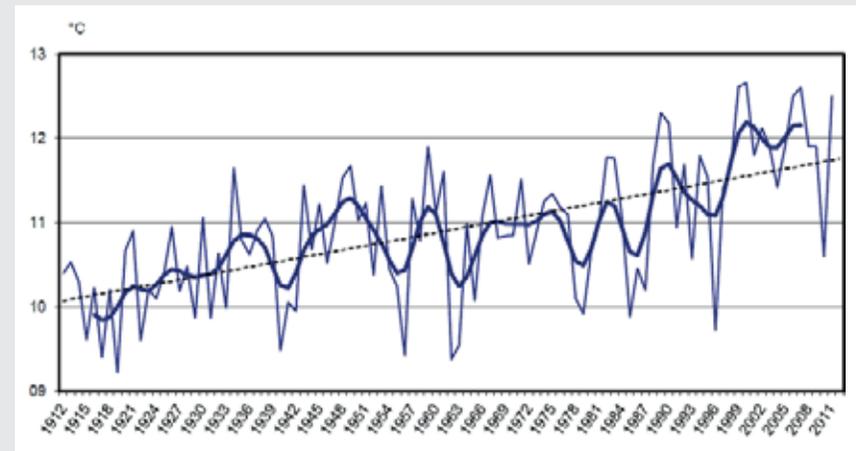
Abbildung 12: Extremwetterereignis Starkregen

Quelle: Maic Verbücheln / Deutsches Institut für Urbanistik (Difu)

Lufttemperatur an der Bochumer

Ludger-Mintrop-Stadtklimastation 1912-2011 (Abb. 13)

Jahresmittel 1912-2011, 9jährig gefilterte Kurve und Linearer Trend



Quelle: K.PLAN

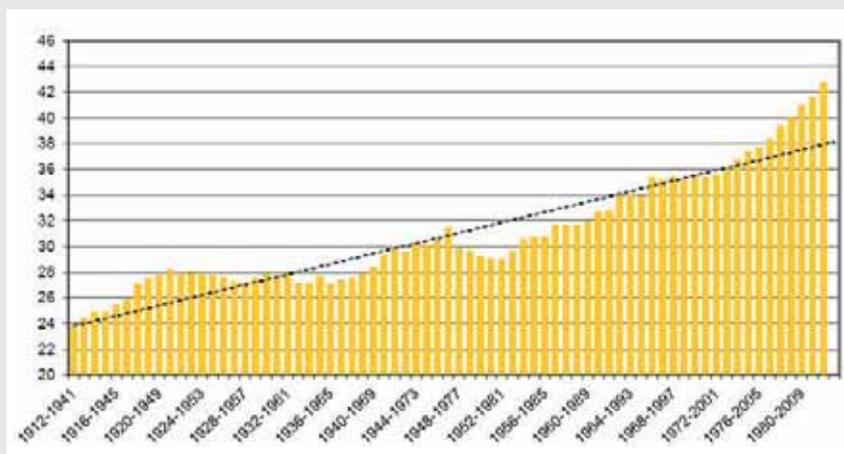
zunehmende Hitzebelastung in den Innenstädten. In länger andauernden Perioden mit hohen Tagesdurchschnittstemperaturen und mehreren Hitzetagen heizen sich insbesondere in dicht bebauten und großflächig versiegelten Gebieten Gebäude und Verkehrsflächen stark auf, weil die Bauten und Flächenbefestigungen aus Stein, Beton, Klinker und Asphalt die Wärme speichern und diese nur langsam wieder

abgeben. Entscheidend für eine Belastung durch die Klimaerwärmung ist also das Verhalten von Sommertagen (Temperaturmaxima ≥ 25 °C) und Heißen Tagen (Temperaturmaxima ≥ 30 °C) in der aktuellen und der zukünftigen Entwicklung des Klimas. Die Anzahl der Sommertage im Jahr mit Temperaturmaxima von mindestens 25 °C (Abb. 14) ist seit 1912 kontinuierlich gestiegen. Lag das 30jährige Mittel zu Beginn des 20.

Jahrhunderts noch bei rund 25 Tagen im Jahr, so sind es aktuell rund 42 Sommertage pro Jahr. Damit gab es über einen Zeitraum von 100 Jahren einen Anstieg von 68 %.

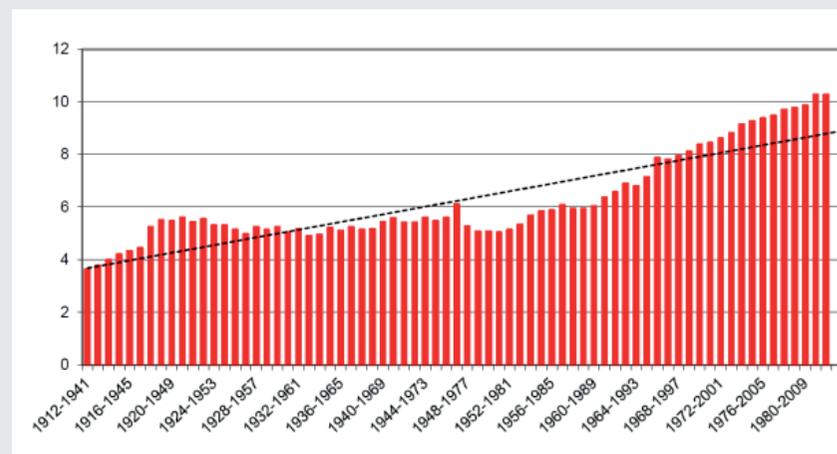
Noch deutlicher wird die Zunahme der Wärmebelastung bei der Betrachtung der Heißen Tage mit Temperaturmaxima von mindestens 30 °C (Abb. 15). Die

30jährige Mittelwerte der Anzahl der Sommertage ($T_{max} \geq 25^{\circ}\text{C}$) im Jahr an der Bochumer Ludger-Mintrop-Stadtklimastation (Abb. 14)



Quelle: K.PLAN

30jährige Mittelwerte der Anzahl der Heißen Tage ($T_{max} \geq 30^{\circ}\text{C}$) im Jahr an der Bochumer Ludger-Mintrop-Stadtklimastation (Abb. 15)



Quelle: K.PLAN

Anzahl der Heißen Tage ist von rund 4 Tagen im Jahr zu Beginn der Messungen auf aktuell im Mittel 10 Tage im Jahr angestiegen. Das macht einen Zuwachs von 150 % aus.

Die für Nordrhein-Westfalen prognostizierten Auswirkungen des Klimawandels zeigen, dass Hitzewellen häufiger und in stärkerer Intensität auftreten. Der Ef-

fekt der städtischen Wärmeinsel führt durch Speicherung der eingestrahnten Sonnenenergie zu stark erhöhten Temperaturen.

Im Vergleich zu den Entwicklungen der Lufttemperaturen in der Region ist der Niederschlag hoch variabel – das zeigen stellvertretend die Messreihen aus Bochum seit 1888. Die Relevanz zur Klimaanpassung

in den drei Untersuchungsgebieten in Bochum, Duisburg und Dortmund ist dabei nicht über die Veränderung der Jahresniederschlagssummen gegeben, sondern resultiert aus dem projizierten Anstieg von Tagen mit extrem hohen Niederschlägen. Ausschlaggebend für einen Extremniederschlag ist, dass der Regen nicht gleichmäßig über den Tag verteilt gefallen ist, sondern innerhalb eines Zeitraumes von weniger als einer

Entwicklung relevanter Klimawerte für Bochum (Tabelle 01)

	IST-Zustand				Szenario 2051-2060		
	Jahreswende			Bisherige Veränderungen seit 1912	Zukünftige Veränderungen nach START II - Modell (LANUV 2088)	Mittlere Jahreswerte der Dekade 2051-2060	
	100jähr. Mittel 1912-2011	erste 30jähr. Mittel ab 1912	aktuelle 30jähr. Mittel bis 2011			Grundlage: 100 jähr. Mittel	Grundlage: aktuelles 30jähr. Mittel
Lufttemperatur	10,4 °C	9,5 °C	11,5 °C	+ 2 K	+ 2 K	12,4 °C	13,5 %
Eistage	11,3	13,5	7,5	- 44 %	- 64 %	4	3
Frosttage	48,8	51	46	- 10 %	- 40 %	29	28
Sommertage	31,8	25	42	+ 68 %	+ 85 %	59	78
Heiße Tage	6,4	4	10	+ 150 %	+ 210 %	20	31
Tropennächte	0,9	0,9	0,9	---	+ 180 %	2,5	2,5
	124jähr. Mittel 1888-2011	erste 30jähr. Mittel ab 1888	aktuelle 30jähr. Mittel bis 2011	Bisherige Veränderungen seit 1888			
Niederschlag	818 mm	790 mm	850 mm	+ 8 %	+ 32 %	1.080 mm	1.122 mm
Tage mit ≥ 20 mm Niederschlag	4,2	3,8	4,7	+ 24 %	+ 26 %	5,3	5,9

Quelle: K.PLAN

Stunde. Dadurch kann das Niederschlagswasser nicht schnell genug versickern oder über die Kanalisation abgeführt werden und es kommt zu Überschwemmungen insbesondere in Gebieten mit versiegelten Oberflächen. Neben der Hitzebelastung werden starke Regenereignisse in Zukunft häufiger auftreten.

Wenn in kurzer Zeit hohe Regenmengen niedergehen, kann dies zu spontanen und heftigen Überschwemmungsereignissen führen. Besonders gefährlich wird es in Bereichen, in denen das Niederschlagswasser aufgrund fehlender Rückstau- und Versickerungsmöglichkeiten oder unzureichender Kanalisationska-

pazitäten nicht schnell genug abgeführt werden kann. Zunehmender Starkregen kann in Zukunft häufiger zu Überlastungen im Kanalnetz führen. Die städtische Kanalisation ist in der Regel so bemessen, dass Niederschlagsereignisse mit statistischen Wiederkehrintervallen von 3-10 Jahren problemlos bewältigt

„Es ist davon auszugehen, dass ein 100-jähriges Starkregenereignis in Zukunft wesentlich häufiger stattfinden wird.“

werden können. Liegt ein hohes Schadenpotential vor, werden unter Umständen auch 30-jährige Starkregen berücksichtigt, während seltenere Ereignisse in der Regel nicht beachtet werden (DIN EN 752). Aktuelle statistische Untersuchungen der Niederschlagsdaten in Deutschland für die Jahre 1951 bis 2000 zeigen jedoch deutlich, dass Starkregenereignisse zunehmend häufiger auftreten und die statistischen Wiederkehrintervalle nur noch bedingt gültig sind (DWD Deutscher Wetterdienst 2005). Weitere Studien erwarten ebenfalls eine durch den Klimawandel bedingte Zunahme

an extremen Wetterereignissen (Bartels et al. 2005; Rahmstorf et al. 2007). Mit Hilfe von Klimamodellen können keine Aussagen über die genaue Veränderung der Häufigkeitsverteilung von extremen Starkregen getroffen werden. Es ist jedoch davon auszugehen, dass ein 100-jähriges Starkregenereignis, für das die Kanalisation nach heutigen Bemessungsmaßstäben nicht dimensioniert ist, in Zukunft wesentlich häufiger stattfinden wird (Tab. 1). Das Auftreten von sogenannten „Urbanen Sturzfluten“ wird sich demnach in Zukunft deutlich verstärken. Flutereignisse wurden in

der Vergangenheit für Städte über den gewässerseitigen Hochwasserschutz bewertet. Aus der Formulierung ist bereits zu entnehmen, dass die Gefahr von Überflutungen bisher meist von Fließgewässern ausging. Vom Gewässernetz unabhängige, lediglich durch Niederschlag herbeigeführte Flutereignisse werden erst seit wenigen Jahren diskutiert.



Was bedeutet der Klimawandel für die drei Fallstudiengebiete

Die Folgen des Klimawandels sind regional unterschiedlich ausgeprägt. Gleichwohl lassen sich regional potenzielle Schadensereignisse nicht vorhersagen. Daher ist es mit Blick auf die möglichen Betroffenheiten notwendig, eine detaillierte Analyse der lokalen Situation durchzuführen. Eine solche Vulnerabilitätsanalyse wurde in allen drei Projektgebieten durchgeführt. Dabei wurden die möglichen Betroffenheiten durch Hitze, Starkregenereignisse und Sturm umfassend analysiert.

Bochum

Aufgrund der Auswirkungen des Klimawandels in der Metropolregion Ruhr wurden für die Gewerbegebiete Wattenscheid Ost und Hansastraße in Bochum die Belastungen sowie die Vulnerabilitäten gegenüber Hitze, Überflutung bei Starkregenereignissen und Gefährdung durch Sturmschäden mittels Vor- Ort-Begehungen und Modellrechnungen untersucht. Im Folgenden werden die Haupt-Risiko-Faktoren im Überblick zusammengefasst. Der dringlichste Handlungsbedarf wird beim Thema der Hitzeprävention und lokal auch der Überflutungsvorsorge bei Starkregenereignissen gese-

hen. Daraus ergeben sich für den weiteren Verlauf des Projektes konkrete Einzelfallbetrachtungen in Kooperation mit betroffenen Unternehmen vor Ort.

Hitze:

Bedingt durch die extrem starke Versiegelung und sehr geringe Begrünung im Untersuchungsgebiet Wattenscheid Ost und Hansastraße ist die Hitzebelastung während sommerlicher Hitzeperioden extrem ausgeprägt. Im Vergleich zum unbebauten Freiland kann es im Gewerbegebiet nachts bei sommerlicher Hitze um bis zu 10 Kelvin (Temperaturänderungen werden in Kelvin angegeben, Schrittweite entspricht der °C-Skala) wärmer sein. Der stärker durchgrünte Bereich nördlich der Gewerbestraße zeigt eine geringere Belastung durch Hitze. Die insgesamt hohe Flächenversiegelung bis zu 90 % bewirkt im Untersuchungsgebiet eine starke Aufheizung tagsüber, die zu einer Verminderung der Produktivität der in diesen Bereichen beschäftigten Menschen bis hin zu Gesundheitsschäden oder Produktionsausfällen führen kann.

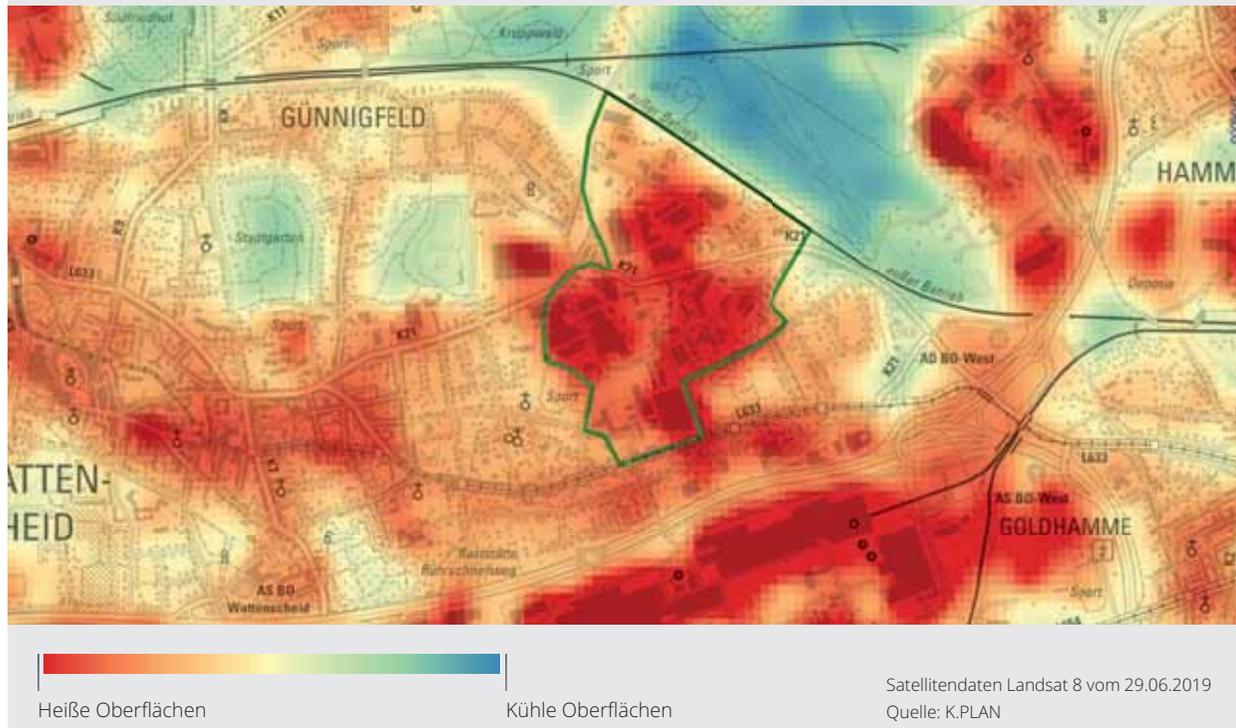
Ein häufiges Problem der hoch verdichteten Gewerbeflächen ist auch, dass hier über den erhitzten Ober-

flächen die Kaltluft aufgezehrt wird und dem Gebiet nicht mehr zur Abkühlung zur Verfügung steht. Kleinstädtisch profitieren nur die direkten Randbereiche im Norden des Gewerbe Parks Hansastraße / Gewerbestraße von einer geringen Kaltluftzufuhr. Durch die dichte Bebauung wird der Luftaustausch behindert und die einströmende Kaltluft schnell erwärmt. Somit ist eine Abschwächung von sommerlicher Hitzebelastung im Untersuchungsgebiet Wattenscheid Ost und Hansastraße nicht durch die Zufuhr kühlerer Umgebungsluft zu erwarten. Hitzebelastungen in Industrie- und Gewerbegebieten betreffen in erster Linie die tagsüber dort tätigen Menschen. Hier sind Klimaanpassungsmaßnahmen notwendig, um die Produktivität zu erhalten und gesunde Arbeitsbedingungen zu schaffen. Im Sinne des Klimaschutzes gilt es zu vermeiden, den Stromverbrauch, beispielsweise durch Klimaanlage, zu erhöhen. Für die Ausbildung einer Hitzebelastung spielen in erster Linie die Bebauung und Versiegelung eines Gebietes eine Rolle. Variationen ergeben sich durch den Einsatz verschiedener Materialien (je dunkler, desto stärker erwärmen sich Oberflächen) und durch den Durchgrünungsgrad. Vegetation kann durch Schattenwurf und Verdunstung erheblich zur Temperaturabsenkung

Abbildung 16: Blick über die Stadt Bochum

Quelle: ©Matthias / stock.adobe.com

Oberflächentemperaturen – Wattenscheid Ost, Hansastraße und Umgebung (Abb. 17)



beitragen. Die Erfordernisse gewerblich-industrieller Nutzungen bestimmen maßgeblich die Gestaltung der Gebiete und schränken somit den Rahmen für klimaverbessernde Maßnahmen ein. Es entstehen Zielkonflikte zwischen einer anzustrebenden Verbesserung der Grünstruktur und Verringerung des Versiegelungsgrades einerseits und einer notwendi-

gen Vollversiegelung betrieblicher Funktionsbereiche auch zum Schutz des Grundwassers andererseits. Lösungsmöglichkeiten sind in diesem Fall in einer ausreichenden Gliederung von hochversiegelten Bauflächen und betrieblichen Funktionsbereichen wie Lager- und Freiflächen durch breite Pflanzstreifen und Grünzüge zu suchen. Darüber hinaus bieten

sich oft Stellplatzanlagen, Randsituationen und das Umfeld von Verwaltungsgebäuden für Begrünungen oder bauliche Verschattungen an. Weitere sinnvolle Maßnahmen sind die Begrünung von Fassaden und Dächern sowie die Nutzung von gespeichertem Regenwasser zur Kühlung.

Überflutung bei Starkregen:

Im Fokus der Analyse stand die Identifikation von Senken und Hauptfließwegen. Das Untersuchungsgebiet weist nur wenige und leichte Senkenlagen auf. Das größte Gefährdungspotenzial für Überflutungen weisen die Betriebsflächen entlang der als Fließwege genutzten Straßen wie die Hansastraße, Gewerbestraße und Mausegatt auf. Weitere kleinere Senken finden sich auf verschiedenen Betriebsflächen der Unternehmen, hier allerdings in der Regel nur mit einem Zufluss aus der direkten lokalen Umgebung. Lokal besteht teilweise ein dringender Handlungsbedarf zur Reduzierung des Wassereintrags, z.B. durch Zwischenspeicherung oder Umlenkung. In den ausgewiesenen Belastungsbereichen, in denen ein hoher Oberflächenabfluss zur Gefährdung von Infrastruktur führen kann, sind neben technischen Maßnahmen des Objektschutzes Maßnahmen erforderlich, die die Abflussmenge reduzieren und Abflussspitzen durch verzögerten Abfluss verringern. Dazu gehören in erster Linie:

- Entsiegelung und Begrünung der hoch versiegelten Bereiche zur Reduzierung des Oberflächenabflusses und Verbesserung des Lokalklimas

- Retentionsmaßnahmen in Form von Überlaufbecken (technische Bauwerke), Rückhaltebecken oder Überflutungsflächen mit Entlastungspotential für extreme Regenereignisse

Untersuchungen zeigen deutlich, dass Begrünungs- und Entsiegelungsmaßnahmen auf die Direktabflussmenge von seltenen Starkregenereignissen nur eine verhältnismäßig geringe Auswirkung haben. Als reine Anpassungsmaßnahme an Starkregen ist die Wirkung von Entsiegelungsprogrammen eher gering, während sich Retentionsmaßnahmen in Form von Rückhaltebecken oder Überflutungsflächen als sehr effektiv erwiesen haben. Neben der hohen Effektivität von Retentionsbecken und dem geringen Flächenverbrauch, besteht ein weiterer Vorteil in der schnellen und einmaligen Umsetzung. Entsiegelungs- und Begrünungsmaßnahmen müssten sukzessive umgesetzt werden, so dass eine maximal mögliche Wirkung erst nach langer Zeit erreicht werden könnte. Entsiegelte und begrünte Flächen entfalten ihre Wirkung vor allem in einer deutlichen Aufwertung des innerstädtischen Klimas. Aus hydrologischer Sicht zeigen sich die Vorteile des reduzierten Oberflächenabflusses insbesondere bei mittleren Niederschlagsereignissen. Hier verringert sich das Verhältnis aus Gesamtniederschlag und Oberflächenabflussvolumen. Während die Speicherkapazität beispielsweise eines Gründaches bei einem 50-jährigen Niederschlagsereignis schnell erschöpft ist, kann die gleiche Fläche einen gewöhnlichen sommerlichen Starkregen nahezu vollkommen aufnehmen. Wird die Aufnahmekapazität überschritten, werden trotzdem die Abflussspitzen deutlich verringert.

