

# BaumAdapt Handlungsleitfaden



Empfehlungen für das Stadtbaummanagement  
im Spannungsfeld zwischen Klimaanpassung,  
Erhalt von Ökosystemleistungen und dem  
Schutz kritischer Infrastrukturen

STADT  
ESSEN

tu technische universität  
dortmund  
Institut für  
Raumplanung **IRPUD**

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz  
und nukleare Sicherheit

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## Impressum

Herausgeber	Stadt Essen und TU Dortmund
Bearbeitung	Julia Dingendahl, Umweltamt Patrick Kaufels, Amt für Geoinformation, Vermessung und Kataster Norbert Bösken, Grün und Gruga Philip Kruse, TU Dortmund - IRPUD
Layout	Presse- und Kommunikationsamt
Titelbild	via Verkehrsgesellschaft mbH
Stand	August 2020

# Empfehlungen für das Stadtbaummanagement im Spannungsfeld zwischen Klimaanpassung, Erhalt von Ökosystemleistungen und dem Schutz kritischer Infrastrukturen

# Inhalt

1	Einleitung - Der Sturm Ela und seine Folgen für das Stadtbaummanagement.....	11	
1.1	Einstieg in den Leitfaden.....	14	
1.2	Einführung in die Methodik.....	15	
<b>Grundlagen</b>			
2	Kritische Infrastrukturen.....	18	
2.1	Simulation Kritikalitätsszenarien Verkehrsinfrastruktur.....	19	
2.2	Simulation Sturmgefährdung von Bäumen.....	22	
2.3	Kritikalität Baum-Gasleitung-Interaktionen.....	27	
2.4	Forsttechnische/baumpflegerische Fachberatung und operative Unterstützung der Krisenstäbe bei Orkanereignissen.....	29	
3	Rechtliche Rahmenbedingungen und fachliche Vorgaben im Kontext Stadtbaummanagement.....	33	
3.1	Grund- und Verkehrssicherungsrecht.....	33	
3.2	Baugesetzbuch.....	34	
3.3	Naturschutzgesetze.....	36	
3.4	Satzungen und Ratsbeschlüsse.....	36	
3.5	Technische Regelwerke.....	37	
3.5.1	Regelwerke zur Kontrolle, Untersuchung und Pflege von Bäumen.....	37	
3.5.2	Regelwerke für Baumpflanzungen.....	38	
3.5.3	Regelwerke für die Koexistenz von Bäumen und unterirdischen Leitungen und Kanälen.....	40	
3.5.4	Regelwerke für Schutz und Erhaltung von Bäumen bei notwendigen Straßenbaumaßnahmen.....	42	
3.6	Fachlicher Planungs- und Bauablauf Begrünungsziel Stadtbaum.....	43	
3.7	Fachlicher Planungs- und Bauablauf Stadtbaumerhaltung – baufachliche Baubegleitung.....	46	
<b>Handlungsempfehlungen</b>			
4	Empfehlungen für das Stadtbaummanagement.....	49	
4.1	Allgemeine Zielstellungen für urbane Baumbestände.....	51	
4.2	Straßenbäume.....	55	
4.2.1	Hauptstraßen.....	56	
4.2.2	Nebenstraßen.....	57	
4.3	Immobilienwirtschaft.....	58	
4.3.1	Wohnbebauung.....	58	
4.3.2	Bildungseinrichtungen.....	59	
4.3.3	Sportflächen.....	60	
4.3.4	Gewerbegebiete.....	61	
4.4	Grünanlagen.....	61	
4.5	Wald.....	62	

## Monitoring - Wirkungen und Erfolge dokumentieren

5	Monitoring als Qualitätssicherung für den Stadtbaumbestand .....	64	
5.1	Stadtbodenmonitoring .....	64	
5.2	Monitoring der Beschirmungsoberflächen.....	65	
5.3	Monitoring der Ökosystemleistungen .....	68	
5.3.1	Analyse der Ökosystemleistungen von Stadtbäumen .....	69	
5.3.2	Analyse der Ökosystemleistungen von Waldbäumen.....	72	
5.4	Monitoring Funktionsnetze Straßen und kritische Infrastruktur .....	75	
5.5	Monitoring für Baumschutz und Baumerhaltung.....	76	
5.6	Monitoring zur Zielerreichung von Bauleitplanung und informellen Planungsinstrumenten, z.B. städtebaulichen Verträgen .....	76	

## Kommunikation

6	Kommunikation und Partizipation beim Thema urbaner Baumbestände .....	78	
6.1	Kommunikation zwischen Bürger*innen und Verwaltung .....	78	
6.2	Open data und Wissensaustausch.....	80	
6.3	Austausch innerhalb der Verwaltung zum Thema Stadtbaum .....	81	
6.4	Kommunikation mit Baufirmen .....	82	
7	Ausblick.....	83	
8	Literaturverzeichnis.....	87	

Der Leitfaden richtet sich an unterschiedliche Akteure. Für die jeweilige Zielgruppe relevante Empfehlungen lassen sich schnell über die farbliche Markierung im Inhaltverzeichnis und unter jeder Kapitelüberschrift erkennen:

 Grünplanung/Baumpflege

 Stadtplanung/Stadtentwicklung

 Hoch-/Tiefbau

 Krit. Infrastruktur/Katastrophenschutz

# Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Kritische Infrastrukturen im deutschen Bundesgebiet (BMI, 2009: 5).....	18
Tab. 2: Statisch wirksamer Wurzelraum (nach Wessoly und Erb, 2014).....	33
Tab. 3: Mindestabstände für offene Grabungen zum Wurzelanlauf nach DIN 18920 .....	43
Tab. 4: Mögliche Schäden für Wurzelraum und Bäume durch die offene Bauweise (nach D. Stein).....	46
Tab. 5: Standortplanung in Anlehnung an Kopinga 1997.....	51
Tab. 6: Ergebnisübersicht Interview Abteilung Pädagogische Einrichtungen Fachbereich Jugend, Bildung und Kultur der Stadt Essen.....	60
Tab. 7: Ergebnisse der Vergleichsanalyse vor/nach Ela für Stadtbäume mit iTree.....	71
Tab. 8: Indikatoren für die Erfassung von Ökosystemleistungen urbaner Wälder (UNI Freiburg, 2014)..	72

# Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Vergleichsanalyse der Ökosystemleistungen vor/nach Ela im Modellgebiet Frohnhausen (Julia Dingendahl, 2020).....	13
Abb. 2 Lage der im Projekt untersuchten Modellgebiete (Julia Dingendahl, 2020).....	15
Abb. 3: Methodik zur Analyse der Kritikalität von Abschnitten des Verkehrsnetzes (Philip Kruse, 2020).....	19
Abb. 4: Platanen im Bereich des Elisabeth-Krankenhauses (Foto: Norbert Bösken, Stadt Essen) .....	22
Abb. 5: Relative Windgeschwindigkeit im Bereich des Elisabeth-Krankenhauses am 9.6.2014 um 20:00 (Michael Bruse, 2020).....	23
Abb. 6: Beispiele für L-System basierte Bäume in ENVI-met: Gelbbirke ( <i>Betula alba</i> ) (links), Eberesche ( <i>Sorbus aucuparia</i> ) (mittig), Feldahorn ( <i>Acer campestre</i> ) (rechts) mit zugrundeliegendem Skelett und Blättern (Michael Bruse, 2020).....	24
Abb. 7: Simulationsgebiet mit 218 L-Bäumen und 1380 Standardbäumen (nicht dargestellt) (Michael Bruse, 2020).....	24
Abb. 8: Ausgewählter Beispielbaum "Ahornblättrige Platane (Reifephase)" vor dem Krankenhaus (Michael Bruse, 2020).....	25
Abb. 9: Generelle Windsituation am Standort (Michael Bruse, 2020).....	25
Abb. 10: Generelle Standortanalyse des Baums nach dem Ende der Berechnungen. Die Färbung der Baumsegmente entspricht hier dem „Bruchrisiko“ definiert als Quotient zwischen aktuell auftretendem Drehmoment und der maximal verfügbaren Stabilität (1= 100% Bruchwahrscheinlichkeit) (Michael Bruse, 2020).....	26
Abb. 11: Zugschlinge einer Platane (Foto: Michael Honds, Mönchengladbach).....	27
Abb. 12: Methodik zur Analyse von Baum-Gasleitung-Interaktionen (Julia Dingendahl, 2020) .....	28
Abb. 13: Einteilung der Prioritätsstufen (Helen Prüfer, 2015).....	29
Abb. 14: Ordnerstruktur Extremwetterereignisse (Helen Prüfer, 2015).....	30
Abb. 15: Fachausbildung mit Einsatz Drehleiter und Baumbiegesimulator (Fotos: Christian Busch, links und Christian Guth, rechts beide Stadt Essen).....	31
Abb. 16: Geodatendienst mit örtlichen Ansprechpartnern der Sonderordnungsbehörde für Wald (Waldinfo.nrw.de).....	32
Abb. 17: Versagen der Standsicherheit durch unzureichenden Wurzelraum in Folge des Sturms Ela (Foto: Peter Prengel, Stadt Essen).....	34
Abb. 18: Kornverteilungsbereich bei Baums substraten für Pflanzgrubenbauweise 2 (RAL Gütegemeinschaft).....	38
Abb. 19: Theoretisches Wurzelwachstum (in Anlehnung an Stützel & Bosseler) und Änderung der Wuchsrichtung durch unterschiedlich dichte Böden/Substrate/Baustoffgemische (FLL).....	41
Abb. 20: Schematische Darstellung wurzelfester Rohrleitungsbettungen (Fa. Dernoton).....	42
Abb. 21: Strömungsabhängige kinetische Belastungsvisualisierung mit ENVI-met TreePass (Michael Bruse, 2020).....	50