Gefährdung durch Sturmschäden:

Die relativ gleichmäßige Bebauungsstruktur im Untersuchungsgebiet Wattenscheid Ost und Hansastraße führt nur lokal entlang der Straßenverläufe zu einer verstärkten Böigkeit und damit einer größeren Gefährdung bei Starkwinden und Stürmen. Auf gewerblichen Flächen ist aufgrund der dort ty-



Abb. 18: Sturmschäden an Bäumen,
Quelle: akf / stock.adobe.com

pischen Bauweise (z.B. Leichtbaukonstruktionen) und der wirtschaftlichen Werte von einem erhöhten Schadenspotential auszugehen. Insgesamt lässt sich aber die Betroffenheit für Sturmschäden weniger gut lokalisieren, als das für Hitzebelastungen und insbesondere für Überflutungen bei Extremniederschlägen der Fall ist. Bei der Erarbeitung von Maßnahmen zur Anpassung an die Auswirkungen von Stürmen müssen folgende Aspekte einbezogen werden:

- Sicherung von Gebäudeteilen und Dachkonstruktionen (Prüfung der Windexponiertheit, Baumaßnahmen)
- Sicherung von Betriebsflächen im Außenbereich (Prüfung der Windexponiertheit, Baumaßnahmen, Absicherung von Lagermaterial)
- Sicherung von Straßenbäumen (Trockenheit, Sturm)
- Sicherung von Anlagen wie Ampeln oder Straßenschildern

Dortmund

Aufgrund der Auswirkungen des Klimawandels in der Metropolregion Ruhr wurden für das Gewerbe- und Industriegebiet Dorstfeld West in Dortmund die Belastungen sowie die Vulnerabilitäten gegenüber Hitze, Überflutung bei Starkregenereignissen und Gefährdung durch Sturmschäden mittels Vor-Ort-Begehungen und Modellrechnungen untersucht. Im Folgenden werden die Haupt-Risiko-Faktoren im Überblick

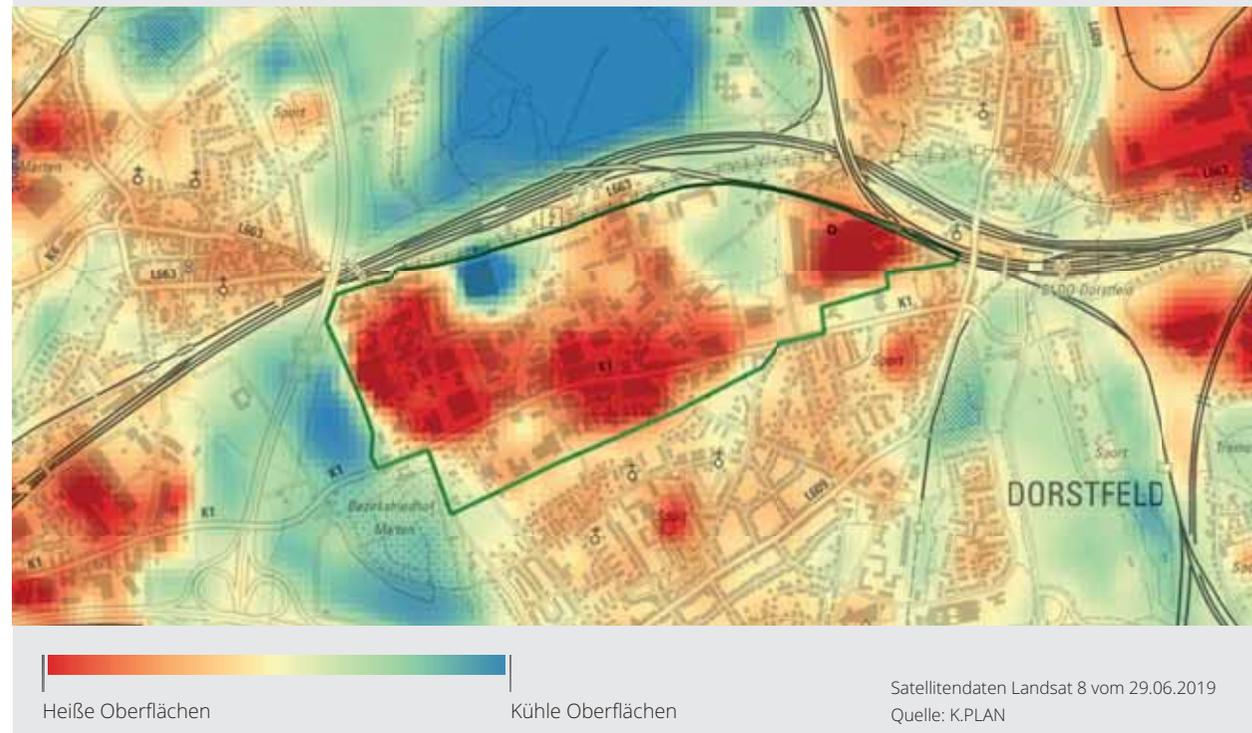
zusammengefasst. Der dringlichste Handlungsbedarf wird beim Thema der Überflutungsvorsorge bei Starkregenereignissen gesehen. Daraus ergeben sich für den weiteren Verlauf des Projektes konkrete Einzelfallbetrachtungen in Kooperation mit betroffenen Unternehmen vor Ort.

Hitze:

Bedingt durch die unterschiedliche Versiegelung und teilweise gute Begrünung im Untersuchungsgebiet Dorstfeld West ist die Hitzebelastung während sommerlicher Hitzeperioden nur in Teilräumen extrem ausgeprägt. Im Vergleich zum unbebauten Freiland kann es im Gewerbegebiet nachts bei sommerlicher Hitze um bis zu 10 Kelvin (Temperaturänderungen werden in Kelvin angegeben, Schrittweite entspricht der °C-Skala) wärmer sein. Die stärker durchgrüneten Bereiche im Norden und Osten des Untersuchungsgebietes Dorstfeld West zeigen eine geringere Belastung durch Hitze. Von Norden her kann in klaren Nächten Kaltluft in das Gewerbe- und Industriegebiet vordringen und zumindest die nächtliche Überwärmung reduzieren. Die insgesamt hohe Flächenversiegelung im westlichen und südlichen Teil des Gebietes bewirkt in diesen Bereichen aber eine starke Aufheizung tagsüber, die zu einer Verminderung der Produktivität der in diesen Bereichen beschäftigten Menschen bis hin zu Gesundheitsschäden oder Produktionsausfällen führen kann.

Ein häufiges Problem der hoch verdichteten Industrie- und Gewerbeflächen ist auch, dass hier über den

Oberflächentemperaturen – Dorstfeld West und Umgebung (Abb. 19)



erhitzten Oberflächen die Kaltluft aufgezehrt wird und dem Gebiet dann nicht mehr zur Abkühlung zur Verfügung steht. Somit ist eine Abschwächung von sommerlicher Hitzebelastung im Untersuchungsgebiet Dorstfeld West durch die Zufuhr kühlerer Umgebungsluft möglich und kann in ihrer Wirkung und Reichweite durch eine verbesserte Strömungsdurch-

lässigkeit und verminderte Flächenversiegelung optimiert werden. Hitzebelastungen in Industrie- und Gewerbegebieten betreffen in erster Linie die tagsüber dort tätigen Menschen. Hier sind Klimaanpassungsmaßnahmen notwendig, um die Produktivität zu erhalten und gesunde Arbeitsbedingungen zu schaffen. Im Sinne des Klimaschutzes gilt es zu vermeiden, den

zes Maßnahmen erforderlich, die die Abflussmenge reduzieren und Abflussspitzen durch verzögerten Abfluss verringern. Dazu gehören in erster Linie:

- Entsiegelung und Begrünung der hoch versiegelten Bereiche zur Reduzierung des Oberflächenabflusses und Verbesserung des Lokalklimas
- Retentionsmaßnahmen in Form von Überlaufbecken (techn. Bauwerke), Zwischenspeichern oder Überflutungsflächen mit Entlastungspotential für extreme Regenereignisse

Untersuchungen zeigen deutlich, dass Begrünungs- und Entsiegelungsmaßnahmen auf die Direktabflussmenge von seltenen Starkregenereignissen nur eine verhältnismäßig geringe Auswirkung haben. Als reine Anpassungsmaßnahme an Starkregen ist die Wirkung von Entsiegelungsprogrammen eher gering, während sich Retentionsmaßnahmen in Form von Überlaufbecken oder Überflutungsflächen als sehr effektiv erwiesen haben. Neben der hohen Effektivität von Retentionsbecken und dem geringen Flächenverbrauch, besteht ein weiterer Vorteil in der schnellen und einmaligen Umsetzung. Entsiegelungs- und Begrünungsmaßnahmen müssten sukzessive umgesetzt werden, so dass eine maximal mögliche Wirkung erst nach langer Zeit erreicht werden könnte. Entsiegelte und begrünte Flächen entfalten ihre Wirkung vor allem in ihrer alltäglichen Wirkung wie einer deutlichen Aufwertung des lokalen Klimas. Aus hydrologischer Sicht zeigen sich die Vorteile des reduzierten Oberflächenabflusses insbesondere bei mittleren Niederschlagsereignissen. Hier verringert sich das Verhältnis

aus Gesamtniederschlag und Oberflächenabflussvolumen. Während die Speicherkapazität eines Gründaches bei einem 50-jährigen Niederschlagsereignis schnell erschöpft ist, kann die gleiche Fläche einen gewöhnlichen sommerlichen Starkregen nahezu vollkommen aufnehmen. Wird die Aufnahmekapazität überschritten, werden wenigstens die Abflussspitzen deutlich verringert.



Gefährdung durch Sturmschäden:

Die unterschiedlichen Bebauungsstrukturen und Freiflächenbereiche im Untersuchungsgebiet Dorstfeld West führen nur lokal begrenzt zu einer verstärkten Böigkeit und damit einer größeren Gefährdung bei Starkwinden und Stürmen. Insgesamt ist die Sturmgefährdung im Gewerbe- und Industriegebiet nicht überdurchschnittlich ausgeprägt. Die Böigkeit und damit die Sturmschadensgefährdung ist nur lokal an einzelnen Gebäudekanten stärker ausgeprägt. Auf gewerblichen Flächen ist aufgrund der dort typischen Bauweise (z.B. Leichtbaukonstruktionen) und der wirtschaftlichen Werte von einem erhöhten Schadenspotential auszugehen. Insgesamt lässt sich aber die Betroffenheit für Sturmschäden weniger gut lokalisieren, als das für Hitzebelastungen und insbesondere für Überflutungen bei Extremniederschlägen der Fall ist. Bei der Erarbeitung von Maßnahmen zur Anpassung an die Auswirkungen von Stürmen müssen folgende Aspekte einbezogen werden:

- Sicherung von Gebäudeteilen und Dachkonstruktionen (Prüfung der Windexponiertheit, Baumaßnahmen)
- Sicherung von Betriebsflächen im Außenbereich (Prüfung der Windexponiertheit, Baumaßnahmen, Absicherung von Lagermaterial)
- Sicherung von Straßenbäumen (Trockenheit, Sturm)
- Sicherung von Anlagen wie Ampeln oder Straßenschildern



Abb. 22: Hitzebelastung
Quelle: cribea / stock.adobe.com

Duisburg

Aufgrund der Auswirkungen des Klimawandels in der Metropolregion Ruhr wurden für das Industrie- und Gewerbegebiet Kaßlerfeld in Duisburg die Belastungen sowie die Vulnerabilitäten gegenüber Hitze, Überflutung bei Starkregenereignissen und Gefährdung durch

Sturmschäden mittels Vor-Ort-Begehungen und Modellrechnungen untersucht. Im Folgenden werden die Haupt-Risiko-Faktoren im Überblick zusammengefasst. Der dringlichste Handlungsbedarf wird beim Thema der Überflutungsvorsorge bei Starkregenereignissen gesehen. Daraus ergeben sich für den weiteren Verlauf des Projektes konkrete Einzelfallbetrachtungen in Kooperation mit betroffenen Unternehmen vor Ort.

Hitze:

Bedingt durch die extrem starke Versiegelung und sehr geringe Begrünung im Gewerbegebiet Kaßlerfeld ist die Hitzebelastung während sommerlicher Hitzeperioden extrem ausgeprägt. Im Vergleich zum unbebauten Freiland kann es im Gewerbegebiet nachts bei sommerlicher Hitze um bis zu 10 Kelvin (Temperaturänderungen werden in Kelvin angegeben, Schrittweite entspricht der °C-Skala) wärmer sein. Der stärker durchgrünte Siedlungsbereich im südlichen Kaßlerfeld zeigt eine geringere Belastung durch Hitze. Im Gewerbegebiet ist die Wohnbevölkerungsdichte geringer, damit spielt die nächtliche Hitzebelastung eine geringere Rolle. Die insgesamt hohe Flächenversiegelung bis zu 90 % bewirkt in diesen Bereichen aber eine starke Aufheizung tagsüber, die zu einer Verminderung der Produktivität der in diesen Bereichen beschäftigten Menschen bis hin zu Gesundheitsschäden oder Produktionsausfällen führen kann. Ein häufiges Problem der hoch verdichteten Industrie- und Gewerbeflächen ist auch, dass hier über den erhitzten Oberflächen die Kaltluft aufgezehrt wird und dem Gebiet nicht mehr zur Abkühlung zur Verfügung steht. Kleinräumig

profitieren nur die direkten Randbereiche des Industrie- und Gewerbegebietes von der Kaltluftzufuhr.

Durch die dichte Bebauung wird der Luftaustausch behindert und die einströmende Kaltluft schnell erwärmt. Somit ist eine Abschwächung von sommerlicher Hitzebelastung im Untersuchungsgebiet Kaßlerfeld nicht durch die Zufuhr kühlerer Umgebungsluft zu erwarten. Hitzebelastungen in Industrie- und Gewerbegebieten betreffen in erster Linie die tagsüber dort tätigen Menschen. Hier sind Klimaanpassungsmaßnahmen notwendig, um die Produktivität zu erhalten und gesunde Arbeitsbedingungen zu schaffen. Im Sinne des Klimaschutzes gilt es zu vermeiden, den Stromverbrauch, beispielsweise durch Klimaanlage, zu erhöhen. Für die Ausbildung einer Hitzebelastung spielen in erster Linie die Bebauung und Versiegelung eines Gebietes eine Rolle. Variationen ergeben sich durch den Einsatz verschiedenen Materialien (je dunkler, desto stärker erwärmen sich Oberflächen) und durch den Durchgrünungsgrad. Vegetation kann durch Schattenwurf und Verdunstung erheblich zur Temperaturabsenkung beitragen. Die Erfordernisse gewerblich-industrieller Nutzungen bestimmen maßgeblich die Gestaltung der Gebiete und schränken somit den Rahmen für klimaverbessernde Maßnahmen ein. Es entstehen Zielkonflikte zwischen einer anzustrebenden Verbesserung der Grünstruktur und Verringerung des Versiegelungsgrades einerseits und einer notwendigen Vollversiegelung betrieblicher Funktionsbereiche auch zum Schutz des Grundwassers andererseits. Lösungsmöglichkeiten sind in diesem Fall in einer ausreichenden Gliederung von hochversiegelten

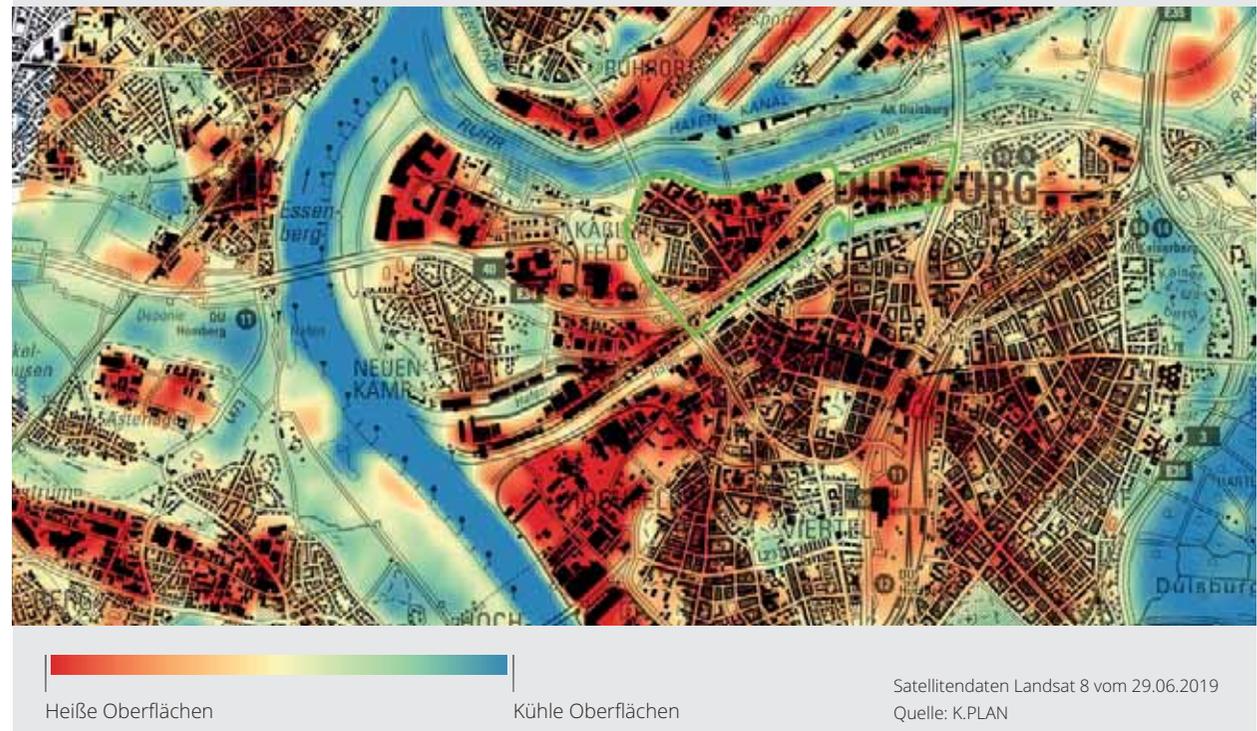
Bauflächen und betrieblichen Funktionsbereichen wie Lager- und Freiflächen durch breite Pflanzstreifen und Grünzüge zu suchen. Darüber hinaus bieten sich oft Stellplatzanlagen, Randsituationen und das Umfeld von Verwaltungsgebäuden für Begrünungen an. Weitere sinnvolle Maßnahmen sind die Begrünung von Fassaden und Dächern sowie die Nutzung von gespeichertem Regenwasser zur Kühlung.

Überflutung bei Starkregen:

Im Fokus der Analyse stand die Identifikation von Senken und Hauptfließwegen. Fast alle Wohnsiedlungsbereiche und die meisten Unternehmen im Gewerbegebiet Kaßlerfeld sind durch die Senkenlagen extrem überflutungsgefährdet. Hier ist ein dringender Handlungsbedarf zur Reduzierung des Wassereintrags, z.B. durch Zwischenspeicherung oder Umlenkung, gegeben. In den ausgewiesenen Belastungsbereichen, in denen ein hoher Oberflächenabfluss zur Gefährdung von Infrastruktur führen kann, sind neben technischen Maßnahmen des Objektschutzes Maßnahmen erforderlich, die die Abflussmenge reduzieren und Abflussspitzen durch verzögerten Abfluss verringern. Dazu gehören in erster Linie:

- Entsiegelung und Begrünung der hoch versiegelten Bereiche zur Reduzierung des Oberflächenabflusses und Verbesserung des Stadtklimas
- Retentionsmaßnahmen in Form von Überlaufbecken (techn. Bauwerke) oder Überflutungsflächen mit Entlastungspotential für extreme Regenereignisse

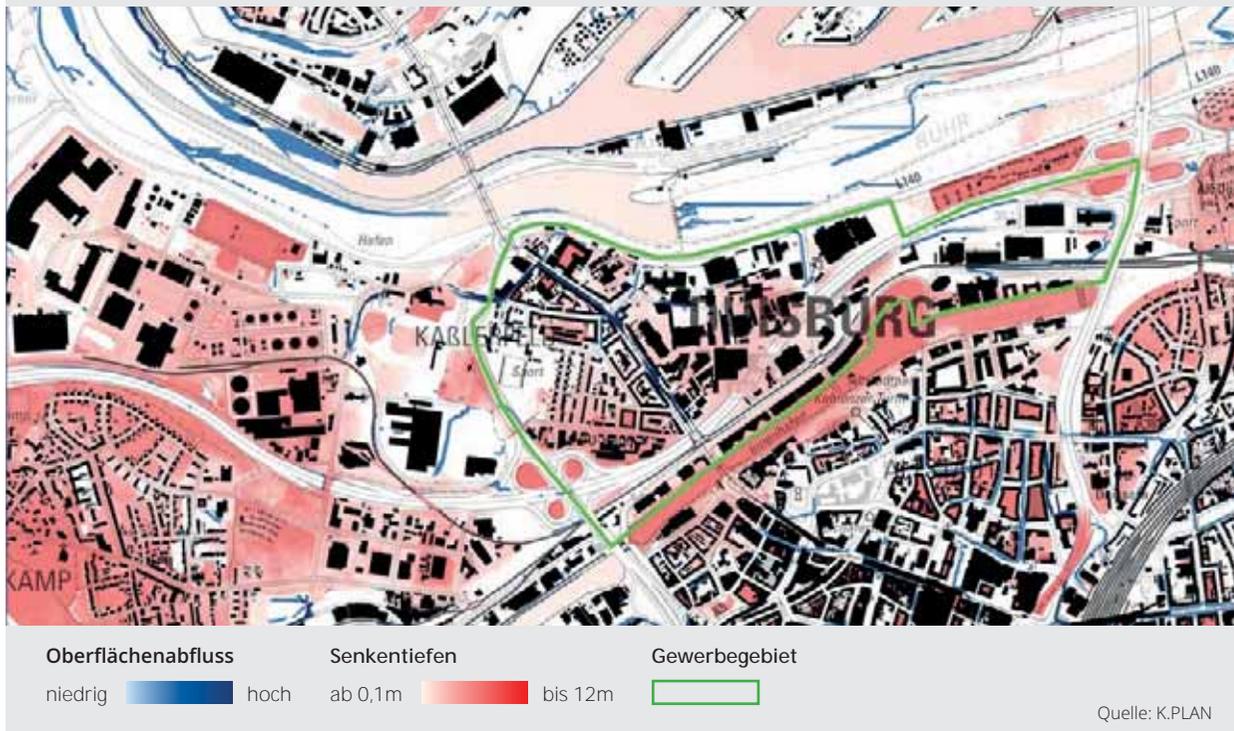
Oberflächentemperaturen – Kaßlerfeld und Umgebung (Abb. 23)



Untersuchungen zeigen deutlich, dass Begrünungs- und Entsiegelungsmaßnahmen auf die Direktabflussmenge von seltenen Starkregenereignissen nur eine verhältnismäßig geringe Auswirkung haben. Als reine Anpassungsmaßnahme an Starkregen ist die Wirkung von Entsiegelungsprogrammen eher gering, während sich Retentionsmaßnahmen in Form von Überlauf-

becken oder Überflutungsflächen als sehr effektiv erwiesen haben. Neben der hohen Effektivität von Retentionsbecken und dem geringen Flächenverbrauch, besteht ein weiterer Vorteil in der schnellen und einmaligen Umsetzung. Entsiegelungs- und Begrünungsmaßnahmen müssten sukzessive umgesetzt werden, so dass eine maximal mögliche Wirkung erst nach langer

Detailausschnitt aus der Fließwegekarte für das Untersuchungsgebiet Kaßlerfeld (Abb. 24)



Zeit erreicht werden könnte. Entsiegelte und begrünte Flächen entfalten ihre Wirkung vor allem in ihrer alltäglichen Wirkung wie einer deutlichen Aufwertung des innerstädtischen Klimas. Aus hydrologischer Sicht zeigen sich die Vorteile des reduzierten Oberflächenabflusses insbesondere bei mittleren Niederschlagsereignissen. Hier verringert sich das Verhältnis aus Gesamtnieder-

schlag und Oberflächenabflussvolumen. Während die Speicherkapazität eines Gründaches bei einem 50-jährigen Niederschlagsereignis schnell erschöpft ist, kann die gleiche Fläche einen gewöhnlichen sommerlichen Starkregen nahezu vollkommen aufnehmen. Wird die Aufnahmekapazität überschritten, werden trotzdem die Abflussspitzen deutlich verringert.

Gefährdung durch Sturmschäden:

Die große Rauigkeit der Gebäudestruktur im Untersuchungsgebiet Kaßlerfeld führt zu einer verstärkten Böigkeit und damit einer größeren Gefährdung bei Starkwinden und Stürmen insbesondere im Ostteil des Gebietes. Auf gewerblichen Flächen ist aufgrund der dort typischen Bauweise (z.B. Leichtbaukonstruktionen) und der wirtschaftlichen Werte von einem erhöhten Schadenspotential auszugehen. Insgesamt lässt sich aber die Betroffenheit für Sturmschäden weniger gut lokalisieren, als das für Hitzebelastungen und insbesondere für Überflutungen bei Extremniederschlägen der Fall ist. Bei der Erarbeitung von Maßnahmen zur Anpassung an die Auswirkungen von Stürmen müssen folgende Aspekte einbezogen werden:

- Sicherung von Straßenbäumen (Trockenheit, Sturm)
- Sicherung von sensiblen Einrichtungen (Prüfung der Windexponiertheit, Baumaßnahmen)
- Sicherung des öffentlichen Raums (Prüfung der Windexponiertheit, Maßnahmen zum Windschutz,
- Sicherung von Anlagen wie Ampeln oder Straßenschildern)
- Vorsorge im privaten Bereich (Aufklärung, Information)



Möglichkeiten zur Klimaanpassung in Bestandsgewerbegebieten

Die Möglichkeiten einer Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen in Industrie- und Gewerbegebieten sind:

- Minimierung der sommerlichen Hitzeentwicklung vor Ort
- Abgrenzung der Hitzeareale zu den vorhandenen bebauten Gebieten, insbesondere zur Wohnbebauung
- Erhalt der lokalen Belüftungsfunktion
- Vermeidung von Schäden durch Überflutungen
- Vermeidung von Sturmschäden

Maßnahmen zur Reduzierung der Hitzebelastung

Hitzebelastungen in Gewerbegebieten betreffen in erster Linie die tagsüber dort tätigen Menschen. Hier

sind Klimaanpassungsmaßnahmen notwendig, um die Produktivität zu erhalten und gesunde Arbeitsbedingungen zu schaffen. Im Sinne des Klimaschutzes gilt es zu vermeiden, den Stromverbrauch, beispielsweise durch Klimaanlage, zu erhöhen.

Maßnahmen der Klimaanpassung, die zu einer Verbesserung der Situation in den Lasträumen der Gewerbeflächen führen, bestehen in erster Linie in

- der Entsiegelung,
- dem Erhalt sowie der Erweiterung von Grün- und Brachflächen.

Die Erfordernisse gewerblich-industrieller Nutzungen bestimmen maßgeblich die Gestaltung der Gebiete und können somit den Rahmen für klimaverbessernde Maßnahmen ein. Es können so entstehen Zielkonflikte zwischen einer anzustrebenden Verbes-

serung der Grünstruktur und Verringerung des Versiegelungsgrades einerseits und einer notwendigen Vollversiegelung betrieblicher Funktionsbereiche auch zum Schutz des Grundwassers andererseits. Lösungsmöglichkeiten sind in diesem Fall in einer ausreichenden Gliederung von hochversiegelten Bauflächen und betrieblichen Funktionsbereichen wie Lager- und Freiflächen durch breite Pflanzstreifen und Grünzüge zu suchen. Darüber hinaus bieten sich oft Stellplatzanlagen, Randsituationen und das Umfeld von Verwaltungsgebäuden für Begrünungen an. Weitere sinnvolle Maßnahmen sind die Begrünung von Fassaden und Dächern sowie die Nutzung von gespeichertem Regenwasser zur Kühlung. Der Rückhalt von Regenwasser kann zudem wirtschaftliche Vorteile (Abwassergebühren) und ein positives Image für den jeweiligen Betrieb bringen. Für die Ausbildung einer Hitzebelastung spielen in erster Linie die Bebauung und Versiegelung eines Gebietes eine Rolle. Varia-

Abbildung 25: Fassadenbegrünung

Quelle: PackShot / stock.adobe.com

tionen ergeben sich durch den Einsatz verschiedenen Materialien (je dunkler, desto stärker erwärmen sich Oberflächen) und durch den Durchgrünungsgrad. Vegetation kann durch Schattenwurf und Verdunstung erheblich zur Temperaturabsenkung beitragen. Auf Gebäudeebene können Dach- und Fassadenbegrünungen, Veränderungen im Gebäudedesign, wie Hauswandverschattung, Wärmedämmung und der Einsatz von geeigneten Baumaterialien als Maßnahmen eingesetzt werden. Die Abbildung 27 zeigt die

Auswirkungen von verschiedenen Oberflächen auf die Oberflächentemperaturen.

Maßnahmen zur Abgrenzung der Hitzeinsel zum Wohnbestand

Eine besondere Funktion kommt einem randlichen Grünstreifen als Trennungselement zwischen Wohngebieten und Gewerbegebieten zu. Auch kleinräumige

Grünzüge fördern durch die Entstehung von Luftaustauschprozessen eine Unterbrechung von Wärmeinseln. Bei einer engen Vernetzung und einer sinnvollen Anordnung tragen daher auch kleinere Grünflächen zur Abmilderung des Wärmeinseleffekts bei.

Maßnahmen zum Erhalt der lokalen Belüftungsfunktion

Kaltluftschneisen und Kaltluftentstehungsgebiete besitzen eine wichtige Ausgleichsfunktion für das lokale Klima und sollten deshalb so weit wie möglich von Bebauung freigehalten werden. Ist eine Bebauung nicht zu vermeiden, sollte sie auf ein Minimum beschränkt werden. Gebäude sollten so ausgerichtet werden, dass ein Luftaustausch entlang der Kaltluftbahn weiterhin möglich ist und die Kaltluft möglichst weit in das Gewerbegebiet eindringen kann. Zur Unterstützung der Kaltluftbildung und des Kaltluftflusses am Rand von Industrie- und Gewerbegebieten sollten die folgenden Maßnahmen eingehalten werden:

- Die Versiegelungen sollten möglichst geringgehalten werden. Über zusammenhängende Grünflächen (auch unter Einbeziehung von Privatflächen) kann ein Kaltluftpotenzial und eine Kaltluftströmung erhalten werden.
- Eine randliche Bebauung sollte keine Riegelwirkung erzeugen.



Dach- und Fassadenbegrünung
(Abb. 26)

Begrünte Dächer oder Fassaden haben positive Auswirkungen auf das thermische, lufthygienische und energetische Potential eines Gebäudes. Im größeren Verbund ergeben sich Auswirkungen auf das Mikroklima eines Gebietes.

Die thermischen Effekte liegen hauptsächlich in der Abmilderung von Temperaturextremen im Jahresverlauf. Die Vegetation vermindert das Aufheizen im Sommer und den Wärmeverlust des Gebäudes im Winter. Ein weiterer positiver Effekt von Dachbegrünungen ist die Auswirkung auf den Wasserhaushalt. 70% bis 100% der normalen Niederschläge werden in der Vegetationsschicht aufgefangen und durch Verdunstung wieder an die Stadtluft abgegeben. Dies reduziert Feuchtemangel und trägt zur Abkühlung der Luft bei. Bei Starkniederschlägen werden die Spitzenbelastungen abgefangen und zeitverzögert an die Kanalisation abgegeben.



Material- und Farbauswahl unter den Gesichtspunkten der minimalen Aufheizung treffen (Abb. 27)

Hellere Farben auf Flächen können sowohl zur Hitzevermeidung am Tag wie auch zur Verringerung der nächtlichen Überwärmung beitragen. Wie viel Wärme in welcher Zeit bei zunehmenden Temperaturen von einer Fläche aufgenommen wird, hängt von der Art des Stoffes ab. Asphaltierte oder gepflasterte Verkehrsflächen erwärmen sich deutlich stärker als natürliche Oberflächen. Zur Verringerung von Erwärmungen sind Materialien mit geringerer Wärmeleit- und -speicherfähigkeit sinnvoll. Glas und Stahl haben einen hohen, natürliche Materialien wie Holz einen niedrigen Wärmeumsatz. Helle Beläge auf Verkehrsflächen und helle Gebäude reflektieren einen größeren Anteil der eingestrahnten Sonnenenergie sofort wieder (Albedo) und können damit das Aufheizen der Luft erheblich verringern.

Hellere Farben auf Flächen können sowohl zur Hitzevermeidung am Tag wie auch zur Verringerung der nächtlichen Überwärmung beitragen. Wie viel Wärme in welcher Zeit bei zunehmenden Temperaturen von einer Fläche aufgenommen wird, hängt von der Art des Stoffes ab. Asphaltierte oder gepflasterte Verkehrsflächen erwärmen sich deutlich stärker als natürliche Oberflächen. Zur Verringerung von Erwärmungen sind Materialien mit geringerer Wärmeleit- und -speicherfähigkeit sinnvoll. Glas und Stahl haben einen hohen, natürliche Materialien wie Holz einen niedrigen Wärmeumsatz. Helle Beläge auf Verkehrsflächen und helle Gebäude reflektieren einen größeren Anteil der eingestrahnten Sonnenenergie sofort wieder (Albedo) und können damit das Aufheizen der Luft erheblich verringern.

- Dichte Vegetation (Sträucher und Bäume) ist als Strömungshindernis im Bereich von Kaltluftströmungen zu vermeiden.
- Übergangsbereiche zwischen Kaltluftflächen und Bebauung sollten offen gestaltet werden, um einen guten Luftaustausch zu fördern.

Maßnahmen zur Vermeidung von Schäden durch Überflutungen

Senkenbereiche und Oberflächenfließwege im Bereich von Industrie- und Gewerbegebieten machen die Integration von Anpassungsmaßnahmen für das Themenfeld Wasser erforderlich. In der Tabelle 2 sind die Maßnahmen zur Vermeidung von Schäden durch Überflutungen bei Stark- und Extremniederschlägen zusammengefasst.

Maßnahmen zur Vermeidung von Sturmschäden

Im Bereich von Industrie- und Gewerbegebieten bestehen aufgrund der Infrastrukturwerte große Anfälligkeiten für die Auswirkungen von Starkwind und Sturm. Deshalb sollten vorsorglich verschiedene Anpassungsmaßnahmen zur Vermeidung von Sturmschäden in Erwägung gezogen werden. Bei der Erarbeitung von Maßnahmen zur Anpassung an



Anlage von Grün- und Wasserflächen (Abb. 28)

Eine Aufheizung der Luft kann durch Begrünung vermindert werden. Schattenwurf, Verdunstung und Transpiration der Pflanzen reduzieren die Aufheizung versiegelter Bereiche. Für eine bessere Versorgung von städtischen

Bäumen mit Wasser ist bei Neupflanzungen die Kombination des Wurzelraums mit einer Rigole, die das aus dem Straßenraum abfließende Regenwasser aufnimmt (Synergie mit der Regenwasserbewirtschaftung) und als Wasserspeicher für den Baum dient. Wasser wirkt sich durch Verdunstungskühlung regulierend auf die Umgebungstemperatur aus. Grün- und Wasserflächen bieten zusätzlich attraktive Aufenthalts- und Erholungsflächen.

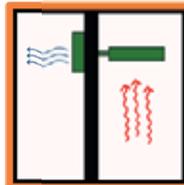


Gebäudedämmung (Abb. 30)

Durch Maßnahmen zu Wärmedämmung können nicht nur die betriebliche Energieeffizienz erhöht und Kosten gespart, sondern auch die verminderte Aufheizung von Gebäuden und Absenkung der Innenraumtemperaturen bei Hitzewetterlagen

erreicht werden.

Bei einer Gebäudedämmung ergeben sich Synergien zwischen der Klimaanpassung und dem Klimaschutz bzw. dem Energieverbrauch für die Heizung von Gebäuden im Winter und die Kühlung von Innenräumen im Sommer.



Abwärmebetriebene Kühlsysteme (Abb. 29)

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

In vielen Betrieben fällt bei Produktionsprozessen Abwärme an, die genutzt werden kann, um die Gebäude über thermisch angetriebene Kälteanlagen zu kühlen. Damit werden Synergien zum Klimaschutz und Energieverbrauch geschaffen.



Errichtung von Verschattungselementen (Abb. 31)

Bei der Gebäudeplanung kann ein sommerlicher Hitzeschutz neben der Gebäudeausrichtung auch durch eine Hauswandverschattung mittels Vegetation, durch angebaute Verschattungselemente und sonnenstandgesteuerte Außenrollos - beispielsweise an Bürogebäuden - erreicht werden. Verschattungen, beispielsweise durch eine im Süden des Gebäudes angebrachte Pergola, führen im Sommer bei hochstehender Sonne um die Mittagszeit zur Verschattung, in den Morgen- und Abendstunden und im Winter erreicht die tief stehende Sonne das Haus und verringert den Heizbedarf.

Eine Verschattung kann auch bei wichtigen Abschnitten von Versorgungsnetzen (z.B. Wasserleitungen) und Funktions- und Lagerflächen sinnvoll sein.

die Auswirkungen von Stürmen müssen folgende Aspekte einbezogen werden:

- Sicherung von Straßenbäumen (Trockenheit, Sturm)
- Sicherung von sensiblen Einrichtungen (Prüfung der Windexponiertheit, Baumaßnahmen)
- Sicherung des öffentlichen Raums (Prüfung der Windexponiertheit, Maßnahmen zum Windschutz)
- Sicherung von Anlagen wie Ampeln oder Straßenschildern
- Vorsorge im privaten Bereich (Aufklärung, Information)

Bewertung von Maßnahmen für Gebäude und Außengelände

Die folgenden beiden Tabellen geben einen Überblick möglicher Anpassungsmaßnahmen für das Gebäude und das Außengelände von Unternehmensstandorten in Bestandsgewerbegebieten. Zu allen Maßnahmen werden der zentrale Nutzen sowie ausgewählte weitere Nutzen aufgeführt. Zudem wird jede Maßnahme nach den Kriterien Anfangsinvestition, zusätzlicher Investitionsbedarf sowie Instandhaltung hinsichtlich relativer Kosten bewertet.

Die für die Maßnahmen zugrundeliegenden Quellen zur Ableitung und Bewertung der Nutzen und Kosten



Rückbau versiegelter Flächen
(Abb. 32)

Parkplätze, Lagerflächen und wenig befahrene Verkehrsflächen, die keine undurchlässigen Flächenversiegelungen benötigen, können komplett entsiegelt oder mit einer wasserdurchlässigen Befestigung versehen werden.

Dazu gehören Schotterrassen, Rasengittersteine oder Betonpflaster mit Dränfugen.

Als nicht versiegelte Flächen können auch begrünte Dächer anfallendes Regenwasser teilweise zurückhalten und bei Starkregen zeitverzögert an die überlastete Kanalisation abgeben.



Errichtung von Versickerungsanlagen
(Abb. 33)

Wenn die natürlichen Gelände- und Bodenverhältnisse es zulassen, kann unbelastetes Niederschlagswasser durch Versickerung dem Grundwasser zugeführt werden. Durch beispielsweise Verkehrsbewegungen belastetes Wasser könnte durch Pflanzenfiltration vor der Versickerung gereinigt werden.

Die Versickerung kann breitflächig über Mulden, linienförmig über Rigolen oder punktförmig über Sickerschächte erfolgen. Der Boden muss für die Versickerung ausreichend durchlässig sein. Eine tiefe Durchwurzelung des Bodens steigert die Versickerungsleistung. Bei einer schlechten Versickerungsleistung (kf-Wert) des Bodens kann Wasser alternativ auch über Auffangbecken verdunstet werden und damit gleichzeitig die Luft kühlen.

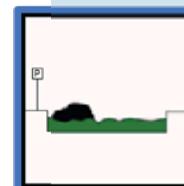


Grau- und Regenwassernutzung
(Abb. 34)

Gewerbe- und Industriebetriebe haben nicht nur einen hohen Bedarf an Brauchwasser, sondern bieten mit großen Dachflächen optimale Voraussetzungen für die Nutzung von Regenwasser. Gesammeltes Regenwasser

kann aufbereitet und für Nutzungen wiederverwendet werden, bei denen keine Trinkwasserqualität notwendig ist.

Synergien bestehen einerseits mit dem temporären Regenrückhalt bei Starkniederschlägen. Andererseits kann über die Regenwassersammlung und Nutzung für die Bewässerung der Vegetation im Umfeld des Betriebes während sommerlicher Trockenzeiten eine Synergie zur Hitzeminderung erreicht werden.



Zwischenspeicherung von Niederschlagswasser
(Abb. 35)

Eine multifunktionale Flächennutzung ist sinnvoll, wenn versiegelte oder unversiegelte Freiflächen für vorrangig andere Nutzungen (Parkplatz, Lagerfläche, Grünfläche) im Ausnahmefall bei Starkregen für kurze Zeit gezielt

überflutet wird. Dadurch kann Wasser zwischengespeichert werden, um Schäden an Gebäuden und Anlagen abzuwenden.