Abb. 22: Auszug Entwurfsplanung Baumrigole „Baumblüte“ (Danielzik, Leuchter und Partner 2020).....	54
Abb. 23: Baumbetausbesserung mit deutlicher Schottersohle ab 60cm Tiefe (Foto: Gabriel Volk, Stadt Essen, 2020).....	65
Abb. 24: Methodik zur Analyse von Baumpunkten und Beschirmungsflächen (Patrick Kaufels, 2020)...	66
Abb. 25: Prozentualer Anteil an Beschirmungsfläche pro Wohnviertel (Julia Dingendahl, 2020).....	67
Abb. 26: Methodik zur Analyse von Ökosystemleistungen und deren Hochrechnung auf das Stadtgebiet (Julia Dingendahl, 2020).....	70
Abb. 27: Methodik zur Differenzanalyse der Ökosystemleistungen vor und nach Ela (eigene Darstellung).....	71
Abb. 28: Schritte-Konzept Erfassung und Darstellung von Ökosystemleistungen urbaner Wälder (UNIQUE 2017).....	73
Abb. 29: Themenkarte Waldökosystemleistungen. Hier: Schadstofffilterpotential von Waldflächen (Geoportal Essen, 2020).....	74
Abb. 30: Stadtpaziergang Sommer 2019 im Krupp-Park (Foto: Marlene Schulz, 2020).....	79
Abb. 31: Auftaktworkshop BaumAdapt 2018 (Fotos: Uwe Grützner).....	80
Abb. 32: Messaufbau Sprechender Baum und Messvorrichtung an einer Buche in Augsburg (TU München, Klimaerlebnis Würzburg; Augsburger Allgemeine Zeitung, 2019).....	81

Langanhaltende Hitzeperioden, Trockenheit und heftige Stürme sind Anzeichen, die uns bereits jetzt die Veränderungen durch den Klimawandel vor Augen führen. Sie sind gleichzeitig ein Weckruf für uns, dass die Anpassung unserer Stadt an den Klimawandel zügig erfolgen muss. Ein Schlüsselfaktor ist dabei die Entwicklung und der Erhalt von Grünanlagen, Parks, Wäldern und Straßenbäumen, um unsere Stadt auch bei sich verändernden Klimabedingungen lebenswert zu erhalten.

Als Grüne Hauptstadt Europas 2017 misst die Stadtgesellschaft der grünen Infrastruktur einen besonders hohen Stellenwert zu. Die in der Grünen Hauptstadt definierten Ziele und Maßnahmen gilt es Schritt für Schritt in der Grünen Dekade bis 2027 umzusetzen. In mehreren Themenfeldern werden Bäume als unverzichtbarer Bestandteil für die zukünftige, ganzheitliche Stadtentwicklung genannt, die essenzielle Gemeinwohlfunktionen übernehmen und die vor dem Hintergrund des Klimawandels geschützt und verbessert werden müssen. Im Laufe des Projekts BaumAdapt wurde im Rahmen der partizipatorischen Elemente mit der Bürgerschaft, den Mandatsträgerinnen und Mandatsträgern und in den fachbereichsübergreifenden Arbeitstreffen und Pilotprojekten eine sehr große Bereitschaft zur Lösung der anstehenden Generationenaufgabe für die Erhaltung und Weiterentwicklung zukunftsfähiger Baumstandorte auch in den hoch versiegelten und verdichteten Stadtquartieren deutlich. Ein gebührender Abschluss für die Grüne Dekade von 2017 – 2027, die die Bedeutung von Grün in der ehemals von Industrie geprägten Metropole Ruhr widerspiegelt, ist die Ausrichtung der IGA Metropole Ruhr 2027, an der sich Essen mit zahlreichen Projekten beteiligen wird.

Dass das Thema Klimaanpassung Einzug in die tägliche Arbeit der Verwaltung gefunden hat, zeigen die Ratsbeschlüsse zur Teilnahme am Konvent der Bürgermeister, in dessen Rahmen das „Integrierte Energie- und Klimakonzept“ (IEKK) zu einem „Sustainable Energy and Climate Action Plan“ (SECAP) erweitert wird, und die Teilnahme am „European Climate Adaptation Award“ (eca), einem Qualitätsmanagement- und Zertifizierungsverfahren für kommunale Maßnahmen zur Klimaanpassung. Das Grün in der Stadt ist ein entscheidender Faktor bei der Anpassung unserer Städte an den Klimawandel und sorgt im überhitzten Innenstadtbereich für Abkühlung und damit für eine Steigerung der Lebensqualität. Mit dem Projekt BaumAdapt konnten Fehlentwicklungen im Stadtbaummanagement der letzten Jahre analysiert und so neue Ansätze erarbeitet werden, die einen zukunftsfähigen und leistungsstarken Baumbestand garantieren. In Verbindung mit einem intelligentem Bewässerungskonzept und der Integration von blau-grünen Infrastrukturen, wie z.B. Baumrigolen in die Stadtplanung, kann die Stadt Essen einen großen Beitrag zur Klimaanpassung leisten. Gemeinsam mit anderen Kommunen der Emscherregion hat Essen dazu die Verpflichtungserklärung zur „Zukunftsinitiative Wasser in der Stadt von morgen – Klimaresiliente Region mit internationaler Strahlkraft“ unterzeichnet. Damit wird eine wassersensible Stadtentwicklung sichergestellt, die in Verbindung mit einem funktionsfähigen Stadtbaumbestand unsere Stadt auch im fortschreitenden Klimawandel lebenswert erhalten wird.

Simone Raskob  
Dezernentin für Umwelt, Verkehr und Sport  
Stadt Essen

Die Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS), die die Bundesregierung im Jahr 2008 verabschiedet hat, würdigt die Raum-, Regional- und Bauleitplanung als wichtiges Querschnittsfeld der Klimaanpassung. Sie stehe „am Anfang der Risikovermeidungskette, da sie räumliche Vorsorgekonzepte entwickeln“ können, die der Anpassung an die erwartete Zunahme der Intensität und Häufigkeit von Extremwetterlagen dienen.

Seit 2008 hat eine zunehmende Anzahl von Städten und Regionen eigene Anpassungsstrategien entwickelt – so auch die Stadt Essen mit ihrem Modellvorhaben "Stadt begegnet Klimawandel". Im Vordergrund stand dabei zunächst vor allem der Umgang mit urbaner Überwärmung. In den letzten Jahren kam als ein weiterer thematischer Fokus die Überflutungsvorsorge hinzu.

Wenig Beachtung wurde bisher aber den indirekten Effekten derartiger Extremereignisse geschenkt. Ereignisse wie der Sommersturm Ela zeigten aber die besonders engmaschige Vernetzung und gegenseitige Abhängigkeit zwischen Infrastrukturversorgungssystemen auf. So kam es in Folge zahlreicher umgestürzter Stadtbäume zu über mehrere Tage anhaltenden Ausfällen im gesamten Transportsektor. Insbesondere die massiven Störungen des Straßenverkehrs hatten zur Folge, dass Einsatzkräfte des Notfall- und Rettungswesens Schwierigkeiten hatten, überhaupt die Feuerwachen, Krankenhäuser und Einsatzorte im Stadtgebiet zu erreichen.

Bereits dieses eine Beispiel eines Kaskadeneffekts verdeutlicht den dringenden Bedarf einer gesamt-systembezogenen Perspektive auf sogenannte „kritische Infrastrukturen“ als Einrichtungen mit wichtiger Bedeutung für das staatliche Gemeinwesen, bei deren Ausfall oder Beeinträchtigung nachhaltig wirkende Versorgungsengpässe, erhebliche Störungen der öffentlichen Sicherheit oder andere dramatische Folgen eintreten würden. Auch die Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel weist auf die Bedeutung von Ausfallschäden sowie die Kritikalität von Infrastrukturen hin – aber nur im Zusammenhang mit den Folgen für Lieferketten innerhalb der gewerblichen Wirtschaft. Allerdings besteht neben der Anpassungsstrategie auf Bundesebene auch eine KRITIS Strategie, die auch Auswirkungen auf die öffentliche Hand einschließt.

Im Projekt BaumAdapt ist es gelungen, am Beispiel der Auswirkungen von Windwurf auf die Funktionsfähigkeit der städtischen Verkehrssysteme aufzuzeigen, welche Netzelemente das größte systemische Kaskadenpotenzial besitzen, da ihr Ausfall die Erreichbarkeit zentraler Infrastrukturen in der Stadt Essen nachhaltig erschweren würde. Damit wurde gleichzeitig die besondere Schutzwürdigkeit dieser Netzelemente gegenüber Folgen von Extremereignissen verdeutlicht und eine Evidenzgrundlage für entsprechende Anpassungsmaßnahmen in der Stadt Essen geschaffen.