Durch eine bewusste Tieferlegung von Flächen kann das Volumen zum Regenrückhalt erhöht werden. Zwischenspeicherung kann auch auf Dachflächen oder unterirdisch z.B. in Stauraumkanälen oder Zisternen erfolgen.

werden in den Tabellen benannt bzw. mit Querbezüge angegeben. Auf Seite 61 ff. wird näher erläutert, dass Anpassungsmaßnahmen einen Mehrwert schaffen können. Durch exemplarische Beispiele aus den Modellgebieten werden detaillierte Kosten-Nutzen-Analysen mit quantitativen Berechnungen präsentiert.



Abb. 36: extensive Dachbegrünung.
Quelle: miss_mafalda / stock.adobe.com



Gebäudeschutz (Abb. 37)

Je nach Lage in einer Senke oder an einem Oberflächenfließweg für Niederschlagswasser sind Gebäudeanpassungen als Maßnahmen zum Überflutungsschutz notwendig.

Eine Aufschüttung des Baugrunds stellt bei Neubauten eine kostengünstige und wirksame Maßnahme dar, um das Eindringen von Niederschlagswasser in ein Gebäude zu vermeiden. Aber auch durch eine Erhöhung der Erdgeschossenebene können Gebäudeeingänge (Treppen, Rampen) vor dem Eintritt von Oberflächenwasser geschützt werden. Dabei ist die Barrierefreiheit zu berücksichtigen.

Ebenso sollten Kellereingänge, Souterrainfenster und Tiefgaragen vor einem Wassereintritt geschützt werden. Rückstausicherungen sind in jedem Fall eine sinnvolle Maßnahme, um Keller und tiefliegende Gebäudeteile vor dem Eindringen von Wasser aus der Kanalisation zu schützen.

Empfindliche und hochwertige Objekte und technische Anlagen sollten nach Möglichkeit nicht in den unteren Gebäudeteilen untergebracht werden, wenn diese nicht sehr gut vor eindringendem Wasser geschützt sind.



Schaffung von Notwasserwegen (Abb. 38)

Im Falle eines Starkniederschlagsereignisses kann das Regenwasser nicht vollständig über die Kanalisation abgeleitet werden. Auf Notwasserwegen, das können auch z. B. Nebenstraßen sein, kann das Wasser zwischengespeichert und in weniger empfindliche Bereiche abgeleitet werden.

Notwasserwege können durch erhöhte Bordsteine, Gräben, Pflaster- oder Kastenrinnen angelegt werden.



Errichtung von Schutzhecken oder -wänden (Abb. 39)

Um windempfindliche Flächen, Anlagen oder Gebäudeteile gezielt vor Windschäden zu schützen, können an exponierten Stellen Windschutzelemente errichtet werden. Hecken bieten zusätzliche Vorteile für die Biodiversität, den Hitzeschutz und die Aufenthaltsqualität, während durch Mauern die windgeschützten Bereiche wärmer werden können.

Durch Windschutz kann im Winter auch ein Schutz vor Schäden durch Fröste bei empfindlichen Produkten und Anlagen erreicht und der Heizenergieverbrauch gesenkt werden.



Reduzierung der Windwurfgefahr (Abb. 40)

Empfindliche Nutzungen können durch bauliche Ausrichtungen und das Einhalten von Abstandsflächen vor Beschädigungen geschützt werden. Durch eine Ausrichtung der Gebäude längs zur Hauptwindrichtung,

die durch die Leitwirkung des Rheintals zwischen Winden aus westlichen bis südlichen Richtungen schwankt, kann die Windlast reduziert werden. Die Längsausrichtung fördert zudem die Belüftung und reduziert damit die Hitzebelastung im Gewerbegebiet.

Ein Sicherheitsabstand zu Leichtbauteilen oder Bäumen reduziert das Aufprallrisiko. Andererseits sollten Bäume so dicht an Gebäuden stehen, dass der Schattenwurf zur Kühlung der Gebäudehülle beitragen kann. Bei Bäumen lässt sich das Windwurfisiko reduzieren durch regenmäßige Pflege und Entfernung von schadhafte Ästen. Ein guter Wuchsort mit ausreichendem Platz für die Baumwurzel, eine gute Wasserversorgung und die klimaangepasste Auswahl der Baumarten sorgt für eine verbesserte Standfestigkeit.

Bewertung von Maßnahmen für Gebäude und Außengelände (Tabelle 02)

GEBÄUDE Maßnahme	Nutzen		Kosten		
	Zentraler Nutzen	Zusatznutzen	Anfangs- investition	zusätzlicher Investitionsbedarf	Instandhaltung
PV-Anlage	Energieautarkie	Kombination mit weiteren Anlagen möglich (z.B. E-Ladestation für Kundschaft), relativ günstige Installation (insb. je größer die Fläche)	■■■	■■	■■■
Dachbegrünung (intensiv)	Nachhaltigkeit des Gebäudes	Regenwasserspeicher und verzögerter Abfluss, Einsparung von Niederschlagswassergebühren, Verbesserung von Wärme- und Schallschutz	■	■■	■■■
Dachbegrünung (extensiv)	Nachhaltigkeit des Gebäudes	kostengünstig und pflegeleicht, geringerer Energiebedarf (Kühlleistung, Wärmehaltung) verhältnismäßig geringes Gewicht von 60-180 kg/m ²	■	■■	■■■
Baumaterialien mit geringer Erwärmung	Reduktion der Hitzebelastung	Energieeinsparung durch reduzierte Kühlanforderungen	■	■	■■
Dämmung: Dach und Gebäudehülle	Energieeinsparung	Hitzereduktion im Sommer, Wärmedämmung im Winter	■■■	■■	■■
Fassadenbegrünung (Vertikalbegrünung)	Alleskönner	verbessertes Mikroklima Fassen-/Blickschutz Bindung von Luftschadstoffen, Regenwasserversickerung	■■■	■■	■■■
Verschattung: Fenster, Fassade, Dach	Schutz vor Hitze	Schutz für hitzeempfindliche Teile von Versorgungsnetzen	■	■	■■
Abwärmebetriebene Kühlsysteme	Energieeinsparung	Einsparung von Energiekosten, Umweltfreundlichkeit	■	■■	■■
Sicherung von Gebäudeöffnungen	Schutz vor Wasser	Verhinderung von Unterbrechungen der Betriebsprozesse	■■■	■■	■
Windgerechte Dach- und Fassadengestaltung	Schutz vor Sturmschäden	Verringerung/Verhinderung von Sturmschäden	■■■	■	■
Angepasste Keller- und Erdgeschossgestaltung	Schutz vor Wasser	Schutz wichtiger Objekte und Einrichtungen vor Schäden durch Überflutung	■■	■■	■
Technischer Hochwasserschutz	Schutz vor Wasser	Schutz vor Überflutungen	■■	■■■	■
Einbau von Rückstausicherungssystemen	Schutz vor Wasser	Verhinderung von Überflutungen und Gebäudeschäden	■■	■	■
Regenwassermanagementsystem (Nutzung Grau- und Regenwasser)	Effiziente Wassernutzung		■■	■■	■

GEBÄUDE Maßnahme	Nutzen		Kosten		
	Zentraler Nutzen	Zusatznutzen	Anfangs- investition	zusätzlicher Investitionsbedarf	Instandhaltung
Entsiegelung und Schaffung von Grünflächen (auch einzelne Baumpflanzungen, ggf. Trockenresistent)	Klimatische Verbesserung	- Bereitstellung attraktiverer Aufenthalts- und Erholungsflächen, - Bepflanzung bietet Lebensraum für Insekten und andere Tiere, - Entlastung von Kanälen durch verbesserte Versickerung	■■	■■■	■■■
Schaffung/ Freihaltung von Kaltluftflächen	Klimatische Verbesserung	Reduktion der Hitzebelastung	■■	■■	■■■
Einsatz von Baumaterialien mit geringer Erwärmung	Klimatische Verbesserung	Ggf. längere Haltbarkeit und geringerer Pflegeaufwand (z.B. Beton)	■■	■■	■■■
Verschattungselemente (baulich und Begrünung)	Klimatische Verbesserung	Sehr unterschiedliche und flexibel anpassbare Lösungen möglich (z.B. Rollos, Arkaden, PV-Anlage), Attraktivere Aufenthaltsflächen	■■■	■■	■■
Einrichtung von Versickerungsanlagen	Versickerung und Schutz vor Wasser	Flexibilität: unterschiedliche Ansätze wählbar (z.B. Retentionsmulden, Rigolenversickerung, Flächenversickerung, Schachtversickerung)	■■	■■	■■■
Schaffung von Notwasserwegen	Schutz vor Wasser	Reduktion der Überflutungsgefahr von betroffenen Bereichen	■	■■	■■■
Zwischenspeicherung von Wasser auf Freiflächen	Schutz vor Wasser	Unterirdische Anlagen möglich	■■■	■■	■■
Erhöhte Gebäudeanordnung	Schutz vor Wasser	kostengünstig und wirksam	■	■■	■■
Anpassung von Geländeneigungen und Abflusswegen	Schutz vor Wasser	Reduktion der Gefahren durch angestautes Wasser	■■	■■	■■
Windgerechte Gebäudeausrichtung und Aufteilung der Grundstücksflächen	Schutz vor Wind		■	■■	■■
Errichtung von Schutzhecken oder Schutzwänden	Schutz vor Wind	Kleinflächiger Schutz vor Wind	■	■■	■■■
Verkehrsflächen mit geringer Wärmeleit- und Speicherfähigkeit	Schutz vor Hitze	Schutz vor Schäden an Leitungssystemen	■■■	■	■■

■■■ hoch ■■ mittel ■ gering



Klimaanpassungsmaßnahmen in den Projektgebieten

Auf Grundlage der gemeinsamen Gespräche mit den Kommunen (Umweltämter, Wirtschaftsförderung) und lokalen Unternehmen wurden die aktuellen Betroffenheiten der Klimawandelfolgen der Gewerbegebiete insgesamt als auch Standortspezifisch untersucht. Im Folgenden werden Betroffenheiten und möglichen Anpassungsmaßnahmen beispielhaft an drei Unternehmensstandorten der Projektgebiete vorgestellt.

Wenn Hitze zu Produktionsausfällen führt (Dortmund)

Die Druckerei Lensing befindet sich im Nordosten des Gewerbegebietes „Dorstfeld-West“. Das in etwa

17.824 m² große Druckereigelände lässt sich in einen Besucher- und Mitarbeiterparkplatz (blau), in das Druckereigebäude (rot) und in umliegende Flächen (schwarz umrandet) unterteilen (Abb. 42).

Der im Norden des Druckereigeländes liegende große Besucher- und Mitarbeiterparkplatz besteht aus dunkel asphaltierten Fahrwegen und mit Pflastersteinen ausgelegten Parkbuchten. Sowohl die Fahrwege als auch die Parkbuchten sind aufgrund von Verwitterungsprozessen über die Jahre und dem Baujahr entsprechend verdreckt und dadurch nachverdunkelt worden. Das Druckereigebäude beansprucht mit einer Fläche von 7805 m² den größten Anteil des Druckereigeländes und kann in insgesamt drei Gebäudeabschnitte unterteilt werden. Eines der drei Gebäudeabschnitte ist der sich über das erste und zweite

Obergeschoss erstreckende Bürokomplex, in dem die für den Druck und die Auslieferung der Zeitungen notwendigen Arbeitsschritte geplant und koordiniert werden. Im zweiten Gebäudeabschnitt ist die die mehrgeschossige Zeitungs-Druckmaschine untergebracht. In diesem Gebäudeteil werden zum größten Teil die Zeitungen gedruckt, aber auch die für den Druck notwendigen Materialien wie Papierrollen gelagert. Der letzte und größte aller drei Gebäudeabschnitte enthält die notwendigen Aggregate der Komplementierung. In diesem Bereich werden der Zeitung entsprechende Beilagen zugeführt und anschließend in Transporter verstaут und abtransportiert. Insgesamt wurde das Gebäude in Stahlbetonweise mit einer Waschbetonfassade und Stahlbetondecke ohne Dämmung gebaut. Bis auf die Flächen über den Büros und zwischen den Ventilatoren, welche mit Kies bedeckt sind, sind die

Abbildung 41: Rasengittersteine - wasserdurchlässige Befestigung zur Versickerung geeignet.

Quelle: Animaflora PicsStock / stock.adobe.com



Das Druckereigelände (Abb. 42)

- Mitarbeiterparkplatz
- Druckereigebäude
- umliegende Flächen

Quelle: Google Earth

Dachflächen der Druckerei fast vollständig mit einer hell-grauen, flexiblen Polyolefine-Folie (FPO-Folie) ausgelegt. Das Druckereigelände wird durch einen von Pflanzen überwucherten Zaun abgegrenzt, der einer Hecke ähnelt. An den Zaun angrenzend und rund um die Einfahrt des Geländes stehen vereinzelte, 10m-15m hohe Bäume heraus. Der Besucher- und Mitarbeiterparkplatz wird von dem Druckereigebäude und einer dazwischen liegenden Straße für den Abtransport durch einen Grünstreifen getrennt. Dennoch ist neben der eben aufgeführten Vegetation und einer noch ca. 105m² großen Grünfläche nordöstlich angrenzend an das Druckereigebäude kaum Vegetation auf dem Druckereigelände vorhanden. Im Gegensatz dazu grenzt im Osten des Druckereigeländes ein von Norden nach Süden verlaufender und ca. 5m breiter Baumstreifen an, der überwiegend aus Bäumen mit einer Höhe von 5m-15m besteht. Darüber hinaus sind die Straßen, die direkt an dem Druckereigelände vorbeilaufen, durch Baumalleen und Grünstreifen geprägt. Die Betroffenheit der Firma Lensing resultiert aus dem hohen Versiegelungsgrad auf dem Druckereigelände und zeigt sich in der Hitzebelastung der Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen, aber vor allem in der eingeschränkten Frischluftzufuhr für die Gebäudelüftung. Die Temperaturen in Druckereien können durch die fast ständig laufenden Zeitungsdruck-Maschinen extreme Höhen erreichen. Aus diesem Grund zieht die Druckerei mithilfe von Luftansaugschächten Außenluft aus der unmittelbaren Umgebung der Dr-

ckerei an und leitet diese weiter in die jeweiligen Gebäudeabschnitte. Dadurch soll zum einen ein besseres Arbeitsklima für die Beschäftigten geschaffen werden, zum anderen aber auch die Maschinen gekühlt und somit möglichen Produktionsausfällen vorgebeugt werden. Insgesamt befinden sich zwei solcher Luftansaugschächte an der Nordwand des Druckereigebäudes sowie zwei Ansaugschächte auf dem Dach der Nordwand. Ein weiterer Luftansaugschacht befindet sich auf der Verarbeitungshalle. An der Nordwand des Druckereigebäudes befinden sich diejenigen Luftansaugschächte, die vorrangig für die Kühlung der Zeitungsproduktion, aber auch für die Kühlung des angrenzenden Bürokomplexes zuständig sind. Da die Klima- und Lüftungstechnik der Druckerei für das Herunterkühlen der Luft in den Produktionsräumen signifikant viel Energie verbraucht, versucht man mithilfe der Luftansaugschächte die kühle Außenluft anzusaugen und in die Produktionsräume zu leiten. Somit bilden diese beiden Luftansaugschächte die elementaren Kühlungsfunktionen der Druckerei. Sofern keine kühle Luft angesogen werden kann, entstehen erhöhte Energiekosten zur Maschinenkühlung und allgemeinen Kühlung der Arbeitsräume. Des Weiteren können erhöhte Temperaturen Produktionsausfälle bei einem möglichen Ausfall der Kühlung begünstigen. Um die bereits eingetroffenen Folgen nicht noch schlimmer werden zu lassen und die zukünftig zu erwartenden klimatischen Veränderungen zu kompensieren, gilt für die Druckerei Lensing somit ein enormer Handlungs-



Mögliche Maßnahmen einer klimagerechten Anpassung der Druckerei Lensing (Sprenger, 2021)

(Abb. 43)

Nordwand:

- Vertikale Fassadenbegrünung (1)
- Wandgebundene Fassadenbegrünung
- Bodengebundene Fassadenbegrünung
- Bodengebundene Gerüstbegrünung
- Albedomanagement (Veränderung Farbanstrich) (2)

Parkplatz:

- Veränderung des Bodenbelages (7)
- Entsigelung (8)
- Einfluss blauer Infrastruktur (Verdunstung) (9)
- Wirkung von parkartiger Grünfläche im Gegensatz zum Parkplatz (10)

Umliegende, asphaltierte Straße:

- Veränderung des Bodenbelages (3)
- Entsigelung (4)
- Bäume vor Nordwand (5)

Grünstreifen (zwischen Straße und Parkplatz):

- Bäume anstatt Hecke (6)

Quelle: Google Earth

bedarf im Bereich der Klimaanpassung. Zur Reduktion der Außenluft der Druckerei, welche für die Innenraumkühlung der Gebäude von enormer Bedeutung ist, schlägt die Druckerei Lensing an der Nordwand der Druckerei eine vertikale Fassadenbegrünung vor. Dabei muss jedoch beachtet werden, dass die Begrünung die Luftansaugschächte an der Nordwand nicht stören bzw. zuwachsen lassen darf. Neben der Fassadenbegrünung als Mittelpunkt der anstehenden

Modellierungen gibt es darüber hinaus noch weitere, potenzielle Klimaanpassungsmaßnahmen, die zu einer Reduktion der Umgebungstemperatur und daraus resultierenden Energieeinsparung beitragen könnten. Darunter fallen ein veränderter Farbanstrich der Nordwand, eine Veränderung des Bodenbelages der an die Nordwand angrenzenden, asphaltierten Straßen, verschiedene Begrünungsvarianten oder die Veränderung des Parkplatzes (Abb. 43). Eine Dachbe-

grünung und vollkommene Entsigelung der asphaltierten Flächen werden seitens der Druckerei erstmal ausgeschlossen.

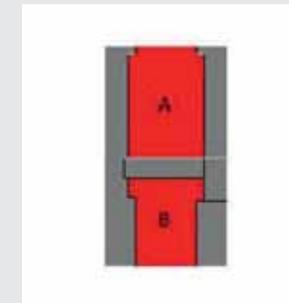
Im Zuge der mikroklimatischen Untersuchungen wurden verschiedene Fassadenbegrünungen betrachtet. Eine Begrünung der Nordwand ist aufgrund der dort nicht auftreffenden direkten Sonneneinstrahlung kaum wirksam. Sinnvoller erscheint eine Begrünung

von südlichen sowie östlichen und westlichen Fassaden, die einer direkten Aufheizung der Innenräume entgegenwirken können. Das Gebäude der Firma Lensing soll im Bereich des Dachaufbaus an drei Seiten (Ostfassade, Westfassade, Südfassade) mit einer Fassadenbegrünung ausgestattet werden. Hierzu wurde der obere Gebäudeteil mit ENVI-met modelliert, um die Kühlwirkung auf die Innenraumtemperatur (T_{innen}) zu untersuchen (Abb. 45).

Für die Untersuchung wurden zwei unterschiedliche Begrünungsszenarien gewählt. In dem ersten

Szenario ist die im Modell vorgegebene Begrünung „onlyGreen“ mit 30 cm Ivy (*Hedera helix*) verwendet worden. In einem zweiten Szenario wurde eine optimierte Fassadenbegrünung mit 30 cm Funkia (*Hosta*) sowie 15 cm Substrataufbau verwendet (01NAS2). Der Wassergehalt im Substrat bleibt mit 95 % während der Modellaufzeit konstant. Beide Szenarien, sowie die IST-Situation ohne Begrünung, wurden für eine sommerliche Hitzeperiode über 96 Stunden gerechnet. Für die Untersuchung der thermischen Wirkung auf das Luftvolumen innerhalb des Gebäudes wurde die Zielgröße: „Building: Temperature of building (in-

Aufteilung des Lensing-Gebäudes in zwei Teilvolumen (Abb. 44)

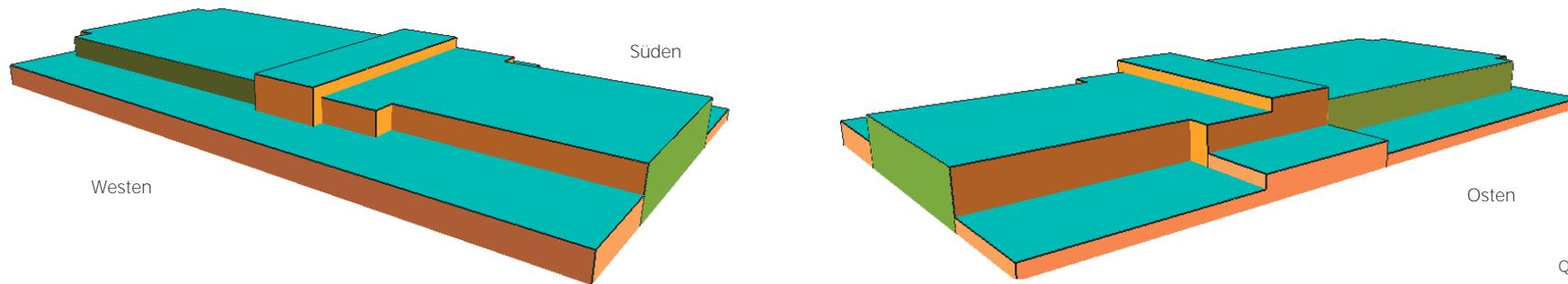


A: 1.016 m³

B: 10.920 m³

„Ein hoher Versiegelungsgrad verstärkt die Hitzebetroffenheit. Mit Modellierungen von Begrünungsmaßnahmen wird die Kühlwirkung für Gebäude untersucht.“

Darstellung der im Modell begrünter Fassaden (Abb. 45)



Quelle: K.PLAN

side) ($^{\circ}\text{C}$) ausgewertet. Über die Differenz zwischen der Temperatur im IST-Zustand und dem Modell mit Fassadenbegrünung lässt sich die Kühlwirkung darstellen.

Die Flächengrößen für die Fassadenbegrünung betragen für alle Szenarien

- Ostfassade: 324 m^2 (L=54m, H=6m)
- Westfassade: 162 m^2 (L=54m, H=3m)
- Südfassade: 224 m^2 (L=32m, H=7m)

Zur Modellierung wurde der Gebäudetrakt in drei Volumenkörper unterteilt, sodass die Fassadenbegrünung an der West- und Ostseite für den Gebäudeteil A und die Fassadenbegrünung an der Südseite für den

Gebäudeteil B wirken (Abb. 44). Der mittlere Teil dient als Barriere und ist für den Austausch der Innenraumluft ausgenommen.

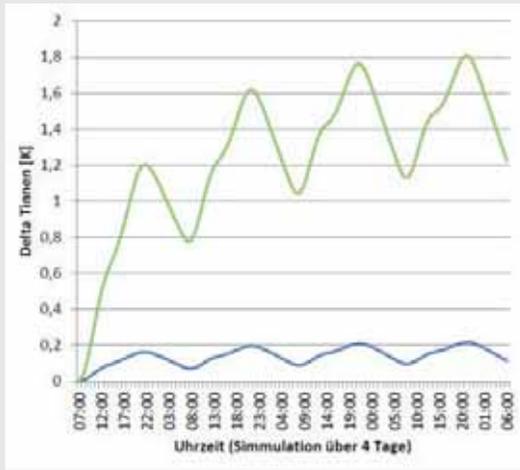
Fazit

Die Ergebnisse der Modellierungen zeigen, dass je nach Parametrisierung die Kühlwirkungen recht unterschiedlich ausfallen. Die maximale Kühlwirkung während einer viertägigen Hitzeperiode für die Variante „onlyGreen“ beträgt gerade einmal $0,35\text{ K}$ an der Südfassade. Mit einer optimierten Fassadenbegrünung (01NAS2) lassen sich Kühleffekte bis über $1,8\text{ K}$ erreichen. Die weitaus höheren Abkühlungseffekte der optimierten Fassadenbegrünung sind auf den Substrataufbau mit einer optimierten Wasserversor-

gung zurückzuführen. Damit wird eine deutlich erhöhte Evapotranspiration ermöglicht, welche für die Höhe des Kühlpotentials ausschlaggebend ist. Je länger eine Hitzewelle andauert, desto höher ist die absolute Kühlwirkung der Fassadenbegrünung bei ausreichender Wasserversorgung. Die vergleichende Betrachtung der Varianten zeigt, dass die Kühlwirkung der Fassadenbegrünung an der Südfassade am höchsten und bis in den nördlichen Gebäudeteil hinein wirksam ist. Die entscheidenden Faktoren für die Kühlwirkung sind somit:

- Substrataufbau und Wasserversorgung
- Exposition der begrünter Fassade
- Dauer und Lufttemperatur der Hitzewelle
- Innerer Gebäudeaufbau

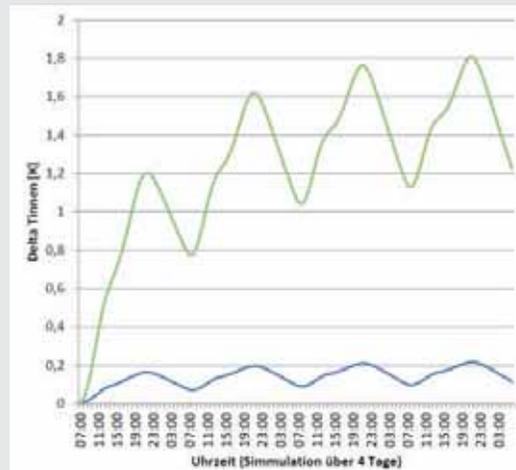
Differenz der Innenraumtemperatur bei verschiedenen Begrünungstypen für die Ostfassade (Abb. 46)



— 30 cm Hedera helix (Efeu)
 — 30 cm Funkia (Hosta) bei 15 cm Substrataufbau

Quelle: K.PLAN

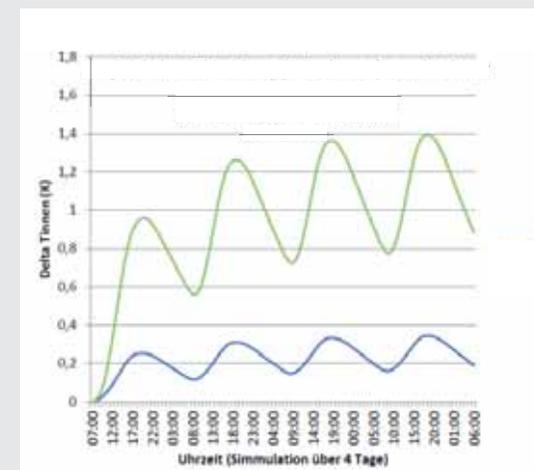
Differenz der Innenraumtemperatur bei verschiedenen Begrünungstypen für die Westfassade (Abb. 47)



— 30 cm Hedera helix (Efeu)
 — 30 cm Funkia (Hosta) bei 15 cm Substrataufbau

Quelle: K.PLAN

Differenz der Innenraumtemperatur bei verschiedenen Begrünungstypen für die Südfassade (Abb. 48)



— 30 cm Hedera helix (Efeu)
 — 30 cm Funkia (Hosta) bei 15 cm Substrataufbau

Quelle: K.PLAN

Wenn Starkregen meinen Standort überflutet (Duisburg)

Für die beispielhafte mikroskalige Analyse im Gewerbegebiet Kaßlerfeld in Duisburg wurde das Thema „Überflutung bei Stark- und Extremniederschlägen“

ausgewählt. Das Untersuchungsgebiet liegt entlang der Straße „Auf der Höhe“ und als Kooperationspartner wurde die Firma Gerber GmbH, die ihren Betrieb an dieser Straße hat, gewonnen. Das Firmengelände der Gerber GmbH wie auch weitere Betriebsgelände entlang dieser Straße waren schon mehrfach infolge

von Starkregenereignissen überflutet. Die IST-Analyse ergab die folgenden Herausforderungen:

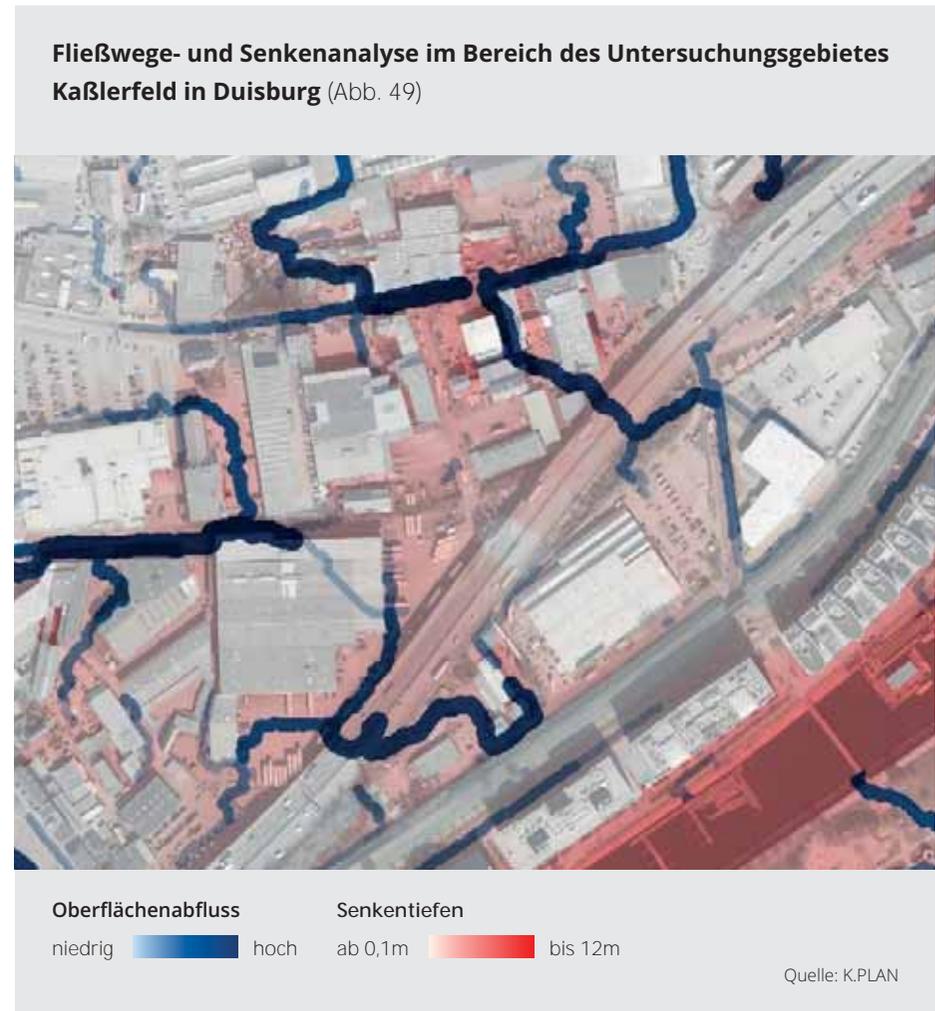
- Die Firmengelände liegen in einer Senke.
- Eine Überflutung der Firmengelände bei Starkregen erfolgt durch Wassereintritt vom Straßenraum.

- Zusätzlich kann anfallendes Wasser auf dem Firmengelände nicht abfließen durch einen Rückstau in der Kanalisation.
- Durch des Rückstau der Kanalisation drückt zusätzliches Wasser in die Firmengebäude, daher wurden Pumpen installiert (Firma Gerber)

Die Ziele der mikroskaligen Analyse sind:

- Modellierung von (kurzfristigen) Maßnahmen durch die Unternehmen auf Betriebsgelände (bspw. Wasserbarrieren und Schaffung von Versickerungsflächen / Zwischenspeicherung auf Firmengelände)
- Modellierung von (längerfristigen) Maßnahmen durch die Kommune (bspw. Schaffung von Versickerungsflächen im öffentlichen Raum, Anpassung des Kanalnetzes)

In der folgenden Abbildung (Abb. 49) sind die Ergebnisse der Fließwege- und Senkenanalyse dargestellt. Für frei abfließendes Regenwasser in städtischen Einzugsgebieten bestimmt die Regenmenge maßgeblich das Auftreten von Oberflächenabflüssen. Während der Niederschlag eines normalen Regenereignisses über die Kanalisation abgeführt wird, entstehen bei Extremniederschlagsereignissen stark wasserführende Fließwege. Das Kanalnetz ist auf verhältnismäßig häufige Regenereignisse dimensioniert. Daher ist es für ein Gebiet besonders hilfreich zu wissen, welche



Fließwege Regenwasser bei außergewöhnlichen Starkregenereignissen nimmt und wo es sich sammelt. Dazu gibt es die topografische Analyse, in der Fließwege und Senken über das gesamte Untersuchungs-

gebiet herausgearbeitet werden. Auf Basis eines digitalen und hydraulisch plausibilisierten Geländemodells wurden eine Fließwegakkumulation und Senkenberechnung für das Industrie- und Gewerbegebiet

Kaßlerfeld durchgeführt. Fließweg- und Senkenanalysen sind an kein Niederschlagsereignis gekoppelt und geben eine generelle Gefährdungsabschätzung. Die Fließwege zeigen in der Ergebnisdarstellung, welche Flächen über die jeweiligen Fließwege entwässern. Die Berechnungen basieren auf einem hochaufgelösten digitalen Geländemodell aus Laserscandaten vom Land NRW. Die Laserscandaten werden als OpenData vom Land NRW zur Verfügung gestellt. Das hochaufgelöste digitale Geländemodell hat eine Rasterweite von 25 cm. Während der Bearbeitung wird ein Modell erstellt, welches im gesamten Modellbereich kein Gegengefälle aufweist. Sämtliche Geländesenken werden dabei von der Höhenlage fiktiv angehoben, bis ein nächst niedriger (Abfluss-) Punkt entstanden ist. Die oberflächlichen Fließwege wurden auf dem ausgefüllten digitalen Geländemodell ermittelt. Für die Berechnung der Fließwege wurde eine Multi-Flow Direction (MFD) Methode angewendet. Die Ergebnisse der Fließwege- und Senkenanalyse sind für Fachpersonal gut zu interpretieren und weiterzuarbeiten. Zur Veröffentlichung eignen sich diese allerdings weniger.

Für das Untersuchungsgebiet zeigt sich, dass insbesondere in der Straße „Auf der Höhe“ mehrere Fließwege mit einem hohen Oberflächenabfluss aus verschiedenen Richtungen zusammenkommen. Der tiefste Punkt der Senke liegt etwas westlich der Firma Gerber. Abbildung 50 zeigt ein Foto dieses tiefsten Punktes nach einem Starkregen.



Abb. 50: Senkenbereich der Straße „Auf der Höhe“ bei Starkniederschlag; Quelle: Fa. Gerber



Abb. 51: Wasser auf der Straße „Auf der Höhe“ dringt unter dem Tor in den Hof ein; Quelle: Fa. Gerber

Deutlich zu erkennen sind schon erste Maßnahmen zur Anpassung an diese Überflutungsereignisse. Die Lichtschächte der Kelleretagen sind über einen ca. 50 cm hohen Sockel höhergelegt, um ein Eindringen des Regenwassers in die Gebäude zu verhindern. Allerdings kann das Regenwasser über die Hofeinfahrten auf die jeweiligen Betriebsgelände fließen und dort für Überflutungen sorgen (Abb. 51). Hier sind keine permanenten Schutzmauern möglich, da die Durchfahrt ja gewährleistet werden muss. Bei Straßen und Wegen, die keine Hauptverbindungsfunktion erfüllen, können die Fahrbahn oder die Parkstreifen als Notwasserwege und temporäre Wasserspeicher dienen. Dies ist beispielsweise durch Anordnung erhöhter Bordsteine möglich, die die Wassermengen führen, kurzzeitiges Speichervolumen schaffen und ein seitliches Abfließen verhindern. Tiefer liegende Hofeinfahrten müssen dann aber beispielsweise durch mobile Flutmauern gegen das Eindringen von Wasser geschützt werden.

In der Abbildung 53 ist ein solches Beispiel zu sehen. Entlang der Straße „Auf der Höhe“ würden die Gebäude entlang der Straße die Funktion des Damms erfüllen und die Hofeinfahrten müssten durch eine Flutmauer geschützt werden. Normalerweise ist eine Überflutung durch Starkregen innerhalb weniger Stunden zurückgegangen, so dass die Betriebsgelände dann wieder erreichbar wären. Eine nur langfristig unter Federführung der Stadt Duisburg

Fließwege und Flächenberechnungen zur Zwischenspeicherung im Bereich des Untersuchungsgebietes Kaßlerfeld in Duisburg (Abb. 52)

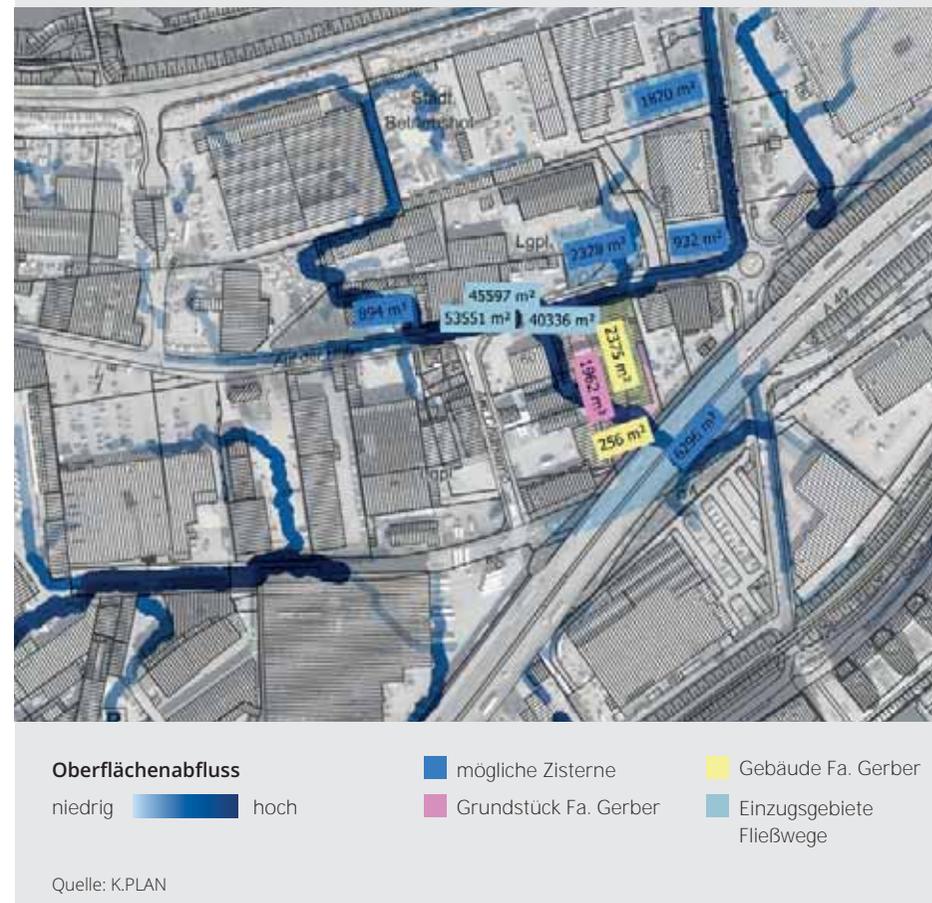




Abb. 53: mobile Flutmauer;
Quelle: Embeki / stock.adobe.com

Anfallende Regenmengen und notwendiges Speichervolumen bei verschiedenen Starkregenereignissen (Tabelle 03)

Fließwege	m ²	T30, 80 %	T100, 90 %	T extrem, 90 %	T30	1m	2m	5m
		40 mm	50 mm	90 mm	Speichervolumen			
		m ³	m ³	m ³	m ²			
West	53.551	1.714	2.410	4.338	894	37 %	74 %	185 %
					1.820			
Ost	45.597	1.459	2.052	3.693	932	248 %		
					2.328			
Gelände Fa. Gerber	1.900	61	86	154				
Dachflächen	2.500	80	113	203	450	400 %		

umzusetzende Maßnahme wäre die Schaffung von Zwischenspeicherräumen für das anfallende Wasser bei Starkregenereignissen. Retentionsbecken sind in einem dicht bebauten Gebiet in der Regel nicht umsetzbar, aber beispielsweise unterhalb von Parkplatzflächen könnten Zisternen zur Wasseraufnahme angelegt werden. Um einen ersten Überblick über anfallende Wassermengen im Straßenbereich „Auf der Höhe“ zu bekommen und diese mit den theoretisch zur Nutzung geeigneten Flächen in Beziehung zu setzen, wurden diese berechnet und in die Abbildung 52 eingefügt. In Hellblau sind die Ein-

zugsgebiete der drei in der Senke zusammenfließenden Fließwege dargestellt. Der von Süden über das Gelände der Fa. Gerber kommende Fließweg kann ignoriert werden, da er, wie bei einer Vor-Ort-Begleichung festgestellt, durch eine Mauer unterhalb der A40 zurückgehalten wird. Aus Osten kommt ein Fließweg mit einem Einzugsgebiet von 45.597 m², aus Westen fließt Regenwasser von 53.551 m² Flächen zu. Die Dachflächen der Fa. Gerber haben eine Fläche von rund 2.500 m², die Hofffläche ist rund 1.900 m² groß. Auf der anderen Seite gibt es vorwiegend als Parkplätze genutzte Flächen, deren Größen

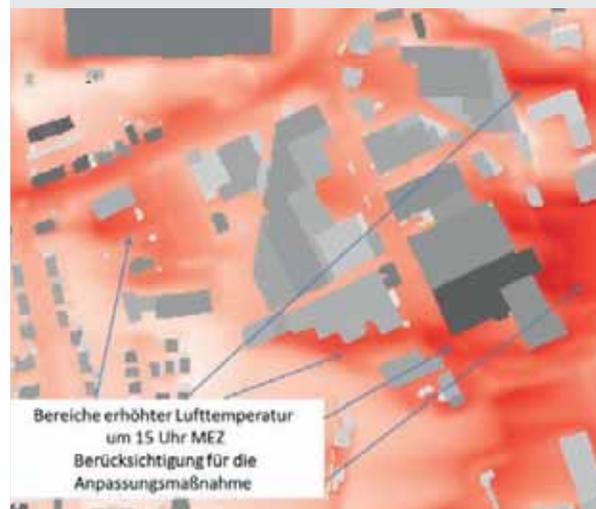
in der Abbildung 52 in dunkelblau dargestellt sind. Für verschiedene Starkregenereignisse wurden daraus die möglichen Regenmengen und das dazu passende notwendige Speichervolumen berechnet. Dazu wurde ein 30-jährliches Regenereignis mit einer Regenmenge von rund 40 l/m², ein 100-jährliches Regenereignis mit einer Regenmenge von rund 50 l/m² und ein extremes Regenereignis mit einer Regenmenge von rund 90 l/m² ausgewählt. Wenn bei einem T30 ca. 20 % und bei den T100 und Textrem Ereignissen ca. 10 % der anfallenden Regenmenge versickern und in die Kanalisation abgeführt werden kann, ergeben sich die in der Tabelle 03 blau unterlegten Wassermengen für die Fließwege, die Dach- und Betriebsgeländefläche der Fa. Gerber.