Damit hat das Projekt BaumAdapt auch zur Erreichung übergeordneter politischer Ziele beigetragen, da ein vorsorgender Umgang mit systemischen Kaskadeneffekten aufgezeigt wird, den auf Bundesebene Anpassungs- und Kritisstrategie als auch auf Ebene der Vereinten Nationen das sogenannte „Sendai Framework for Disaster Risk Reduction“ fordern.

Zugleich ist mit den Projektergebnissen auch ein hoher wissenschaftlicher Erkenntnisgewinn verbunden, da es bisher keine allgemein anerkannten methodischen Standards zur Beurteilung von Kaskadenpotenzialen gibt.

Prof. Dr. Stefan Greiving  
Leiter Institut für Raumplanung  
TU Dortmund

## Die Kernaussagen des Leitfadens

---

Bäume haben den größten Einfluss auf das urbane Mikroklima. Sie kühlen durch Verdunstung und verschatten Höfe, Straßen und Plätze. Sie sind für den Erhalt der Biodiversität von großer Bedeutung. Bei der Planung der Leistungsvorgaben für Begrünungsziele in Koexistenz mit kritischer Infrastruktur sind zukünftige Klimabedingungen bei den Planungen von heute zu berücksichtigen. Klimaprognosen zeigen, dass Sommerorkane, Hitzeperioden und Starkniederschläge weiter zunehmen werden.

In den frühen Phasen der Bauleitplanung sind unabhängig vom Versiegelungsgrad die potenziellen quantitativen und qualitativen Aspekte der Klimaschutzleistungen sukzessioneller Vegetationsentwicklungen mit Pioniergehölzen bis hin zum Klimawald in den O-Varianten zu bewerten. In der Stadt als Lebensraum hängt das Wohl des Menschen auch von Böden und Pflanzen bzw. deren Ökosystemleistungen ab, d. h. den Vorteilen, die der Mensch von Ökosystemen beziehen kann, wie Schattenspende, Luftbefeuchtung oder die Bereitstellung ansprechender Umwelt für Freizeit und Erholung. Die im Projekt erarbeiteten und nach Konsolidierung auf andere Kommunen problemlos übertragbaren Monitoringinstrumente zur Ableitung der Klimaschutz- und Gesundheitsleistungen ermöglichen eine weitgehende Variantenprüfung für den Umweltbericht im Einklang mit dem Schutz kritischer Infrastrukturen zur Optimierung der rechtskonformen Umsetzung der nationalen und kommunalen Klimaanpassungsstrategien in der Bauleitplanung.

Informelle Planungsinstrumente, z. B. städtebauliche Verträge zur Festlegung leistungsfähiger Bodenbereiche für möglichst großkronige Baumbestände, bieten großes Potenzial, Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel zu berücksichtigen. Die Planung für den Schutz kritischer Infrastrukturen bei gleichzeitig möglichst dichten Netzwerken urbaner Baumbestände im Kontext der grünen Infrastruktur helfen entscheidend bei der Förderung einer leistungsfähigen Anpassung der Stadtgesellschaft an den Klimawandel, die Lebensqualität für ihre Bürger\*innen und den Schutz der Stadtnatur.

Baumstandorte sind besonders produktiv, wenn sie auch in Dürrephasen durch ergänzende Maßnahmen über den Boden Wasser aufnehmen können. Mittels technischer Maßnahmen dienen sie besonders effektiv der Versickerung und haben ein hohes Retentionspotential. Entsiegelungsmaßnahmen sowie die bauliche Einbindung technischer Retentionsbauwerke in intelligente Bewässerungssysteme sind zu prüfen und weiterzuentwickeln. Anreize für Entsiegelungen privater Flächen können über kommunale Förderungen geschaffen werden.

Ein dem Begrünungsziel entsprechender Wurzelschutz und die funktionsgerechte Entwicklung des Wurzelraumes gemäß der aktuellen Regelwerke sowie ergänzender Maßnahmen zur optimierten Wasserversorgung in Dürrephasen erfordert eine konsequente baumfachliche Baubegleitung aller Baumaßnahmen sowie entsprechender Auflagen in den Konzessionsverträgen.

Planungsprozesse für öffentliche Infrastrukturvorhaben gemäß der Methodik des Building Information Modelling (BIM) erfordern eine ganzheitliche und auf den gesamten Lebenszyklus ausgerichtete Kosten-, Qualitäts- und Risikobetrachtung. Verschattungen Süd exponierter Fassaden sowie der sommerlichen Spiel- und Aufenthaltsbereiche durch großkronige Bäume als passive Maßnahmen zum sommerlichen Wärme- und Hautschutz stehen hier mit technischen Maßnahmen und CO<sub>2</sub>-Emissionen bei potenziell steigendem Kühlenergiebedarf im Wettbewerb.

Schlechte Baumstandorte und vermeidbare Schadverdichtungen erfordern erhöhte Kosten in der verkehrssichernden Baumpflege. Im Kontext SmartCity sollte ein konsequentes weitestgehend automatisiertes Vitalitätsmonitoring mittels Künstlicher Intelligenz und Internet-of-Things-Technologien die Erfolge der anstehenden Investitionen für die zukunftssichere Ausrichtung der urbanen Baumbestände bzgl. des öffentlichen Baumbestandes für die gesamte Stadtgesellschaft besser sichtbar und steuerbar machen. Der Dienst kann bei Bedarf auch zur Beratung von Eigentümer\*innen und Investor\*innen genutzt werden.

# 1 Einleitung - Der Sturm Ela und seine Folgen für das Stadtbaummanagement



## Hintergrund

Im Juni 2014 ereignete sich in NRW mit dem Sturm Ela der heftigste Sommerorkan seit Beginn der Aufzeichnungen. In NRW starben 6 Menschen, viele weitere wurden zum Teil schwer verletzt. Die Auswirkungen der Gewitterfront waren in der Stadt Essen besonders deutlich zu sehen. Von den etwa 200.000 Stadtbäumen erlitten etwa 20.000 einen Schaden durch Ela. Neben den zahllosen umgestürzten Bäumen mussten viele schwer geschädigte Bäume in den folgenden Wochen und Monaten gefällt werden. Wichtige Verkehrsachsen und Bahnstrecken waren durch umgestürzte Bäume zum Teil tagelang unterbrochen, das öffentliche Leben kam fast komplett zum Erliegen.

Im Zuge des Klimawandels werden solche Extremwetterereignisse häufiger auftreten. Umso wichtiger ist es, die städtischen Systeme an die Auswirkungen des Klimawandels anzupassen.

Der Sturm Ela hat aufgezeigt, wie verwundbar die kritische Infrastruktur und von welcher Bedeutung ein vitaler, widerstandsfähiger Stadtbaumbestand für eine Stadt ist.

Die Bäume in Wäldern, Parks, Gärten und im Straßenraum übernehmen wichtige Funktionen wie die Verschattung von Gebäuden, die Kühlung der Umgebungsluft, die Filterung von Luftschadstoffen und die Bindung von CO<sub>2</sub> und leisten damit einen essentiellen Beitrag, um die Folgen des Klimawandels abzumildern.

## Das Projekt BaumAdapt

### Projekt BaumAdapt

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

**Titel:** Optimierung stadtweiter Ökosystemleistungen urbaner Baumbestände im Einklang mit der Resilienz kritischer Infrastrukturen im Fokus sommerlicher Starkwindereignisse und Klimaanpassung

**Laufzeit:** 01.01.18 – 31.12.2020

**Fördergeber:**

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit- im Rahmen der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel, Kommunales Leuchtturmprojekt

**Projektbeteiligte Ämter bei der Stadt Essen:** Grün und Gruga, Umweltamt, Amt für Geoinformation, Vermessung und Kataster

**Verbundpartner:** TU Dortmund, Institut für Raumplanung

**Arbeitspakete:**

AP 1: Projektverwaltung

AP 2: Schadensanalyse Sturm Ela, Analyse Ökosystemleistungen

AP 3: Erfassung der Kritikalität von Infrastrukturen

AP 4: Szenariensimulation des Stadtbaumbestandes, Umsetzungspilote und Empfehlungen

AP 5: Partizipation

BaumAdapt ist ein vom Bundesumweltministerium gefördertes Verbundprojekt der Stadt Essen und dem Institut für Raumplanung (IRPUD) der TU Dortmund, das infolge des Sturms Ela entstanden ist. Durch Analysen, Modellierungen und Simulationen werden die Folgen des Sturms und die sichtbar gewordenen Schwachstellen im Baumbestand der Stadt Essen aufgearbeitet und Handlungsempfehlungen erarbeitet. Während der Projektlaufzeit wurden bereits einige der Empfehlungen und Erkenntnisse in Form von Pilotprojekten in die Praxis integriert.