Auf der rechten Seite der Tabelle 03 ist beispielhaft für ein 100-jährliches Regenereignis ausgerechnet, wie tief eine Zisterne unter den möglichen Speicherflächen sein muss, um das anfallende Regenwasser speichern zu können. Für den westlichen Fließweg steht nur die 894 m² große westliche Fläche zur Verfügung (grün unterlegt in Tab. 03). Ein 1 m tiefer Speicher auf dieser gesamten Fläche könnte nur rund 37 % der anfallenden Regenmenge speichern. Erst eine Zisterne von 3 m Tiefe ist groß genug für die gesamte Niederschlagsmenge, die über den östlichen Fließweg herantransportiert wird. Der östliche Fließweg verfügt über mehr Speicherflächen (blau unterlegt in Tab. 03). Würden alle mit einem

1 m tiefen Speicher belegt, könnte das 2,5fache der anfallenden Regenmenge aufgenommen werden und auch ein Extremereignis würde komplett aufgefangen. Für die Fa. Gerber selbst könnte das Niederschlagswasser, das auf den Dachflächen auftritt, bei einem T100-Ereignis auf einer Dachspeicherfläche

von rund 450 m² mit einer Wasserhöhe von 25 cm zwischengespeichert werden (orange unterlegt in Tab. 03) und würde die Kanalisation an dieser Stelle entlasten. Dies ist insbesondere unter dem Aspekt des Rückstaus aus der Kanalisation im Keller des Betriebes sinnvoll.

Relative Darstellung der Lufttemperaturen im Untersuchungsgebiet Mausegatt im Gewerbegebiet Wattenscheid-Ost (Abb. 54)



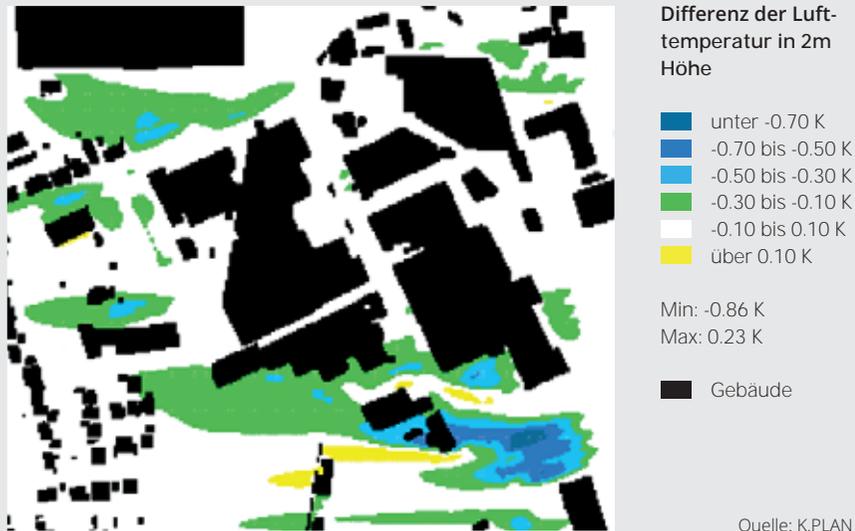
Quelle: K.PLAN

Verortung der Anpassungsmaßnahmen Vegetation im Untersuchungsgebiet Mausegatt im Gewerbegebiet Wattenscheid-Ost (Abb. 55)



Quelle: K.PLAN

**Differenzen der Lufttemperaturen für die Anpassungsmaßnahmen
„Vegetation“ im Untersuchungsgebiet Mausegatt im Gewerbegebiet
Wattenscheid-Ost (Abb. 56)**



Fazit

Um kurzfristig Schäden durch auftretende Überflutungen infolge von Starkregenereignissen zu minimieren, ist es sinnvoll, von Seiten der jeweiligen Betriebe entlang der Straße „Auf der Höhe“ in Eigeninitiative Maßnahmen umzusetzen. Dies sind einerseits die Schaffung von Speichermöglichkeiten auf dem Firmengelände selbst, als Zwischenspeicher auf dem Dach und / oder auf den Betriebsflächen. Damit kann das vor Ort an-

fallende Niederschlagswasser zurückgehalten werden, um direkte Schäden und Rückstaus aus dem überlasteten Kanal zu verringern. Vom Straßenraum zufließendes Regenwasser macht aber den Großteil der Überflutungsschäden aus. Hier hilft nur eine temporäre Abschottung der Zufahrten, beispielsweise durch mobile Flutmauern. Große Effekte auf den Regenrückhalt hätte die Schaffung von großflächigen Zwischenspeicherungen auf oder unter Flächen entlang der ausgewiesenen Fließwege. Diese Maßnahmen sind aber nur

in Kooperation mit mehreren Unternehmen und der Stadt Duisburg vorstellbar. Erschwerend kann es sein, dass die Flächen, die zur Zwischenspeicherung in Frage kommen, möglicherweise im Besitz von Unternehmen sind, die weniger betroffen sein werden als die am Tiefpunkt der Senke gelegenen Firmen.

Wie gemeinsame Anpassungsmaßnahmen mehr bewirken (Bochum)

Bochum, Großflächige Maßnahmen

Für die beispielhafte mikroskalige Analyse im Gewerbegebiet Wattenscheid Ost und HansasträÙe in Bochum wurde das Thema „Hitze“ im Umfeld von mehreren Betrieben entlang des „Mausegatt“ ausgewählt. In der Abbildung 54 ist der Bereich des Untersuchungsgebietes mit einer Darstellung von lokal erhöhten Lufttemperaturen dargestellt. Insbesondere die stark aufgeheizten in dunkelrot markierten Flächen wurden für verschiedene Anpassungsmaßnahmen vorgesehen.

Um einen Vergleich zwischen Ist-Zustand und Umsetzungen von Klimaanpassungsmaßnahmen zu ermöglichen, ist der Einsatz eines mikroskaligen Klimamodells erforderlich. Hierzu wird das Modell ENVI-met eingesetzt (ENVI-met Website: www.envi-met.com,

ENVI-met GmbH). ENVI-met ist ein dreidimensionales prognostisches numerisches Strömungs-Energiebilanzmodell. Die physikalischen Grundlagen basieren auf den Gesetzen der Strömungsmechanik, der Thermodynamik und der Atmosphärenphysik. Das Modell dient zur Simulation der Wind-, Temperatur- und Feuchteverteilung in städtischen Strukturen. Es werden Parameter wie Gebäudeoberflächen, Bodenversiegelungsgrad, Bodeneigenschaften, Vegetation und

Sonneneinstrahlung einbezogen. Durch die Wechselwirkungen von Sonne und Schatten sowie die unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften der Materialien (spezifische Wärme, Reflexionseigenschaften, ...) entwickeln sich im Laufe eines simulierten Tages unterschiedliche Oberflächentemperaturen, die ihrerseits in Abhängigkeit vom Windfeld ihre Wärme mehr oder minder stark an die Luft abgeben. ENVI-met versetzt Planer in die Lage, die klimatischen Auswir-

kungen von Maßnahmen zu simulieren und mit dem Istzustand zu vergleichen, ohne dass die Planungsmaßnahmen in der Realität existieren müssen. Es gilt zu untersuchen, wie weit diese Veränderungen des Kleinklimas in die Umgebung hineinwirken. Hauptaugenmerk muss hierbei auf die möglichen Veränderungen der Aufheizungen der bebauten Flächen gelegt werden. Simuliert wird jeweils ein sommerlicher Strahlungstag über 24 Stunden, um eine maximale Erwärmung im Modellgebiet zu erreichen. Neben der Gebäude-, Vegetations- und Oberflächenstruktur des Modellgebietes können meteorologische Parameter für eine mikroskalige Modellierung des Ist-Zustandes sowie des Anpassungsszenarios festgelegt werden. Diese Werte entsprechen den typischen Ausgangsbedingungen einer sommerlichen Strahlungswetterlage mit Hitzebelastung. Sommerliche Strahlungstage sind in der Regel Schwachwindwetterlagen. Bei einer solchen Wetterlage treten lokalklimatische Effekte am deutlichsten hervor und die Auswirkungen der geplanten Bebauung auf das Kleinklima können gezeigt werden. Im Folgenden werden die durchgeführten Modellrechnungen und deren Ergebnisse dargestellt. Zunächst wurden als Überblick zwei Anpassungsszenarien erstellt, berechnet und mit der IST-Situation verglichen:

- Einbringen von Vegetation in Form von Bäumen und Grasflächen (siehe Abb. 55)
- Veränderung Oberflächenbeläge (Abb. 56, 57).

Verortung der Anpassungsmaßnahmen Oberflächen im Untersuchungsgebiet Mausegatt im Gewerbegebiet Wattenscheid-Ost (Abb. 57)



Quelle: K.PLAN

Differenzen der Lufttemperaturen für die Anpassungsmaßnahmen „Oberflächen“ im Untersuchungsgebiet Wattenscheid-Ost (Abb. 58)



Differenz der Lufttemperatur in 2m Höhe

- unter -1.75 K
- 1.75 bis -1.50 K
- 1.50 bis -1.25 K
- 1.25 bis -1.00 K
- 1.00 bis -0.75 K
- 0.75 bis -0.50 K
- 0.50 bis -0.25 K
- 0.25 bis 0.00 K
- 0.00 bis 0.25 K
- über 0.25 K

Min: -2.02 K
Max: 0.38 K

■ Gebäude

Quelle: K.PLAN

Verortung der Anpassungsmaßnahmen des Gesamtszenarios im Untersuchungsgebiet Wattenscheid-Ost (Abb. 59)



- Dachbegrünung
- Bäume
- Fassadenbegrünung
- Betonpflaster

Quelle: K.PLAN

Durch das Einbringen von zusätzlichen 15 m hohen Bäumen kann die Lufttemperatur lokal begrenzt um 0,5 bis zu 1 Kelvin abgesenkt werden. Ursache ist in erster Linie der Schattenwurf. Aber auch die Transpiration der Bäume trägt zur Abkühlung der Luft bei. Um die Durchlüftung im Straßenraum und auf den Parkplatzzflächen durch Baumanpflanzungen nicht zu verringern, wurden Bäume mit hoher Krone und blattlosem Stamm ausgewählt.

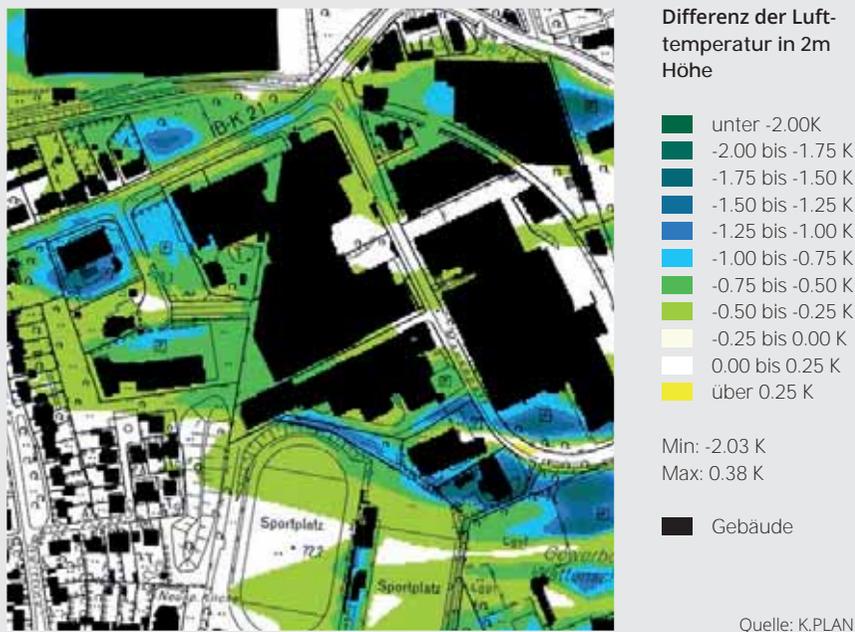
Als ein weiteres Anpassungsszenario wurden die ursprünglich schwarzen Asphaltflächen durch weiße Betonpflaster ersetzt (Abb. 57).

In einer weiteren Modellierung wurde ein Gesamtszenario mit unterschiedlichen Anpassungsmaßnahmen berechnet. Die Maßnahmen sind in der Abbildung 59 dargestellt und bestehen aus den folgenden Einzelkomponenten:

- Einbringen von Vegetation in Form von Bäumen und Grasflächen
- Ersatz von Asphaltflächen durch helle Betonpflaster
- Begrünung von geeigneten Dächern
- Begrünung von geeigneten Fassaden

Die in der Abbildung 60 dargestellten Differenzen zeigen Temperaturabsenkungen von bis zu 2 Kelvin. Das Maßnahmenbündel ist also wirkungsvoller als die

Differenzen der Lufttemperaturen für das Gesamtszenario mit verschiedenen Anpassungsmaßnahmen im Untersuchungsgebiet Mausegatt im Gewerbegebiet Wattenscheid-Ost (Abb. 60)



Umsetzung von Einzelmaßnahmen. Trotzdem ist es interessant zu untersuchen, welche Maßnahmen den größten Anteil an der Hitzereduktion haben. In der Abbildung 61 ist die Gesamtwirkung des Maßnahmenbündels zusammengefasst dargestellt.

Fazit

Eine Umsetzung von aufeinander abgestimmten Maßnahmenbündeln ist für die Reduktion der Lufttemperaturen im Umfeld von Gewerbebetrieben wirkungsvoller als die Umsetzung von Einzelmaßnahmen. Dabei sind Aspekte wie der Erhalt der Belüftung bei der Auswahl beispielsweise von Baumstandorten zu berücksichtigen. Maßnahmen am Gebäude selbst,

Durchschnittliche Kühlleistung des Maßnahmenbündels im Untersuchungsgebiet Mausegatt im Gewerbegebiet Wattenscheid-Ost (Abb. 61)



Modellierte Anpassungsmaßnahmen in Szenario ALL (Tabelle 04)

Betonpflaster	19.201 m ²
15m Bäume	142 Stück
Gras	475 m ² m ²
Dachbegrünung	58.930 m ² m ²
Fassadenbegrünung	10.308 m ² m ²

wie Dach- und Fassadenbegrünungen haben nur sehr geringe Auswirkungen auf das Gebäudeumfeld. Wenn Dachbegrünungen jedoch fast flächendeckend umgesetzt wird, sind die Abkühlungseffekte auch in der weiteren Umgebung nachweisbar. Den größten Effekt auf die Lufttemperaturen am Tag haben die Veränderungen der Oberflächenbeläge und der Oberflächenfarben. Hier kann durch eine geringere Wärmeaufnahme die Aufheizung der Luft wirkungsvoll reduziert werden. Bei der Betrachtung von einzelnen Flurstücken kann der Temperaturrückgang bei bis zu 2 Kelvin liegen.



KLIMA.PROFIT: Wie Anpassung „Mehrwert“ schafft

Einführung Kosten-Nutzen-Analyse von Anpassungsmaßnahmen

Aus betriebswirtschaftlicher Sicht stellt sich bei jeder unternehmerischen Investitionsentscheidung die Frage nach der langfristigen Rentabilität. Um diese Beurteilung treffen zu können, müssen eine ganze Reihe von Faktoren berücksichtigt werden, die sowohl die gegenwärtigen Investitionskosten als auch künftige Unterhalts- sowie Rückbaukosten umfassen. Auch die durch die Investition zu erwartenden künftigen finanziellen Rückflüsse müssen in die Be-

trachtung einbezogen werden. Um diese künftigen Zahlungsströme aus der heutigen Perspektive sinnvoll vergleichen zu können, ist es ökonomisch notwendig, sowohl die künftige Preisentwicklung als auch die Entwicklung der Kapitalmarktzinsen im Rahmen einer herkömmlichen Abzinsung (Diskontierung) mit einzubeziehen. Während die Berücksichtigung künftig steigender Preise aus heutiger Sicht intuitiv verständlich ist, da künftige Einnahmen über künftige Preise zustande kommen, erschließt sich die Notwendigkeit der Diskontierung künftiger Summen über den Kapitalmarktzins nicht unmittelbar. Dahinter steht die Idee, dass eine Summe, die

man in z. B. zehn Jahren erhält, bei einem gegebenen Zins aus heutiger Sicht geringer ist, denn diese geringere Summe ließe sich heute zum gegebenen Zins auf dem Kapitalmarkt anlegen. Durch die Verzinsung würde sich diese Anlage dann über die kommenden zehn Jahre mehren und am Ende das Niveau erreichen, von dem aus diskontiert wurde. Ziel dieses Vorgehens ist es, die heutige Investitionssumme mit den Barwerten künftiger Kosten- und Ertragsströme zu vergleichen. Ist der resultierende sogenannte Nettokapitalwert als Differenz zwischen Kosten und Ertrag positiv, erscheint die Investition aus Sicht des Unternehmens rentabel¹⁵.

Wie Anpassung "Mehrwert" schafft. Analyse der Kosten und Nutzen.

Quelle: Wasan / stock.adobe.com



Abb. 63: Bodengebundene Fassadenbegrünung
Quelle: Bundesverband GebäudeGrün e.V.

Überträgt man dieses Modell auf den öffentlichen Sektor, in dem die Rentabilität von Investitionen nicht minder relevant ist, spricht man üblicherweise von Kosten-Nutzen-Analysen¹⁶. Ein Beispiel dafür ist etwa die Berechnung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses von

Deichbauten¹⁷. Generell können Kosten-Nutzen-Analysen immer dann hilfreich sein, wenn verschiedene Investitionsoptionen gegeneinander abgewogen werden sollen.

Für die Kosten-Nutzen-Analysen unternehmerischer Klimaanpassungsmaßnahmen im Rahmen des Projekts „Klima Profit“ mussten vorab Annahmen getroffen werden. Um die Preissteigerung abzubilden, wurde von einer jährlichen Inflation von zwei Prozent ausgegangen, dem Zielwert der Europäischen Zentralbank (EZB). Für die Diskontierung wurden jeweils zwei Szenarien gerechnet. Ein Hochzinsszenario mit einem jahresdurchschnittlichen Zins von fünf Prozent über die gesamte Projektlaufzeit und ein Niedrigzinsszenario mit einem jahresdurchschnittlichen Zins von null Prozent. Diese Grenzwerte wurden aus der Entwicklung der Renditen zehnjähriger Staatsanleihen der Bundesrepublik seit dem Jahr 2000 abgeleitet. Für die marktgenaue Bewertung anfänglicher Investitionskosten aber auch künftiger Unterhalts- und Rückbaukosten sowie realistischer Maßnahmenlaufzeiten wurden jeweils Interviews mit Fachverbänden und -betrieben geführt.

Die größte Schwierigkeit bei der Durchführung der Kosten-Nutzen-Analysen ergab sich in der monetären Bewertung künftiger Nutzen. Anders als bei herkömmlichen produktiven Investitionen führen bauliche Änderungen zur Anpassung an den Klimawandel eher nicht zu direkt ersichtlichen finanziellen Rückflüssen, da sie – anders als eine zusätzliche Maschine – die Produktionskapazität nicht direkt beeinflussen. Die finanziellen Rückflüsse sind vielmehr indirekt und bestehen z. B. in einer Kühlung der Innenraumtem-

„Bei jeder unternehmerischen Investitionsentscheidung stellt sich die Frage nach der langfristigen Rentabilität.“

peratur oder in eingesparten Niederschlagsgebühren. Wesentlich für die Kosten-Nutzen-Analysen im Rahmen von „Klima-Profit“ waren zudem potenzielle Schäden, die durch die Anpassungsmaßnahme verhindert werden sollen. Dabei handelt es sich um Schäden, die bei Extremwetterereignissen in der Vergangenheit bereits angefallen sind oder die akut drohen und für die Unternehmensvertreter daher monetäre Bewertungen vornehmen konnten. Da die Häufigkeit dieser Schäden von der Häufigkeit künftiger Extremwetterereignisse abhängt, wurden diese für das Projektgebiet Nordrhein-Westfalen entweder aus der bestehenden Literatur abgeleitet oder mit Hilfe von Daten des Deutschen Wetterdienstes prognostiziert.

All jene Nutzenarten der Anpassungsmaßnahme, die sich nicht unmittelbar in monetäre Werte übersetzen ließen, blieben bei der Kosten-Nutzen-Analyse zunächst außen vor, wurden jedoch qualitativ diskutiert.

Ergebnisse der Kosten-Nutzen-Analysen

Im Folgenden werden drei Beispiele für Kosten-Nutzen-Analysen von Klimaanpassungsmaßnahmen auf Unternehmensebene vorgestellt, die im Rahmen des Projekts Klimaprofit durchgeführt worden sind. Das unausgesprochene Alternativszenario ist jeweils der

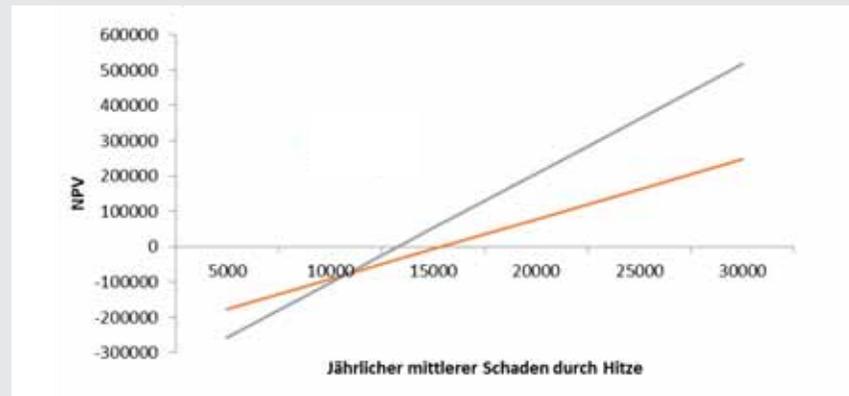
Verzicht auf die Maßnahme. Potenzielle Fördermittel wurden nicht in die Kostenschätzungen mit einbezogen. Auch potenzielle Fördermittel wurden nicht in die Kostenschätzungen mit einbezogen.

Beispiel 1: Fassadenbegrünung Dachaufbau, Dortmund

Im Rahmen des Projekts „Klima Profit“ wurde für ein Unternehmen des Gewerbegebiets „Dorstfeld-West“ in Dortmund die Begrünung eines Dachaufbaus mit einer Kosten-Nutzen-Analyse bewertet. Hintergrund ist eine starke Hitzebetroffenheit. Aktuell führen mehrtägige Hitzeperioden zu einem starken Tempera-

Nettokapitalwert einer Fassadenbegrünung für zwei Zinsszenarien (r) am Beispiel der Firma Lensing (Abb. 64)

Inflation: 2%; Lebensdauer: 25 Jahre

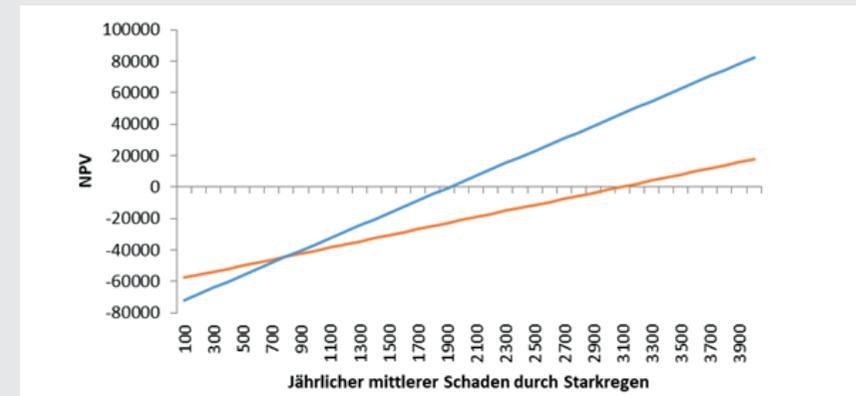


— r=0.05 — r=0

Quelle: Difu

Nettokapitalwert für den Einbau eines Klappschotts und Rückstausicherung für zwei Zinsszenarien (r) am Beispiel der Firma Gerber (Abb. 65)

Inflation: 2%; Lebensdauer: 30 Jahre



— r=0.05 — r=0

Quelle: Difu

turanstieg in dem Dachaufbau. Da sich darin wesentliche Teile der Produktionsanlage befinden, droht bei jeder mehrtägigen Hitzeperiode der Produktionsausfall. Die Annahme, dass eine Fassadenbegrünung zu einer wirksamen Reduktion der Innenraumtemperatur in dem Dachaufbau führt, wurde auf Basis von mikroklimatischen Modellierungen des Büros „K.PLAN“ getroffen. Unter Berücksichtigung der spezifischen Gegebenheiten vor Ort (Gebäudestatik, Material der

Außenwand) wurde nach Gesprächen mit Fachfirmen und -verbänden eine von Rankhilfen gestützte Begrünung mit Immerwährendem Geißblatt geplant. Zur Bestimmung eines Nettokapitalwerts wurde der Summe aus aktuellen Installationskosten sowie diskontierten künftigen Pflege- und Rückbaukosten die Summe aus künftigen entgangenen Schäden (ebenfalls diskontiert) durch verhinderte Produktionsausfälle gegenübergestellt. Als Maßnahmenlaufzeit wur-

den 25 Jahre angesetzt. Unter der Annahme einer wirksamen Verhinderung der Produktionsausfälle und relativ hoher potenzieller Schäden durch einen Produktionsausfall zeigte sich, dass die Dachbegrünung in jedem gerechneten Zinsszenario wirtschaftlich rentabel ist. Lediglich diskutiert, aber nicht in die Berechnung mit einbezogen wurden dabei eher qualitative Nutzen wie eine potenzielle Produktivitätssteigerung der Mitarbeiter in dem dann kühleren Gebäu-

de oder ein Zugewinn an biologischer Vielfalt durch die Begrünung.

Um der möglichen Kritik zu begegnen, dass nicht jede Hitzeperiode zwangsläufig zu einem Produktionsausfall führen muss und dass nicht jeder Produktionsausfall durch die Begrünung verhindert werden kann, wurde ein jahresdurchschnittlicher entgangener Schaden berechnet, der nötig wäre, um die Fassadenbegrünung gerade noch rentabel zu machen (Nettokapitalwert von 0). Das Ergebnis ist in Abbildung 64 zu sehen. Bei dieser Betrachtung zeigt sich, dass die Fassadenbegrünung selbst dann noch wirtschaftlich rentabel wäre, wenn nur ca. jede siebte Hitzeperiode

zu einem Produktionsausfall führte und dieser durch die Kühlungswirkung der Fassadenbegrünung verhindert werden könnte.

Einbau eines Klappschotts, Duisburg

Im Gewerbegebiet „Kaßlerfeld“ in Duisburg wurde eine potenzielle Klimaanpassungsmaßnahme für ein Unternehmen mit Hilfe einer Kosten-Nutzen-Analyse bewertet, die dem Klimarisiko Starkregen zuzuordnen ist. Die spezifische Situation vor Ort führt dazu, dass sich bei Starkregenereignissen Wasser auf der Durchgangsstraße vor dem Betrieb sammelt, das nicht mehr von der städtischen Kanalisation abgeleitet werden

kann und durch die Mauerausparung für die Einfahrt auf das Betriebsgelände fließt. Dort führt es immer wieder zu starker Verschlammung, was im Anschluss eine aufwändige Reinigung nach sich zieht. Nach Gesprächen mit dem Unternehmen und mit Fachfirmen wurde als Anpassungsmaßnahme die Anbringung eines Klappschotts sowie Rückstausicherungen für die Kanalanschlüsse auf dem Betriebsgelände geplant. Als Projektlaufzeit wurden 30 Jahre angenommen. Wie schon im vorherigen Beispiel wurde erneut der jahresdurchschnittliche Schaden berechnet, der durch die Maßnahme verhindert werden müsste, um die Investition aus ökonomischer Sicht rentabel zu machen. Im Ergebnis (siehe Abbildung 65) zeigt sich,

„Kosten-Nutzen-Analysen sind eine wichtige Informationsquelle zur Bewertung der Rentabilität einer Klimaanpassungsinvestition.“

dass dieser – je nach Zinsszenario – zwischen ca. 1.900 Euro und 3.200 Euro liegt. Dieser Korridor kommt zunächst ohne Annahmen über die künftige Häufigkeit von Starkregenereignissen aus und ermöglicht es dem Unternehmen, auf Basis vergangener jahresdurchschnittlicher Schäden die Rentabilität der Maßnahme zu bewerten.

Einbau einer Rigole, Dortmund

Für ein Unternehmen aus Dortmund „Dorstfeld-West“ wurde die Rentabilität einer dezentralen Regenwasserentsorgung analysiert. Im konkreten Fall ging es um die Entwässerung einer leicht geneigten Flachdachfläche von ca. 2.400 Quadratmetern. Mit Hilfe von Berechnungen auf Basis des geltenden Rechtsrahmens DWA-A 138 sowie zweier Experteninterviews mit Ingenieurbüros sowie einem Hersteller von Entwässerungssystemen wurde eine Rigole mit einem Gesamtvolumen von 125 Kubikmetern sowie einem effektiven Volumen (ohne Füllmaterial) von 112 Kubikmetern geplant. Dafür mussten mehrere Annahmen getroffen werden. Unter anderem wurde davon ausgegangen, dass sich im Boden keine Altlasten befinden, die die Installation der Rigole verhindern, dass die Bodenbeschaffung eine bestimmte, konservativ angenommene Abflussgeschwindigkeit des gesammelten Regenwassers zulässt und dass der Grundwasserspiegel mit der ca. 3 Meter tiefen Rigole kompatibel ist. In der geplanten Größe wäre



Abb. 66: Anschluss einer Rigole zur Regenwasserversickerung.
Quelle: Kara / stock.adobe.com

die Rigole dazu in der Lage, die Wassermengen von sowohl 100-jährliches Starkregen mit einer Dauer von 30 Minuten als auch 5-jährliches mit einer Dauer von 48 Stunden zu fassen. Der zu erwartende Nutzen hängt in diesem Fall nicht von einem verhinderten Schaden ab, sondern war relativ einfach über eingesparte Regenwassergebühren der Stadt Dortmund

durch die dezentrale Entwässerung zu errechnen. Unter der Annahme, dass die Rigole aufgrund der Bodenbeschaffenheit umsetzbar ist, zeigt der Nettokapitalwert als verlässlicher Richtwert, dass die Rigole nur im Niedrigzins-, nicht jedoch im Hochzinszenario rentabel ist.

Kritische Diskussion von Kosten-Nutzen-Analysen von Einzelunternehmerischen Maßnahmen zur Klimaanpassung

In der Zusammenschau lässt sich feststellen, dass Kosten-Nutzen-Analysen für Unternehmen eine wichtige Informationsquelle sein können, um die Rentabilität einer Klimaanpassungsinvestition zu bewerten. Gleichzeitig wurden im Laufe des Projekts KLIMA.PROFIT jedoch auch einige Limitationen des Werkzeuges deutlich. Zunächst hängt die Validität der Ergebnisse von verschiedenen Kriterien ab:

- **Verlässliche Kostendaten:** Aufgrund der oft individuellen Situation einzelner Unternehmen sind diese häufig nur über konkrete Kostenvoranschläge zu beschaffen. Liegen diese zum Zeitpunkt der Kosten-Nutzen-Analyse nicht vor, ist es zwar möglich auf Durchschnittskosten aus der Literatur zurückzugreifen. Diese sind jedoch zwangsläufig unpräzise und haben ggf. nur eine eingeschränkte Aussagekraft für das Einzelunternehmen.
- **Korrekte Annahmen über die Durchführbarkeit:** Für die im Projekt KLIMA.PROFIT durchgeführten Analysen musste angenommen werden, dass die betrachteten Maßnahmen grundsätzlich technisch umsetzbar sind. Das betrifft z. B. Fragen der

Gebäudestatik oder der Bodenbeschaffenheit. Letztlich lassen sich solche Annahmen nur über entsprechende Gutachten validieren, die zum Zeitpunkt der Kosten-Nutzen-Analyse unter Umständen noch nicht vorliegen.

- **Verlässliche Nutzendaten:** Gerade im Bereich von Klimaanpassungsmaßnahmen lässt sich der künftige Nutzen einzelner Maßnahmen nicht immer unmittelbar ermitteln. Um etwa entgangene Schäden über die gesamte Projektlaufzeit vorherzusagen, sind zutreffende Daten über die klimatische Entwicklung in der Region sowie zutreffende Modellierungen der tatsächlichen Wirkung der Maßnahme notwendig. Beides erfordert relativ aufwendige mikroklimatische Analysen. Darüber hinaus müssen im Unternehmen Daten über potenziell zu verhindernde Schäden vorliegen.

Insgesamt hat sich gezeigt, dass die Durchführung einer validen Kosten-Nutzen-Analyse von Einzelunternehmerischen Klimaanpassungsmaßnahmen einen erheblichen Analyseaufwand erfordert, der vermutlich die Kapazitäten gerade kleinerer Unternehmen häufig übersteigt. Da die Häufigkeit und Auswirkung künftiger Extremwetterereignisse stark von regional- und lokalgeografischen Spezifika abhängt, sind auch standardisierte Berechnungstools in ihrer Aussagekraft limitiert. Hinzu kommt, dass eine ökonomische Kosten-Nutzen-Analyse immer ein Blick in die Zukunft ist, der hinsichtlich Zins-, Preis- und Klimaentwicklung

zwangsläufig mit Unsicherheiten behaftet ist. Und zu guter Letzt ist die Monetarisierung von schwer in Geldeinheiten zu fassenden Nutzen wie etwa dem Hinzugewinn von Ökosystemdienstleistungen oder der Steigerung der Aufenthaltsqualität von Mitarbeitern ein bis dato ungelöstes Problem. Solcher Nutzen kann im besten Fall subjektiv abgewogen werden. Hier kämen Multikriterienanalysen in Frage, die jedoch für Einzelunternehmerische Entscheidungen gerade bei kleinen und mittleren Unternehmen zu aufwendig erscheinen.

Im Fazit heißt das, dass die rein monetäre Kosten-Nutzen-Analyse zwar ein potenziell hilfreiches Werkzeug ist, das im Bereich der Klimaanpassung selbst auf Einzelunternehmerischer Ebene aber schnell an seine Grenzen stößt. Insofern ist weiterer Forschungsbedarf geboten.



Leitfaden zur Klimaanpassung von Bestandsgewerbegebieten

Die Anpassung von Bestandsgewerbegebieten an die Folgen des Klimawandels ist eine Aufgabe von Unternehmen und Kommune gleichermaßen. Dabei geht es einerseits darum bereits eingetretene Folgen, wie Überflutungen nach Starkregenereignissen, und damit verbundenen Schäden abzumildern. Andererseits geht es darum das Schadenspotenzial mit Blick auf prognostizierte Klimawandelfolgen zu reduzieren. Die Maßnahmen können dabei von kleinräumigen und kurzfristig umzusetzenden Entsiegelungen bis hin Schaffung von dezentralen Schaffung von Versickerungsflächen mit Aufenthaltsqualität reichen (siehe Klimaanpassungsmaßnahmen in den Projektgebieten, S. 45 ff.). Dabei gilt gleichermaßen für Kommunen und Unternehmen: Klimaanpassung ist ein kontinuierlicher Prozess (vgl. Abb. 68).

Die Schritte sind dabei nicht zwingend nacheinander abzuarbeiten, sondern sinnvoll miteinander zu ver-

zählen. Für Kommunen existieren von Seiten des Bundes und der Länder Förderprogramme zur Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen sowie zur Erarbeitung von Klimaanpassungskonzepten. Die Erarbeitung von gesamtstädtischen bzw. teilräumlichen Konzepten werden vom Bund durch das Förderprogramm „Förderung von Maßnahmen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels“ finanziert.¹⁸ Ein nachhaltiges kommunales Anpassungsmanagement im Sinne des Förderprogramms umfasst dabei die o.g. Arbeitsschritte¹⁹. Eine gute Orientierung für Kommunen bietet auch der Leitfaden „Klimalotse“ des Umweltbundesamtes.²⁰ Für Kommunen bietet das Zentrum Klimaanpassung ein umfangreiches Informationsangebot zum Thema.²¹ Der Wissenschaftsladen Bonn bietet darüber hinaus im Rahmen des Projektes „Gewerbegebiete im Wandel“ zahlreiche Publikationen und Praxisbeispiele für Kommunen.²² Hilfreich ist

auch der Kontakt zu anderen Kommunen, die im Bereich der Klimaanpassung aktiv sind.

Im Folgenden werden die Schritte zur Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen aus der Perspektive von Unternehmen ausführlich dargestellt:

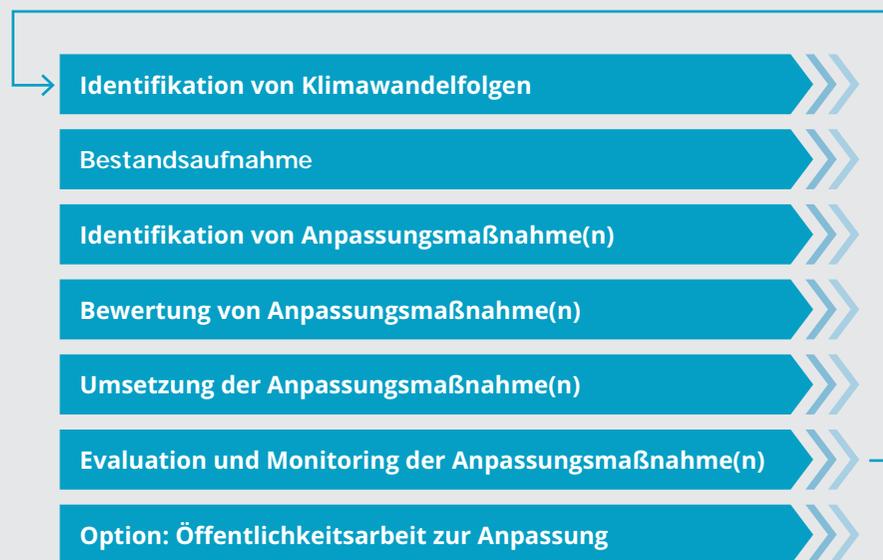
Identifikation von Klimawandelfolgen

Bei der Identifikation von Klimawandelfolgen geht es insbesondere darum zu analysieren, wie sich die klimatischen Bedingungen am Standort in naher und ferner Zukunft verändern werden. Damit soll vor allem das künftige Schadenspotenzial erfasst werden. Für Unternehmen bieten dabei bereits vorhandene kommunale Klimaanpassungs- oder Klimaschutzkonzepte eine gute Grundlage, um sich über die sich verändernde Situation zu informieren. Hilfreich ist dabei

Abbildung 67: Begrünungsmaßnahmen im Gewerbegebiet

Quelle: HardyS / Pixabay.com

Klimaanpassung als kontinuierlicher Prozess (Abb. 68)



Quelle: eigene Darstellung

auch die Kontaktaufnahme mit den kommunalen Ansprechpersonen für das Thema Klimaschutz / Klimaanpassung.

Bestandsaufnahme

Im Rahmen einer Bestandsaufnahme wird die aktuelle Situation vor Ort möglichst detailliert analysiert. Für Unternehmen geht es darum zu analysieren, wie der Stand-

ort aktuell von wetterbedingten Einflüssen betroffen ist. Der im Rahmen des Projektes Klima.Profit entwickelte Unternehmerfragebogen²³ ist für eine erste Bestandsaufnahme dabei ebenso hilfreich, wie der im Rahmen des Projektes Klimaix entwickelte Anfälligkeitscheck.²⁴ Eine Checkliste für die Gefährdungseinschätzung bietet auch die Publikation des BBSR. Folgende Fragen können für die Bestandsaufnahme sowohl für Unternehmen als auch Kommunen hilfreich sein:

- Welche Bereiche sind im speziellen betroffen (bspw. Überflutungen von Kellerräumen und Parkplatzflächen nach Starkregenereignissen oder Hitzebelastung von nach Süden ausgerichteten Innenräumen)?
- Wie ist die Topographie des Geländes? Gibt es bspw. Senkenbereiche?
- Welche Arbeitsbereiche und Personen sind besonders betroffen, bspw. Produktionshallen, Büroräume?
- Welche Schäden sind bereits wetterbedingt eingetreten? (bspw. Schäden durch Überflutungen, reduzierte Arbeitsproduktivität oder Maschinenausfall durch Überhitzung, weniger Kundenverkehr)
- Gibt es ähnliche Betroffenheiten bei benachbarten Unternehmen?

Eine systematische Befragung der Mitarbeitenden und / oder KundInnen kann hierbei Aufschluss über die Betroffenheiten geben, insb. im Hinblick auf die individuelle Wahrnehmung von Extremereignissen, wie Hitzeperioden.

Gibt es im Gewerbegebiet ein Unternehmensnetzwerk? Dann sollte geprüft werden, ob das Thema Klimaanpassung hier ebenfalls verankert werden kann. Oder gibt es gar ein Gebietsmanagement für das Gewerbegebiet? Dann könnten Aktivitäten zum Thema Klimaanpassung von hier zentral koordiniert werden. Im Rahmen einer Bestandsaufnahme könnten hier die Betroffenheiten von Klimawandelfolgen der Unternehmen abgefragt und systematisch erfasst werden. Damit lassen sich gleich Ansatzpunkte für gemeinsa-

me Aktivitäten und Investitionen zur Klimaanpassung identifizieren. Darüber hinaus bietet eine solche flächendeckende Bestandsaufnahme die Möglichkeit, sich politisch Gehör zu verschaffen. Eine gute Möglichkeit die Betroffenheiten zu erfassen bieten bspw. GIS-Tools, wie es im Rahmen des Projektes Klima.Profit entwickelt wurde (vgl. Abb. 69).

Identifikation von Anpassungsmaßnahmen

Für die Identifizierung und Bewertung von Anpassungsmaßnahmen kann die Unterstützung durch ein Planungs- oder Ingenieurbüro sinnvoll sein. Diese Planungstätigkeiten werden jedoch meist nicht durch Fördermittel abgedeckt, so dass die Finanzierung hierfür meist aus eigenen Mitteln erfolgen muss.