#### Die Folgen von Ela am Beispiel des Modellgebietes in Frohnhausen

Das auf der Karte (s. Abb.1) dargestellte Gebiet umfasst eine Fläche von ca. 85 ha und ist in weiten Teilen durch eine Blockrandbebauung gekennzeichnet. Unterbrochen wird die Bebauung von den Grünflächen im West-, Riehl- und Alfredspark sowie dem Margaretenfriedhof.

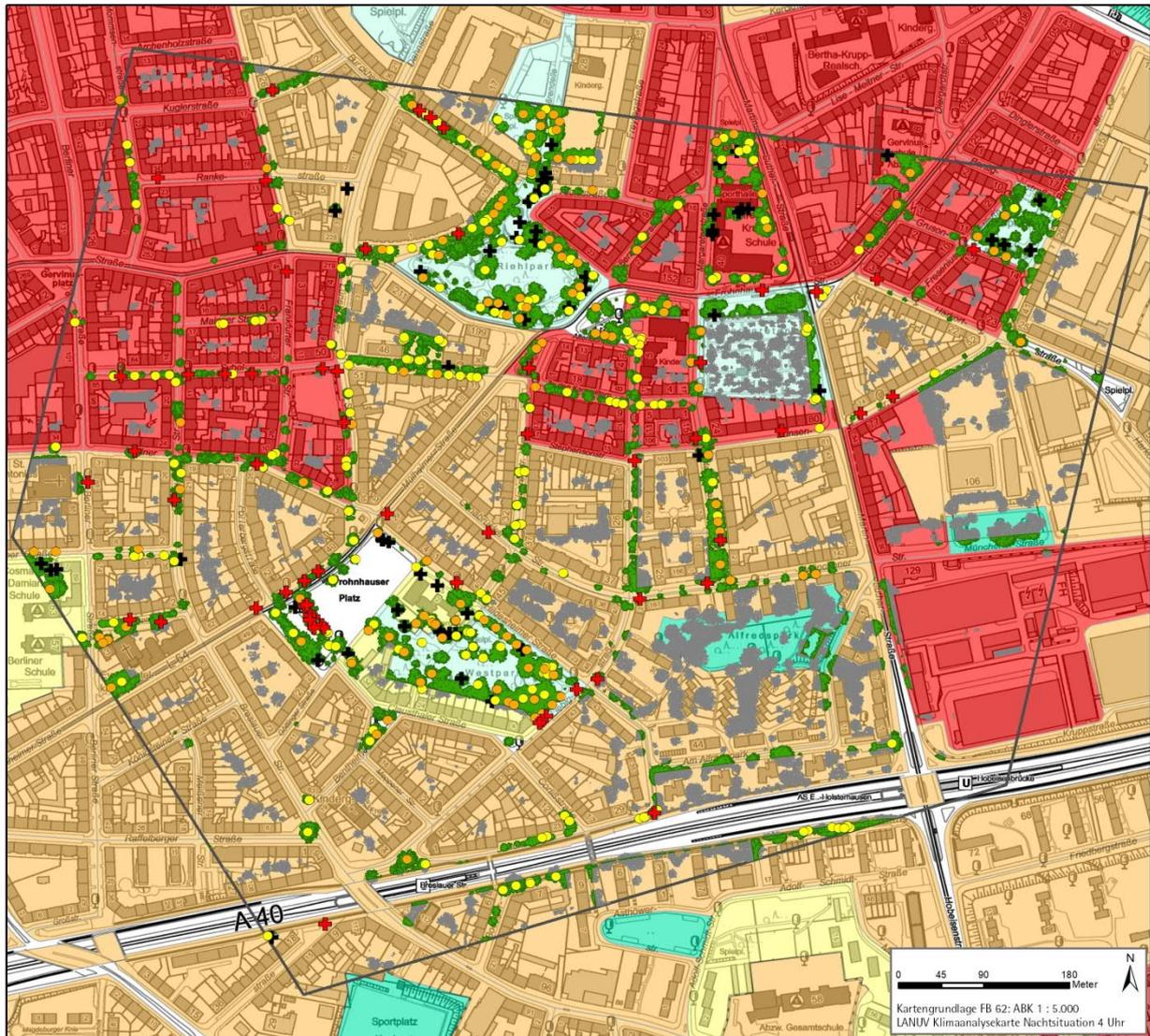
Die Vergleichsanalyse der Situation vor und nach Ela basiert auf der Analyse der eigentumsübergreifenden Kronenschirmfläche (privat und städtisch, Status 14.5.2014, s. auch Kap. 5.2) sowie auf baumfachlichen Kartierungen (Stand 2019) und wurde ausschließlich für den städtischen Baumbestand untersucht und visualisiert. Aussagen zu den Schäden am privaten Baumbestand durch Ela sind mit dieser Analyse nicht möglich.

Die Siedlungsbereiche zeigen aufgrund ihrer dichten Bebauung eine mäßige bis starke nächtliche Überwärmung. Die Blockrandbebauung verhindert einen Luftaustausch, sodass sich diese Bereiche in warmen Sommernächten gar nicht oder nur kaum abkühlen. Die Grünflächen wirken dem zumindest lokal mit einem Kaltluftstrom, der sich aus der Verdunstung durch Bäume, Sträuchern und Wiesen und der Verschattung durch großkronige Bäume ergibt, entgegen. Zu erkennen ist aber, dass aufgrund des nicht stattfindenden Luftaustauschs keine signifikante Abkühlung für die Siedlungsbereiche entstehen kann. Daher ist vor allem die schattenspendende Wirkung von Bäumen in den bebauten Bereichen von besonderer Bedeutung. Sie kann die Überwärmung um einige Grad reduzieren und damit den Hitze-stress für die Bewohnerinnen und Bewohner erträglicher machen. Im Zuge des Klimawandels und der damit einhergehenden Temperaturzunahme wird die Bedeutung der Kühlleistung durch Bäume weiter zunehmen.

Die Analyse von 1024 städtischen Bäumen ergab einen ersatzlosen Verlust von 60 Bäumen. Weitere 60 Bäume gingen durch Ela verloren, wurden aber nachgepflanzt. Die Baumverluste und starken Schädigungen konzentrieren sich vor allem auf den West- und den Riehlpark, also den Bereichen, die für die Kaltluftproduktion verantwortlich sind. In den von der Bebauung windgeschützten Siedlungsbereichen dominieren leichtere Schäden durch Ela, die ebenfalls immer mit einem Leistungsverlust einhergehen. Durch Ela sind im Gebiet Frohnhausen 5,8 % der Bäume verloren gegangen. Dadurch hat sich die gespeicherte Menge an CO<sub>2</sub> um 8,9 % verringert. Jährlich kann 19,4 % weniger CO<sub>2</sub> durch die Bäume gespeichert werden und ihre jährliche Filterleistung für Luftschadstoffe und Feinstaub hat sich um 10,3 % verringert.

In dem ohnehin bereits tendenziell mit Bäumen unterausgestattetem Gebiet ist ein zusätzlicher Verlust von Bäumen unbedingt zu vermeiden. Im Gebiet Frohnhausen liegt der Gesamtbeschirmungsgrad (städtische und private Bäume) bei 19,6 % (Stand vor Ela). In Gebieten mit Blockrandbebauung ist ein Beschirmungsgrad von 40 % realistisch und anzustreben. Wie der Karte zu entnehmen ist, sind vor allem in den Innenbereichen der Blockbebauung und in den Parkanlagen großkronige Bäume vorzufinden. Dort können sie, im Gegensatz zu Standorten im Straßenraum, eine große Krone ausbilden. Gerade die Bereiche innerhalb der Blockbebauung sowie auf Flächen von Wohnungsbauunternehmen, wie der Siedlung am Alfredspark, bieten ein großes Potential um neue, vitale Bäume zu etablieren. Die dort bereits vorhandenen Bäume gilt es dauerhaft zu sichern.

Das Ergebnis aus dem Gebiet Frohnhausen zeigt, dass ein Handlungsdruck besteht, der durch Ela sichtbar wurde. Vor dem Hintergrund des Klimawandels besteht die Notwendigkeit das Thema Stadtbaum mit seinen klimaregulierenden und gesundheitlichen Wirkungen in alle planenden und bauenden Fachbereiche der Stadtverwaltung zu integrieren.



### Vergleichsanalyse der Ökosystemleistungen von Bäumen vor/nach Ela im Modellgebiet Frohnhausen

#### Klimaanalyse - Nachtsituation 4 Uhr morgens

Thermisch belastete Siedlungsräume

- Siedlung: schwache nächtliche Überwärmung
- Siedlung: mäßige nächtliche Überwärmung
- Siedlung: starke nächtliche Überwärmung

Klimaregulierende Grün- u. Freiflächen

- Grünflächen: Kaltluftvolumenstrom mittel
- Grünflächen: Kaltluftvolumenstrom gering

- Beschirmungsflächen der städtischen Bäume
- Beschirmungsflächen der privaten Bäume (nicht Bestandteil der Analyse)

#### Vergleichsanalyse vor/nach Ela (1024 analysierte Bäume)

- Bäume mit starkem Schaden durch Ela (122)
- Bäume mit leichtem Schaden durch Ela (217)
- Ersatzlose Verluste durch Ela (60)
- Ersatzpflanzungen von Ela-Schadtbäumen (60)
- Städtische Bäume ohne Schaden durch Ela = 565

Gesamtbeschirmungsfläche (private & städtische Bäume): 19,6 % (Stand 2014 vor Ela)

#### Vergleichsanalyse der städtischen Bäume vor/nach Ela (2014/2019):

Anzahl analysierte Bäume: 1024

- Verlust an Bäumen im Vergleich zu 2014 (vor Ela): -5,8 %
- Verlust an Beschirmungsfläche im Vergleich zu 2014 (vor Ela): -6,5 %
- Verlust an gespeichertem CO<sub>2</sub>: -8,9%
- Verlust der jährlichen CO<sub>2</sub>-Sequestrierung: -19,4 %
- Verlust an jährlicher Filterleistung für Luftschadstoffe und Feinstaub: -10,3 %

#### BMU Forschungsprojekt BaumAdapt

Optimierung stadtwweiter Ökosystemdienstleistungen urbaner Baumbestände im Einklang mit der Resilienz kritischer Infrastrukturen im Fokus sommerlicher Starkwinderisikis und Klimaanpassung



Abb. 1: Vergleichsanalyse der Ökosystemleistungen vor/nach Ela im Modellgebiet Frohnhausen (Julia Dingendahl, 2020)

## 1.1 Einstieg in den Leitfaden



### Ziel des Leitfadens

Ela hat die Schwachstellen des Baummanagements der Stadt Essen aufgezeigt. Durch eine rückwirkende Betrachtung und Analyse der Ereignisse im Juni 2014 lassen sich wichtige Erkenntnisse und Handlungsempfehlungen ableiten, die sicherstellen, dass ein Klimawandelangepasster und vitaler Baumbestand in Essen entstehen kann, indem das Thema Stadtbaum in die Arbeit der planenden und bauenden Fachbereiche integriert wird.

Der vorliegende Leitfaden hat das Ziel, konkrete Handlungsempfehlungen, bestehend aus Planungs-, Unterhaltungs- und Entwicklungsempfehlungen für das Stadtbaummanagement zu geben. Die Empfehlungen sollen helfen, den Schutz von kritischen Infrastrukturen bei einem Schadereignis zu gewährleisten, ohne dabei die Ökosystemleistungen der Bäume zu schwächen. In Verbindung mit den Instrumenten des räumlich-zeitlich skalierbaren Monitoring können so auch bei Wiederholungsereignissen und fortschreitendem Klimawandel die Stadtverwaltung, Versorgungsunternehmen und Verkehrsbetriebe in die Lage versetzt werden, die Leistungen des Stadtbaumbestandes auf den Stand vor Ela wiederherzustellen bzw. zu verbessern und so einen Beitrag zu einer resilienteren Stadt im Klimawandel zu leisten.

Der Leitfaden versteht sich als Werkzeugkiste für alle, die als Fachplaner\*innen und Treuhänder\*innen der Bürgerschaft auf der einen Seite der Sicherung der kritischen Infrastrukturen und auf der anderen Seite der Vitalität und Leistungsfähigkeit urbaner Baumbestände zur Abmilderung der Folgen des Klimawandels verpflichtet sind und direkten und indirekten Einfluss auf den Schutz und die Entwicklung ihres vielfältigen Lebensraumes haben. Er richtet sich damit an Grünplaner\*innen, Stadtplaner\*innen, Objektplaner\*innen, Baumpfleger\*innen und Entscheidungsträger\*innen der öffentlichen Verwaltung, sowie an Infrastrukturträger. Die Methoden und Empfehlungen sind auch auf andere Kommunen übertragbar.

### Aufbau des Leitfadens

Der Leitfaden beschreibt die Vorgehensweisen der Analysen im Projekt BaumAdapt. Die daraus abgeleiteten Handlungsempfehlungen basieren neben den Analyseergebnissen auf aktuellen gesetzlichen und satzungrechtlichen Vorgaben, technischen Regelwerken, wissenschaftlichen Erkenntnissen der Vegetationstechnik und den Erfahrungen der Mitarbeitenden der Stadt Essen.

Im ersten Teil werden die allgemeingültigen Grundlagen, die für das Stadtbaummanagement essentiell sind, erläutert. Dazu zählt die Bedeutung von kritischen Infrastrukturen für eine Stadt allgemein sowie die im Projekt durchgeführte Kritikalitätsanalyse. Die wichtigsten rechtlichen und fachlichen Rahmenbedingungen sind in Kapitel 3 zusammengestellt. Im zweiten Teil finden sich, untergliedert nach Handlungsfeldern, alle Empfehlungen für das Stadtbaummanagement. Der dritte Teil thematisiert den Bereich des Monitorings. Ein indikatorenbasiertes Monitoring der Prozesse und Entwicklungen im Stadtbaumbestand zur Unterstützung des Qualitätsmanagements ist aufgrund der rasanten Entwicklung des Klimawandels erforderlich. Alle Empfehlungen dazu sind in Kapitel 5 dargestellt. Der vierte Teil des Leitfadens widmet sich dem Themenbereich der Kommunikation und Partizipation, die wichtige Themen im Projekt BaumAdapt waren und einen entscheidenden Anteil am Gelingen der interdisziplinären thematischen Integration des Themas in die verschiedenen Fachbereiche haben. Erfahrungen und Empfehlungen dazu sind in Kapitel 6 festgehalten.

Das Kapitel 7 gibt einen Ausblick auf zukünftige Projekte und Maßnahmen zum Thema Stadtbaum der Stadt Essen.

Verwendete und weiterführende Literatur zu den behandelten Themen ist im Literaturverzeichnis am Ende des Leitfadens aufgeführt.

Der Leitfaden richtet sich an unterschiedliche Akteure. Für die jeweilige Zielgruppe relevante Empfehlungen lassen sich schnell über die farbliche Markierung im Inhaltsverzeichnis und unter den Kapitelüberschriften erkennen:

 Grünplanung/Baumpflege

 Stadtplanung/Stadtentwicklung

 Hoch-/Tiefbau

 Krit. Infrastruktur/Katastrophenschutz

## 1.2 Einführung in die Methodik



Die Empfehlungen dieses Leitfadens leiten sich aus den Ergebnissen des Projekts BaumAdapt ab. Die Methodik orientiert sich dabei an den im Projekt definierten Arbeitspaketen.

Grundlage für die meisten Analysen im Projekt bilden fünf Modellgebiete. Diese wurden bei einem Workshop zu Beginn des Projekts von Beteiligten aus den Bereichen Grünbewirtschaftung, kritische und soziale Infrastruktur, Katastrophenschutz, Zivilgesellschaft und Vorsorgeplanung ausgewählt, die mit ihrem Fachwissen Gebiete lokalisiert haben, die sich durch ihre verkehrstechnische Relevanz und ein hohes Kritikalitätsniveau auszeichnen. Festgelegt wurden die fünf Modellgebiete Altenessener Straße, Ruhrquerung, Elisabeth-Krankenhaus, Universitätsklinikum und Frohnhausen (Abb.2).

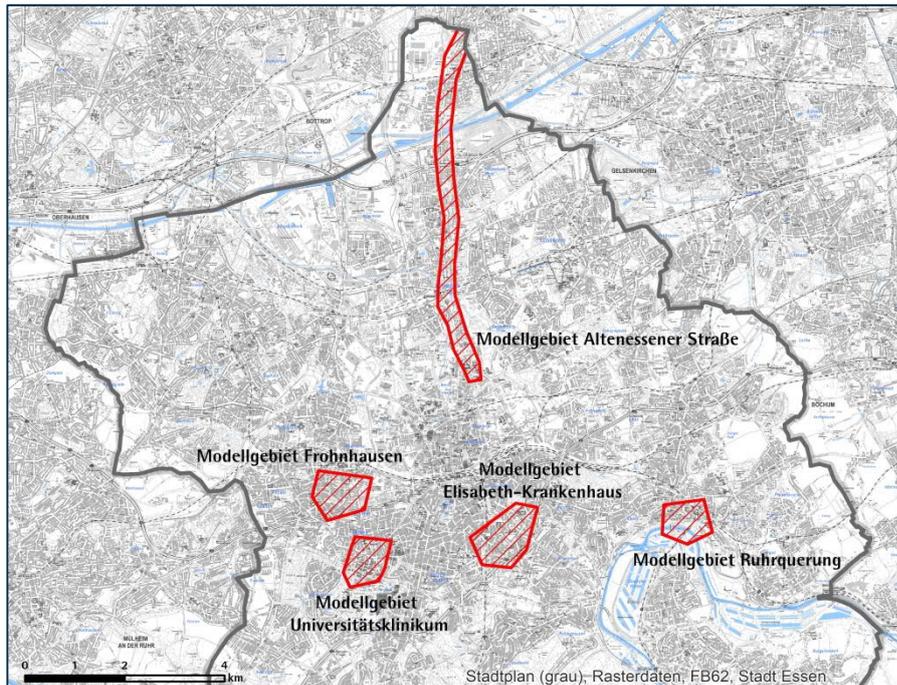


Abb. 2 Lage der im Projekt untersuchten Modellgebiete (Julia Dingendahl, 2020)

In allen Gebieten, bis auf das Gebiet Ruhrquerung, wurden baumfachliche Kartierungen durchgeführt, bei denen alle städtischen Bäume in den Gebieten aufgenommen wurden.