Zunächst sollten vor dem Hintergrund der bereits eingetretenen bzw. zu erwartenden Klimawandelfolgen Entwicklungsziele für den Unternehmensstandort bzw. das Gewerbegebiet entwickelt werden. Dies ist sinnvoll, um Anpassungsmaßnahmen wirkungsvoll und nachhaltig umzusetzen. Für Unternehmen geht es darum, die Entwicklungsperspektive und damit die Ansprüche des Standortes zu prüfen, bspw. entlang folgender Fragen:

- Soll der Standort weiterhin wie bisher genutzt werden oder besteht die Absicht den Standort (auch) für andere Tätigkeiten zu nutzen, bspw. mehr Büroräume, mehr Kundenverkehr, mehr Produktionskapazitäten.
- Stehen Investitionen in neue Maschinen an und ändern sich damit ggf. die Raumbedarfe? Reduz-

tiert sich damit bspw. die Produktionsfläche zugunsten von Büroflächen?

- Welche Investitionsmaßnahmen stehen ohnehin in den nächsten Jahren an (bspw. Sanierung von Gebäuden)?
- Welche Planungen / Maßnahmen existieren von Seiten der Kommune für das Gewerbegebiet?

Nachdem die aktuellen und zukünftigen Standortansprüche geprüft wurden, sollte nun geklärt werden, welche Ziele mit Blick auf die Klimaanpassungsmaßnahmen verfolgt werden sollen. Gab es in der Vergangenheit bereits Schäden bspw. durch Überflutungen nach Starkregen oder eine starke Hitzebelastung von Mitarbeitenden? Die Reduzierung dieser Belastungen kann eines der Ziele zur Entwicklung von Anpassungsmaßnahmen sein. Sollten bislang keine Schäden durch

Klimaanpassung und Standortperspektiven für das Gewerbegebiet gemeinsam denken und entwickeln

Klimawandelfolgen eingetreten sein, kann es dennoch sinnvoll sein bereits im Vorfeld aktiv zu werden. Hierzu ist die erwähnte Identifikation von Klimawandelfolgen in der Region sinnvoll. Der Fokus liegt dabei auf möglichen Vulnerabilitäten, d.h. gibt es bspw. Bereiche am Standort, die gefährdet sind.

Folgende Fragen können zur Identifizierung von Anpassungsmaßnahmen hilfreich sein:

- Wie stark sind die Belastungen (Hitze, Starkregen) am Standort und welche sollen reduziert werden?
- Welche Bereiche am Standort sind potenziell gefährdet, bspw. Kellerräume (Wasser), Büroräume (Hitze), Produktionsanlagen (Wasser, Hitze), Parkflächen (Hitze, Wasser)?
- Welche Anpassungsoptionen gibt es überhaupt (vgl. Kap. 8)?
- Für welche Anpassungsmaßnahmen ist die Gebäudesubstanz geeignet, wo muss ggf. nachgebessert werden (bspw. statische Ertüchtigung bei Dachbegrünung)?
- Welche Außenbereiche lassen sich für Anpassungsmaßnahmen (bspw. Schaffung von Versickerungsflächen und Grünflächen) nutzen?
- Gibt es ggf. andere (betroffene) Unternehmen im Gebiet, die ebenfalls Anpassungsmaßnahmen planen?

Dabei ist der enge Austausch mit anderen Unternehmen oder in einem bestehenden Unternehmensnetzwerk sinnvoll, um ggf. gemeinsame Maßnahmen zu identifizieren und voneinander zu lernen. Auch der



Abb. 69: GIS-Tool zur Erfassung von Betroffenheiten der Klimawandelfolgen am Beispiel Duisburg-Kaßlerfeld (die dargestellten Marker dienen nur der Anschaulichkeit und stellen keine tatsächliche Betroffenheit dar), Quelle: eigene Darstellung

Kontakt zur Wirtschaftsförderung und kommunalen Verwaltung sollte hergestellt werden, um sich bzgl. geplanter Maßnahmen abzustimmen.

Bewertung der Anpassungsmaßnahmen

Sobald eine oder mehrere Anpassungsmaßnahmen zur möglichen Umsetzung identifiziert wurden, soll-

ten diese, insbesondere bei größeren Investitionen, im Hinblick auf ihre Wirksamkeit untersucht werden. Hierzu kann die Unterstützung durch qualifizierte Planungs- und Ingenieurbüros sinnvoll sein, damit die gewünschten Ziele der Anpassungsmaßnahme erreicht werden. Auch sollte geprüft werden, ob durch die Maßnahme oder kleinere Anpassungen weitere positive Nebeneffekte erzielt werden können. Für die

Bewertung spielt auch eine Kosten-Nutzen-Analyse, wie sie im Rahmen des Projektes Klima.Profit entwickelt wurde, eine wichtige Entscheidungsgrundlage (siehe hierzu S. 61 ff.). Dabei spielt der Investitionszeitpunkt eine wichtige Rolle. Sind ohnehin Investitionen am Standort geplant könnten diese sinnvoll mit Klimaanpassungsmaßnahmen kombiniert werden. Auch besteht die Möglichkeit Fördermittel für einzelne Anpassungsmaßnahmen zu beantragen, hierzu ist die Förderdatenbank des Bundes eine gute Hilfe.²⁵ Das kommunale Klimaschutz / Klimaanpassungsmanagement kann bei der Beratung zu Fördermitteln ebenfalls unterstützen. Folgende Fragen können zur Bewertung der Anpassungsmaßnahme(n) hilfreich sein:

- Lassen sich mit den identifizierten Anpassungsmaßnahmen die gewünschten Ziele erreichen?
- Rechnen sich die geplanten Maßnahmen auch wirtschaftlich?
- Welche positiven oder negativen Effekte haben die geplanten Maßnahmen auf benachbarte Standorte?
- Gibt es die Möglichkeit Maßnahmen auch großräumiger umzusetzen (bspw. in Abstimmung mit der Kommune und / oder anderen Unternehmen), um die Wirksamkeit zu verstärken?
- Sind ohnehin Investitionsmaßnahmen am Standort geplant, die sinnvoll mit Anpassungsmaßnahmen kombiniert werden können?
- Existieren Fördermittel für die Umsetzung der Fördermittel von Seiten des Bundes, der Länder oder Kommunen?

- Kennen Sie andere Unternehmen, die bereits ähnliche Maßnahmen umgesetzt haben und von ihren Erfahrungen berichten können?
- Lassen sich durch die geplanten Maßnahmen weitere Betriebskosten sparen, etwa durch reduzierten Wasser- und Energieverbrauch oder auch durch Einsparung der Niederschlagswassergebühr?

Die abschließende Bewertung und Entscheidung zur Umsetzung ist allein vom jeweiligen Unternehmen vorzunehmen, da hier eine Vielzahl von Faktoren zu berücksichtigen sind.

Umsetzung der Anpassungsmaßnahme(n)

Sobald eine oder mehrere Anpassungsmaßnahmen zur möglichen Umsetzung identifiziert wurden, kann es in die Umsetzung gehen. Die Umsetzung kann eine investive Maßnahme sein, etwa die Schaffung von Versickerungsflächen oder eine Dachbegrünung (vgl. Kap. 8). Hierbei ist je nach Maßnahme ebenfalls die Unterstützung durch ein Planungs- oder Ingenieurbüro sinnvoll. Aber auch nicht-investive Maßnahmen sollten mitgedacht werden, etwa durch die Festlegung von Verantwortlichkeiten für das Thema. Damit kann gewährleistet werden, dass hier die relevanten Informationen zusammenfließen und Mitarbeitende eine Anlaufstelle für Fragen und Hinweise haben. Unabhängig davon welche Maßnahme Sie umsetzen, sollten die Verantwortlichkeiten für die Umsetzung festgelegt werden.

Evaluation der Anpassungsmaßnahme(n)

Nach Umsetzung der Maßnahmen sind diese zu evaluieren, daher ist eine fundierte Bestandsaufnahme zu Beginn so wichtig, um mögliche Veränderungen feststellen zu können.

- Konnten die Belastungen wie beabsichtigt reduziert werden?
- Welche positiven oder auch negativen Auswirkungen haben die Maßnahmen?
- Wie bewerten die Mitarbeitenden und / oder KundInnen die umgesetzten Maßnahmen?
- Wo besteht weiterhin Anpassungsbedarf?

Option: Öffentlichkeitsarbeit

Eine wirksame Klimaanpassungsmaßnahme ist gut, eine die kommuniziert wird ist noch besser. Zum einen kann das Unternehmen die neuen Standortqualitäten mit Blick auf die Mitarbeitenden und KundInnen kommunizieren. Zum anderen können andere Unternehmen davon lernen. Das spielt auch mit Blick auf den Standortwettbewerb eine wichtige Rolle. Kommunen und Gebietsnetzwerke können diese Beispiele nutzen, um die Standortqualitäten zu kommunizieren und neue Unternehmen für den Standort zu gewinnen.



Fazit

Gewerbegebiete und Industrieflächen machen 20 % der gesamten Siedlungs- und Verkehrsfläche in Deutschland aus. Zahlreiche neue Gewerbegebiete werden heute klimaneutral und klimaangepasst entwickelt. Doch die Anpassung an diese Herausforderungen von Bestandsgewerbegebieten spielt bislang kaum eine Rolle. Die Herausforderungen sind dabei ungleich höher als im Neubau, denn hier sind zahlreiche Akteure mit durchaus gegenläufigen Interessen einzubinden und für gemeinsame Aktivitäten zu motivieren. Motiviert sind insbesondere Unternehmen, deren Standorte aktuell bereits stark von den Folgen des Klimawandels betroffen sind: Sei es durch immer wiederkehrende Überflutungen nach Starkregenereignissen und damit verbundenen Schäden an der Gebäudesubstanz und Produktionsausfällen oder eine bei Hitzeperioden starke Aufheizung der Innenräume und damit verbundenen Produktionsausfällen. Diese

Unternehmen haben ein großes Eigeninteresse die Belastungen und ökonomischen Einbußen zu reduzieren. Bei anderen, ebenfalls betroffenen Unternehmen scheint die kritische Schwelle noch nicht erreicht. Das bedeutet auch hier sind die Folgen, etwa durch temporäre Überflutungen oder Hitzeereignisse spürbar, jedoch halten sich die Schäden in Grenzen. Unternehmen, die bislang nicht betroffen sind oder die Veränderungen noch abpuffern können, bspw. durch Installation von Klimaanlage bei starker Hitzeentwicklung, zeigen bislang kaum ein Interesse proaktiv auf die sich immer stärker abzeichnenden klimatischen Veränderungen. Dabei bedeutet Klimaanpassung nicht einfach nur aktuelle oder potenzielle Schäden zu vermeiden. Klimaanpassung und Klimaschutz zusammengedacht kann dabei nicht nur betriebswirtschaftliche Vorteile durch Kosteneinsparung bieten. Attraktive Standorte schaffen einen Mehrwert für die Menschen vor Ort,

Mitarbeitende oder KundInnen, der sich auch langfristig vor dem Hintergrund des Fachkräfte- und Standortwettbewerbs ökonomisch rechnet. Für Kommunen geht es auch darum diese oftmals innenstadtnah gelegenen Standorte zu diversifizieren und als wichtigen Teil in die weitere Stadtentwicklung zu integrieren.

Das Projekt hat einmal mehr verdeutlicht wie wichtig Gebietsnetzwerke bzw. ein Gebietsmanagement sind, um den Herausforderungen (Standortwettbewerb, Klimaschutz, Klimaanpassung) wirksam begegnen zu können. Je nach Belastung können Klimaanpassungsmaßnahmen an einem Unternehmensstandort die Belastungen durch Hitze oder Starkregen signifikant reduzieren. Etwa durch Verschattungselemente, Entsiegelung von Parkflächen und Schaffung von Retentionsflächen, durch Dach- oder Fassadenbegrünungen oder Anlage von Grünflächen. Aus der Vielzahl

Abbildung 70: Unterbrochener Fahrweg durch Überflutung

Quelle: Carola Vahldiek / stock.adobe.com

Der Weg von Bestandsgewerbegebieten zur Klimaresilienz erfordert die Beteiligung vieler verschiedener Akteure.

der einzelnen Maßnahmen gewinnt das Quartier oder Region insgesamt, etwa durch Entlastung der Kanalisation oder Reduktion von Hitzeinseln. Doch bedarf es andererseits auch einer kommunalen Strategie mit Blick auf die Gestaltung der öffentlichen Räume und weiteren Flächenentwicklung. So können Retentionsflächen im öffentlichen Raum die Belastung für die Unternehmen nach Starkregen reduzieren und durch Anlage von Grünflächen den öffentlichen Raum insgesamt attraktiver machen. Abgestimmte Maßnahmen von Kommune und Unternehmen können dabei die positive Wirkung einzelner Maßnahmen nochmals verstärken. Auf der anderen Seite sollten Kommunen ihren Blick auf die Flächenentwicklung in beste-

henden Gewerbegebieten vor dem Hintergrund des Klimawandels überprüfen. Die planungsrechtlichen Möglichkeiten zur Klimaanpassung sollten soweit wie möglich genutzt werden, um die eingetretenen bzw. prognostizierten Folgen des Klimawandels abzumildern. Dies bedeutet auch: Unternehmen sind im Einzelfall durch eine unzureichende planerische Berücksichtigung der Klimawandelfolgen von Belastungen betroffen, die planerisch hätten vermieden werden können. Andererseits sind die Unternehmen bei Investitionen gefragt, Klimaanpassung und Klimaschutz, nicht nur im eigenen Interesse, mitzudenken und umzusetzen. Dabei sollten, wenn möglich, Einzelmaßnahmen als Teil einer Gesamtstrategie im Bestandsgebiet

umgesetzt werden. Gemeinsame Maßnahmen können dabei die Kosten reduzieren und einen Mehrwert schaffen, von dem das ganze Quartier profitiert. So wie der Klimawandel von uns allen verursacht wird, so sollten wir die Folgen ebenfalls gemeinsam angehen.

Quellen

Peng, Binbin und Jie Song (2018): A Case Study of Preliminary Cost-Benefit Analysis of Building Levees to Mitigate the Joint Effects of Sea Level Rise and Storm Surge. In: *Water*, 10(2), 169.

Rosen, Harvey S. (1995): *Public Finance*. Chicago: Irwin Schuster, Thomas, and Leona Rüdert von Collenberg (2017): *Investitionsrechnung: Kapitalwert, Zinsfuß, Annuität, Amortisation*. Springer Gabler, Berlin, Heidelberg

StädteRegion Aachen (Hrsg.) 2012: *Gewerbeflächen im Klimawandel. Leitfaden zum Umgang mit Klimatrends und Extremwetter*., <http://www1.isb.rwth-aachen.de/klimaix/downloads/KlimaixLeitfadenDownload.pdf>

Weitere Informationen

Zentrum KlimaAnpassung: Beratungszentrum für Kommunen und soziale Einrichtungen, <https://www.zentrum-klimaanpassung.de>

Förderdatenbank des Bundes, <https://www.foerderdatenbank.de>

Projekt „Grün statt Grau – Gewerbegebiete im Wandel“, <http://gruen-statt-grau.wilabonn.de/>

Netzwerk Klimaanpassung & Unternehmen.NRW, <https://klimaanpassung-unternehmen.nrw/>

Ansprechpersonen der Modellgebiete

Ansprechpersonen im Gewerbegebiet Kaßlerfeld, Duisburg

Dr. Thomas Griebe

Umweltamt der Stadt Duisburg

E-Mail: dr.griebe@stadt-duisburg.de

Robert Böhnke

Deutsches Institut für Urbanistik

E-Mail: boehnke@difu.de

Maic Verbücheln

Deutsches Institut für Urbanistik

E-Mail: verbuecheln@difu.de

Ansprechpartner im Gewerbegebiet Wattenscheid und Hansastraße, Bochum

Andreas Gunkel

Tiefbauamt der Stadt Bochum

E-Mail: AGunkel@bochum.de

Markus Majdaniuk

Wirtschaftsförderung Bochum WiFö GmbH

E-Mail: Markus.Majdaniuk@bochum-wirtschaft.de

Vera Bartolović

EPC – Projektgesellschaft für Klima. Nachhaltigkeit.

Kommunikation mbh (gemeinnützig)

Büro Ruhr

E-Mail: bartolovic@e-p-c.de

Dr. Ulrich Eimer

EPC – Projektgesellschaft für Klima. Nachhaltigkeit.

Kommunikation mbh (gemeinnützig)

Büro Ruhr

E-Mail: eimer@e-p-c.de

**Ansprechpartner im Gewerbegebiet
Dorstfeld West, Dortmund**

Sophie Arens

Koordinierungsstelle Klimaschutz und
Klimaanpassung – Stadt Dortmund
E-Mail: sarens@stadtdo.de

Vera Bartolović

EPC gGmbH – Projektgesellschaft für
Klima. Nachhaltigkeit. Kommunikation
E-Mail: bartolovic@e-p-c.de

Dr. Ulrich Eimer

EPC gGmbH – Projektgesellschaft für
Klima. Nachhaltigkeit. Kommunikation
E-Mail: eimer@e-p-c.de

Endnoten

- 1 <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Flaechennutzung/Tabellen/siedlungsflaeche.html;jsessionid=AC-B770CD325B1EF1B95601FF8C37683B.live722>
- 2 <https://www.ioer-monitor.de/ergebnisse/analyse-ergebnisse/bodenversiegelung/>
- 3 Stadt Bochum 2015: GESUNDES WATTENSCHIED -Familienfreundlich und generationengerecht. Integriertes städtebauliches Entwicklungskonzept. https://www.wat-bewegen.de/wp-content/uploads/ISEK_WAT_Zusammenfassung.pdf (Zugriff: 22.11.2021)
- 4 Stadt Bochum 2012: Klimaanpassungskonzept, <https://geodatenportal.bochum.de/bogeo/web/61/doku/klimaanpassungskonzept.pdf> (Zugriff: 22.11.2021)
- 5 Stadt Dortmund 2015: Integriertes Klimaschutzteilkonzept für das Gewerbegebiet Dorstfeld West – Endbericht. https://www.dortmund.de/media/p/umweltamt/downloads_umweltamt/Endbericht_Entwicklungskonzept_Dorstfeld_West.pdf (Zugriff 22.11.2021)
- 6 https://www2.duisburg.de/micro2/du2027/medien/bindata/Anlage_G_Erlaeuterung_Raeumliche_Handlungsschwerpunkte.pdf
- 7 https://www.deutsches-klima-konsortium.de/fileadmin/user_upload/pdfs/Publikationen_DKK/basisfakten-klimawandel-2021.pdf, S. 14
- 8 https://www.deutsches-klima-konsortium.de/fileadmin/user_upload/pdfs/Publikationen_DKK/basisfakten-klimawandel-2021.pdf#, S. 14 ff.
- 9 https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2021/20210824_attributionstudie_starkregen_news.html
- 10 https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/cc_29-2020_bewertung_klimawandelgebundener_risiken_teilbericht_1.pdf
- 11 <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Flaechennutzung/Tabellen/siedlungsflaeche.html;jsessionid=AC-B770CD325B1EF1B95601FF8C37683B.live722>
- 12 <https://www.ioer-monitor.de/ergebnisse/analyse-ergebnisse/bodenversiegelung/>
- 13 <http://www1.isb.rwth-aachen.de/klimaix/downloads/KlimaixLeitfadenDownload.pdf>
- 14 <http://www1.isb.rwth-aachen.de/klimaix/downloads/KlimaixLeitfadenDownload.pdf>, S. 19
- 15 Vgl. Schuster et al. 2017

- 16 Vgl. Rosen 1995
- 17 Vgl. Peng und Song 2018
- 18 <https://www.z-u-g.org/aufgaben/foerderung-von-massnahmen-zur-anpassung-an-die-folgen-des-klimawandels/>
- 19 https://www.z-u-g.org/fileadmin/user_upload/download_pdf/DAS/DAS_Merkblatt_nachhaltiges_Anpassungsmanagement.pdf
- 20 <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/werkzeuge-der-anpassung/klimalotse#Einf%C3%BChrung>
- 21 <https://www.zentrum-klimaanpassung.de>
- 22 <http://gruen-statt-grau.wilabonn.de/>
- 23 <https://klima-profit.de/wp-content/uploads/2020/01/Unternehmerfragebogen-Voransicht.pdf>
- 24 <http://www1.isb.rwth-aachen.de/klimaix/>
- 25 <https://www.foerderdatenbank.de/FDB/DE/Home/home.html>

Impressum

Verantwortlich für die Broschüre:

Vera Bartolović

EPC - Projektgesellschaft für Klima. Nachhaltigkeit.

Kommunikation mbH (gemeinnützig)

Potsdamer Platz 1; 10785 Berlin

E-Mail: info@e-p-c.de; www.e-p-c.de

Redaktion: Robert Böhnke, Vera Bartolović

Autoren: Maic Verbücheln, Christian Raffer,

Dr. Monika Steinrücke, Robert Böhnke, Vera Bartolović

Gestaltung: Carola Koll

Erscheinungsjahr: 2023

Umgesetzt durch:



Gefördert durch:



KLIMA.PROFIT



Stadt und Unternehmen im Dialog

Klimaanpassung in Bestandsgewerbegebieten
unter besonderer Berücksichtigung der
regionalen Wertschöpfung und Zukunftsfähigkeit