Im Arbeitspaket 2 wurden zunächst mit ArcGIS auf Basis von Laserscandaten, dem digitalen Oberflächenmodell und dem digitalen Geländemodell Baumpunkte und Beschirmungsflächen aller Bäume auf dem Stadtgebiet von Essen identifiziert. Die ausführliche Methodik dazu findet sich in Kap. 5.2. Die kartierten Bäume aus den vier Modellgebieten wurden genutzt, um mit Hilfe der Software iTree die Ökosystemleistungen der Bäume zu bestimmen. Die zuvor analysierten Beschirmungsflächen konnten für eine Hochrechnung der Ergebnisse auf das Stadtgebiet genutzt werden. Die Beschreibung der Methodik findet sich in Kap. 5.3.1. Die Daten zu den Beschirmungsflächen, die baumfachliche Kartierung und die Daten aus der stadteigenen Datenbank für Neupflanzungen und Schadbäume flossen in eine Vergleichsanalyse ein, die Aufschluss über die Veränderungen der Ökosystemleistungen des städtischen Baumbestands und des Waldes vor und nach dem Ela-Ereignis gab.

Im Arbeitspaket 3 wurde die Kritikalität von Infrastrukturen untersucht. Dazu wurde eine Kritikalitätsanalyse für fünf Modellgebiete durchgeführt, die Aufschluss über besonders relevante Streckenabschnitte im Verkehrsnetz dieser Gebiete gibt. Die Methodik dazu ist in Kap. 2.1 zu finden.

Auf Basis der kartierten Bäume in den Modellgebieten wurde im Arbeitspaket 4 eine Strömungssimulation des Ela-Ereignisses durchgeführt. Die Simulation wurde zudem mit einem optimierten Baumbestand durchgeführt und verglichen (Kap. 2.2). Während des Projekts erarbeitete Ergebnisse wurden anhand von Pilotprojekten getestet und in Umsetzung gebracht.

Die Empfehlungen dieses Leitfadens basieren auf folgenden im Projekt durchgeführten bzw. erarbeiteten Punkten:

- Vorergebnisse aus dem EU-Verbundpartnerprojekt WindRISK (TU Dortmund mit Stadt Essen und Stadt Mülheim)
- Modellierung von Ökosystemleistungen für den städtischen Baumbestand
- Schadensanalysen vor/nach Ela für den urbanen Wald- und Stadtbaumbestand
- Kritikalitätsanalyse der Verkehrsinfrastruktur
- Ela-Strömungsschadenssimulation für die feldbasierten Stichproben des Baumbestandes
- Strömungssimulation in den Untersuchungsgebieten für Resilienz optimierte Stadtbaumbestände
- Entwicklung von räumlich-zeitlich beliebig skalierbaren Monitoringinstrumenten
- aktuellen gesetzlichen und satzungsrechtlichen Vorgaben, technischen Regelwerken, den wissenschaftlichen Erkenntnissen der Vegetationstechnik
- Austausch innerhalb der Verwaltung sowie mit verschiedensten externen Akteur\*innen und der Bevölkerung bei Besprechungen, Workshops und Stadtspaziergängen
- Erfahrungen der Mitarbeitenden der Stadt Essen

# Grundlagen

---

Die zwei nachfolgenden Kapitel erläutern die grundlegenden Voraussetzungen für das Verständnis des Themas Vereinbarkeit von leistungsfähigen Bäumen und dem Schutz von kritischen Infrastrukturen.

Zunächst stellen sich die Fragen:

Was ist kritische Infrastruktur?

Was ist Kritikalität?

Was ist systemische Vernetzung?

Und wie wurde die Kritikalität der Verkehrsinfrastruktur im Projekt untersucht?

Antworten darauf finden sich im Kapitel 2.

Die Basis für alle Empfehlungen zum Thema Stadtbaummanagement bilden die gesetzlichen Rahmenbedingungen sowie technische Regelwerke und die Vorgaben der jeweiligen Fachplanungen, die im Kapitel 3 beschrieben werden.

## 2 Kritische Infrastrukturen



Sturmfolgen haben dann schwerwiegende Auswirkungen, wenn die Bevölkerung in Mitleidenschaft gezogen wird: So hat beispielweise der Sturm Ela durch Baumwurf und Astbruch kritische Infrastrukturen beschädigt. Gleichzeitig ist aber die Gesellschaft in besonderem Maße von der Funktionsfähigkeit dieser Infrastrukturen abhängig, die als „die unverzichtbaren Lebensadern moderner, leistungsfähiger Gesellschaften“ gelten (Bundesministerium des Innern [BMI], 2009: 2). Das Bundesministerium des Innern definiert diese Lebensadern als „Organisationen und Einrichtungen mit wichtiger Bedeutung für das staatliche Gemeinwesen, bei deren Ausfall oder Beeinträchtigung nachhaltig wirkende Versorgungsengpässe, erhebliche Störungen der öffentlichen Sicherheit oder andere dramatische Folgen eintreten würden“ (BMI, 2009: 3). Die Verordnung zur Bestimmung kritischer Infrastrukturen nach dem BSI-Gesetz und die Nationale Strategie zum Schutz kritischer Infrastrukturen identifizieren eine Reihe von technischen Basisinfrastrukturen und sozioökonomischen Dienstleistungsinfrastrukturen (s. Tab. 1), welche für das Bundesgebiet als kritisch zu betrachten sind. Diese gehen weit über die von der EU Kommission identifizierten europäischen kritischen Infrastrukturen in den Energieversorgungs- und Verkehrssektoren hinaus.

Tab. 1: Kritische Infrastrukturen im deutschen Bundesgebiet (BMI, 2009: 5)

Technische Basisinfrastrukturen	Sozioökonomische Dienstleistungsinfrastrukturen
Energieversorgung	Gesundheitswesen, Ernährung
Informations- und Kommunikationstechnologie	Notfall- und Rettungswesen, Katastrophenschutz
Transport und Verkehr	Parlament, Regierung, öffentliche Verwaltung, Justizeinrichtungen
(Trink-)Wasserversorgung und Abwasserentsorgung	Finanz- und Versicherungswesen
	Medien und Kulturgüter

Diese Infrastrukturen können unter anderem durch Wetterextreme wie Starkregen oder Sturm gefährdet werden und somit negative Auswirkungen auf die Versorgung und Sicherheit der Bevölkerung haben. Auch hier sei noch einmal das Sturmtief Ela angeführt, das den Straßenverkehr in weiten Teilen Nordrhein-Westfalens über einen längeren Zeitraum beeinträchtigte: Der Essener Hauptbahnhof konnte aufgrund von Baumwurf und Astbruch über Tage nicht angefahren werden und für die Beseitigung von Blockierungen im Hauptstraßennetz der Stadt wurden fünf Tage benötigt. Jedoch bleibt es selten bei diesen direkten Folgen, denn eine Fahrbahnblockierung zieht weitere (in)direkte Folgen nach sich, da die verschiedenen Infrastruktursektoren untereinander zunehmend vernetzt und abhängig voneinander sind. Aufgrund der großen Abhängigkeit der Gesellschaft von den kritischen Infrastrukturen, wird genau die systemische Vernetzung zum Problem. Die Versorgung der Bevölkerung wird somit nicht nur durch äußere Einflüsse gefährdet, sondern auch zunehmend durch kaskadierende Effekte von Störungen und Unterbrechungen innerhalb des Systems der kritischen Infrastrukturen. So kann es dann auch zu Auswirkungen in gesellschaftlichen Teilbereichen kommen, die zuvor nicht direkt betroffen waren.

### Was ist Kritikalität?

Ein Konzept, das sich mit der Frage über die Relevanz einer Infrastruktur für die Gesellschaft auseinandersetzt, ist die Kritikalität. Diese ist ein „relatives Maß für die Bedeutsamkeit einer Infrastruktur in Bezug auf die Konsequenzen, die eine Störung oder ein Funktionsausfall für die Versorgungssicherheit der Gesellschaft mit wichtigen Gütern und Dienstleistungen hat“ (BMI, 2009: 5). Kritikalität ist eine Eigenschaft von Infrastrukturen, die nicht absolut ausgedrückt werden kann. Vielmehr ist sie immer auf den Betrachtungsraum zu beziehen und wird in diesem Kontext abgeschätzt. Der Grund dafür sind die unterschiedlichen Rahmenbedingungen, die einer Anlage, einem Netzabschnitt oder einem ganzen

Teilsektor, auf unterschiedlichen Betrachtungsebenen und an unterschiedlichen Orten eine andere Relevanz für die Gesellschaft beimessen. Ferner drückt die Definition zwei weitere wichtige Punkte für das Verständnis von Kritikalität aus: Das Konzept basiert auf Konsequenzen und ist defizitorientiert. Konsequenzen meint, dass die Funktionalität des Systems der kritischen Infrastrukturen ein Produkt aus der Funktionalität aller seiner Komponenten ist. Je kritischer einer dieser Komponenten ist, beispielsweise ein Elektrizitätswerk oder ein bestimmter Knotenpunkt im Verkehrsnetz, desto stärker sind die Auswirkungen auf das System und die Gesellschaft bei einer Funktionsbeeinträchtigung. Diese Auswirkungen gehen zweitens mit einer Defizitorientierung einher, die ihrerseits den Zusammenhang zwischen Infrastrukturen und der Vulnerabilität der Bevölkerung ausdrückt. Denn bei einer solchen Herangehensweise an die Kritikalitätsanalyse wird die Frage gestellt: Was passiert, wenn eine bestimmte Anlage ausfällt? Was sind die Folgen, wenn aus diesem Grund bestimmte Dienstleistungen nicht mehr erbracht werden können? So werden Schwachstellen aufgezeigt, die im Schadensfall besonders schwerwiegende Auswirkungen auf die Gesellschaft haben. Aufgrund dieses Wissens lassen sich Maßnahmen priorisieren, die der Bevölkerung bei Infrastrukturstörungen helfen oder präventiv die Wahrscheinlichkeit von Ausfällen und Störungen reduzieren.

### Systemische Folgen von Infrastrukturstörungen

Sind die Schwachstellen nicht bekannt, kann es zu weitreichenden direkten und indirekten Folgen einer Infrastrukturstörung kommen, so dass man von einer Kettenreaktion nachfolgender Ausfälle oder Beeinträchtigungen sprechen kann. Diese Kettenreaktionen sind nicht nur wahrscheinlich, sondern zwingend aufgrund der zunehmenden Vernetzung und Abhängigkeit von verschiedenen Anlagen und Teilsektoren untereinander. In diesem Zusammenhang wird von systemischer Kritikalität gesprochen. Diese beschreibt die kritische Relevanz einer Infrastruktur aufgrund ihrer „strukturellen, funktionellen und technischen Positionierung im Gesamtsystem“ (BMI, 2009: 5) und berücksichtigt Interdependenzen und das Potenzial von Kaskadeneffekten.

#### 2.1 Simulation Kritikalitätsszenarien Verkehrsinfrastruktur



Das Ziel des im Folgenden beschriebenen Vorgehens ist die Analyse der systemischen Relevanz und somit der Kritikalität einzelner Netzabschnitte des städtischen Straßennetzes.

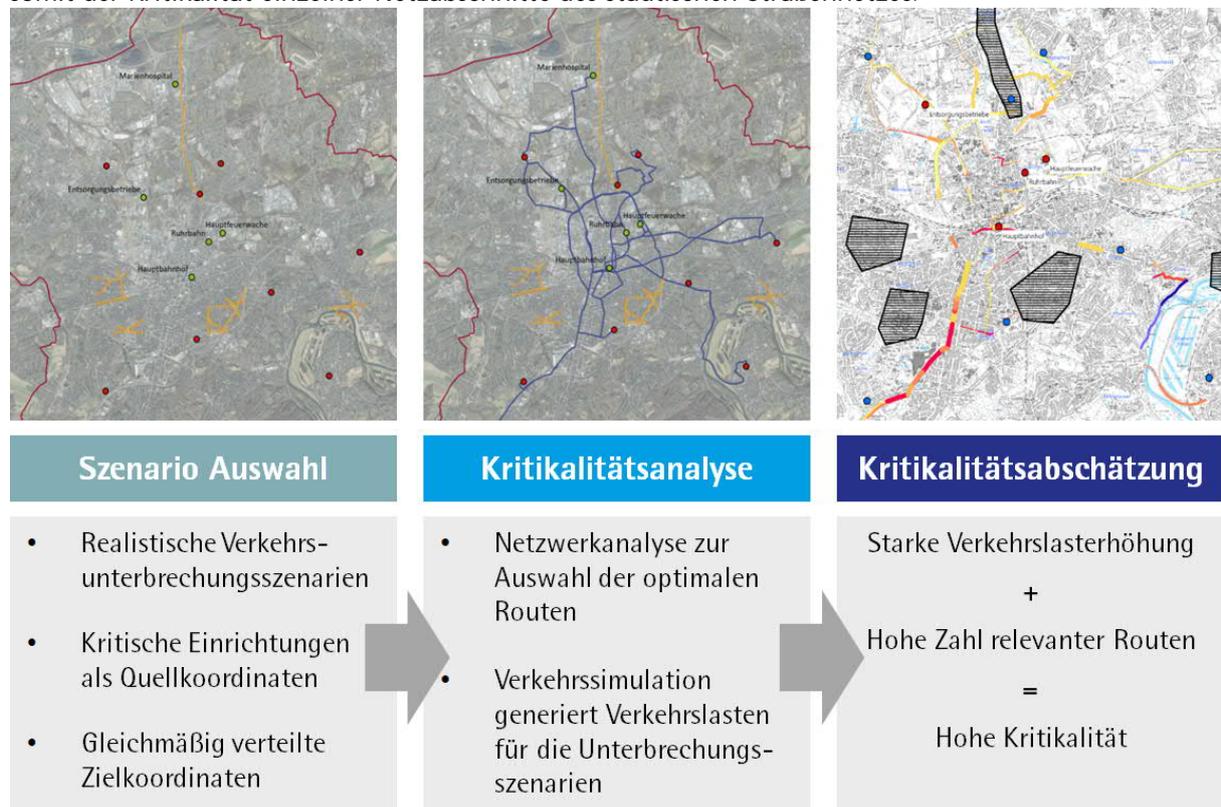


Abb. 3: Methodik zur Analyse der Kritikalität von Abschnitten des Verkehrsnetzes (Philip Kruse, 2020)

Dabei wird auf eine Untersuchung der Auswirkungen punktueller Verkehrsunterbrechungen auf die Erreichbarkeit kritischer Anlagen und Einrichtungen gesetzt: In einem mehrstufigen Verfahren wird die Veränderung der Verkehrslast auf einzelnen Streckenabschnitten, die zu Routen von Quell-Ziel-Beziehungen zwischen über das ganze Stadtgebiet verteilten Punkten und den Standorten kritischer Infrastrukturen, ermittelt. Folgende Annahme liegt den Überlegungen zu Grunde: Je mehr dieser Routen über einen Streckenabschnitt führen und je höher die Verkehrslaststeigerung ist, desto systemisch relevanter ist der Streckenabschnitt.

### Erhebung und Katalogisierung kritischer Infrastrukturen

Als ein erster Schritt müssen die anlagen- und netzgebundenen kritischen Infrastrukturen erhoben und katalogisiert werden. Ein Großteil der dafür benötigten Informationen liegt in Form von Geodaten vor, gleichwohl sind diese häufig über verschiedenste Quellen verteilt und finden sich nicht in einer zentralen Datenbank. Während bauliche Einzelanlagen in der Regel aus amtlichen Liegenschaftskatasterdaten extrahiert werden können, finden sich Geodaten der netzartigen Infrastrukturen meist in den Datenbanken der jeweiligen Betreiber. Ein Problem im Rahmen der Erhebung kritischer Infrastrukturen ist die Freigabe von Geodaten, da diese aus Sicherheitsgründen häufig unter Verschluss gehalten werden. Eine möglichst umfangreiche Katalogisierung und anschließende Darstellung der Anlagen und Netze ist allerdings für die Kritikalitätsanalyse von Bedeutung, da eine Übersicht der räumlichen Verteilung und Konzentration kritischer Infrastrukturen eine wichtige Vorarbeit für den zweiten Schritt dieses Vorgehens ist.

### Szenarioauswahl

Bei diesem Schritt handelt es sich um die Auswahl relevanter Anlagen und Einrichtungen, deren Erreichbarkeit analysiert werden soll, und die Festlegung realistischer Unterbrechungsszenarien. Da für diese Aufgabe das Fachwissen lokaler Beteiligter, beispielsweise Infrastrukturbetreiber, kommunale Betriebe und Entscheidungsträger\*innen über frühere Schadensereignisse und über die tägliche Beanspruchung von Infrastrukturen, insbesondere von Hauptverkehrsstraßen essenziell ist, bietet sich die Durchführung eines konsultativen Workshops an. Die Identifikation relevanter kritischer Infrastrukturen und Unterbrechungsszenarien sollte anhand von Karten geschehen. Die kartografische Vorarbeit aus dem vorhergehenden Erhebungsschritt kann die Auswahl visuell unterstützen. Als Ergebnis des Workshops sollten dann eine Reihe verschiedener Unterbrechungsszenarien und eine Zahl von kritischen Anlagen und Einrichtungen feststehen, die ein Teil der zu untersuchenden Quell-Ziel-Beziehungen darstellen. Die Zahl der Szenarien und Quell-Ziel-Beziehungen variiert und ist abhängig von dem für die Analyse veranschlagten zeitlichen Rahmen, denn je mehr Szenarien und Beziehungen untersucht werden, desto länger dauert die Auswertung der Simulationsergebnisse. Quell-Ziel-Beziehungen bestehen immer aus zwei Koordinaten, jedoch ist bisher mit den kritischen Infrastrukturen nur ein Punkt einer jeden Beziehung festgelegt. Um die Erreichbarkeit aus dem gesamten Stadtgebiet zu berücksichtigen, sollten die Punkte für die zweite Koordinate möglichst gut über die Stadt verteilt sein. Dies kann beispielsweise dadurch gewährleistet werden, dass hierfür der jeweils bevölkerungsstärkste Baublock eines jeden Stadtbezirks oder Stadtteils verwendet wird.

### Kritikalitätsanalyse

Sobald die Unterbrechungsszenarien und Quell-Ziel-Beziehungen feststehen, kann im dritten Schritt die Netzwerkanalyse in einem Geoinformationssystem folgen, mit dem Ziel, die optimalen Routen zwischen Quell- und Zielpunkt zu finden. Da sich diese Routen in den verschiedenen Szenarien unterscheiden können, muss die Analyse für jedes Unterbrechungsszenario durchgeführt werden und zusätzlich auch für ein nicht unterbrochenes Straßennetz. Die aus den Netzwerkanalysen resultierenden Routen werden für die Auswertung der Kritikalitätsanalyse benötigt.

### Ermittlung und Modellierung der Verkehrslast

Der vierte Arbeitsschritt ist die Ermittlung der Verkehrslast auf einzelnen Streckenabschnitten des Straßennetzes mit Hilfe eines Verkehrsmodells. Ein Verkehrsmodell simuliert die Verteilung von Verkehr in einem Straßennetz zwischen verschiedenen Zellen, welchen Informationen über Einwohner\*innen, Beschäftigte, Schüler\*innen, Freizeiteinrichtungen, Hotelbetten, usw. hinterlegt sind. Von

diesen Zahlen ist die Gravitation der Zellen abhängig. Sie bestimmen also, wie viel Verkehr angezogen und freigesetzt wird. In dieses Modell werden nun nacheinander die einzelnen Unterbrechungsszenarien eingearbeitet und simuliert. Wichtig ist zudem auch das nicht unterbrochene Straßennetz zu simulieren.

#### Abschnittsbezogene Auswertung der Kritikalität

Nun folgt im fünften Schritt die Auswertung und somit die Ermittlung der Kritikalität einzelner Streckenabschnitte innerhalb der für die Quell-Ziel-Beziehungen relevanten Routen. Dazu sollte eine Auswertungsmatrix angelegt werden, in der die Informationen in Zeilen und nicht in Spalten angeordnet werden. Für jede Quell-Ziel-Beziehung in jedem Szenario sind dabei mindestens die folgenden Zeilen notwendig:

Streckenummer

- Von Knotenpunkt ID
- Nach Knotenpunkt ID
- Von-Nach Knotenpunkt ID
- Verkehrslast
- Verkehrslastveränderung

Zunächst müssen die Nummern der Strecken herausgesucht werden, die eine Route bilden, sowie die Nummern der Knotenpunkte. Wichtig ist, dass letztere richtungsscharf in die Matrix eingetragen werden. Die Streckenummern sind notwendig, um die Auswertungsergebnisse später mit einer Shape-Datei des Straßennetzes zu verbinden und im Geoinformationssystem zu visualisieren. Durch das Erstellen einer ID, die den Verkehrsfluss auf einer Strecke zwischen zwei Knotenpunkten richtungsscharf darstellt und die sowohl in die Auswertungsmatrix als auch in die Exporttabelle der Verkehrssimulation eingefügt wird, kann die Verkehrslast automatisiert den einzelnen Strecken zugeordnet werden. Sobald die Verkehrslast der einzelnen Strecken innerhalb eines Szenarios übertragen worden ist, kann die Veränderung der Verkehrslast ermittelt werden, indem die Differenz zum nicht unterbrochenen Straßennetz berechnet wird.

#### Kritikalitätsabschätzung

Die weitere Auswertung lässt sich nicht sonderlich automatisieren und ist daher zeitintensiv. Der Annahme folgend, dass ein Streckenabschnitt kritischer beziehungsweise systemisch relevanter ist, je höher die Steigerung der Verkehrslast ist und je größer die Zahl der darüber verlaufenden Routen ist, muss ermittelt werden, für wie viele Routen eine jede Strecke relevant ist. Anschließend können die Informationen über die Verkehrslaststeigerung und Routenanzahl in die Attributtabelle einer Shape-Datei übertragen werden, um das dem Verkehrsmodell hinterlegte Straßennetz grafisch vereint zu visualisieren. Eine solche Shape-Datei sollte aus der Verkehrsmodellierungssoftware exportiert werden können. Durch die kartographische Darstellung der einzelnen Szenarien lassen sich dann einfache Aussagen zur systemischen Relevanz einzelner Netzabschnitte treffen, die verwendet werden können, um präventive Maßnahmen zu treffen und zu priorisieren. So kann verhindert werden, dass während eines Sturms der Verkehr zusammenbricht und die Erreichbarkeit kritischer Infrastrukturen behindert wird. Dabei steigt die Validität der Aussagen mit der Anzahl der Szenarien, die für einzelne Strecken eine starke Verkehrslaststeigerung für eine Vielzahl von Quell-Ziel-Beziehungen aufzeigen. Somit steigt die Validität auch mit der Anzahl von Quell-Ziel-Beziehungen und Unterbrechungsszenarien, die modelliert und simuliert werden.

## 2.2 Simulation Sturmgefährdung von Bäumen



Die Bewertung des Risikos „Sturmgefährdung von Bäumen“ durch Stammbruch, Astabwurf oder Entwurzelung wird in städtischen Gebieten vor allem durch zwei Einflussbereiche definiert: dem Standorteinfluss und der Biomechanik der einzelnen Bäume.

Der Standorteinfluss umfasst hierbei vor allem die Veränderung des Windfeldes hinsichtlich der Windgeschwindigkeit, der Windrichtung und der Turbulenzintensität unter dem Einfluss der städtischen Bebauungsstruktur. Hier kommt es durch strömungsmechanische Prozesse sowohl zu Zonen mit stark verringerter Windgeschwindigkeit, durch Düsenwirkungen jedoch ebenso zu lokal stark erhöhten Windgeschwindigkeiten. Das gleiche Sturmereignis kann sich daher auf wenigen 100 Metern Distanz im Stadtraum lokal völlig unterschiedlich darstellen.

Neben diesem unmittelbaren Effekt der Stadt auf den Baum kommen weitere Faktoren hinzu, die längerfristig das Baumwachstum und die Baumgesundheit beeinflussen. Hierbei ist das lokale Mikroklima (Temperaturamplituden, Minimal- und Maximaltemperaturen, Besonnung oder Wasserverfügbarkeit) von großer Bedeutung, da sich hierdurch der Wuchs und die Vitalität des Baumes abschätzen lassen.



Abb. 4: Platanen im Bereich des Elisabeth-Krankenhauses (Foto: Norbert Bösken, Stadt Essen)

Ob und wie stark ein einzelner Baum durch die standortbezogenen Windkräfte beschädigt wird, hängt im Wesentlichen von der Biomechanik des Baums ab.

Durch das Windereignis werden über das Astwerk sowie die Blätter Kräfte auf das Baumskelett übertragen und in diesem über die verbundenen Äste weitergeleitet und aufsummiert. Wie groß die hierbei auftretenden Kräfte und Drehmomente werden können, hängt vor allem von der Kronenstruktur des Baumes ab. Zu einem gewissen Grad kann der Baum die auftretenden Drehmomente ausgleichen, indem er die Äste mit dem Wind verbiegt und so die auftretenden kinetischen Kräfte temporär in plastische Verformungskräfte umwandelt. Überschreiten die auftretenden Windkräfte die Flexibilität der Äste, kommt es zu Schädigungen der Fasern und im weiteren Verlauf zu Brüchen an den schwächeren Astanbindungen oder an den Ästen und Stämmen selber.

### Mikroskalige Simulation mit ENVI-met TreePass

Im Rahmen des Projekts BaumAdapt wurde das Analysesystem ENVI-met TreePass erheblich weiterentwickelt und auf die Anwendung in einem Realfall überprüft.

ENVI-met TreePass ist ein zweistufiges Simulationssystem, das die Berechnung des Mikroklimas sowie der Baummechanik in sehr hoher Auflösung in quasi beliebigen Bebauungs- und Umweltsituationen ermöglicht.

Die erste Stufe besteht hierbei aus dem etablierten Mikroklimamodell ENVI-met ([www.envi-met.com](http://www.envi-met.com)), welches -analog zu den oben angeführten zwei Einflussbereichen - den Standorteinfluss durch die Stadtstruktur berechnet.

Hierdurch lassen sich das dreidimensionale Windfeld sowie das Mikroklima im Untersuchungsgebiet mit einer Auflösung von wenigen Metern und wenigen Sekunden simulieren.

Abbildung 5 zeigt exemplarische die von ENVI-met simulierte relative Windgeschwindigkeit am 9. Juni 2014 um 20:00 Uhr. Grüne Bereiche zeigen Zonen, in denen die Windgeschwindigkeit verglichen zum Freiland deutlich reduziert ist während rote Bereiche auf eine Verstärkung der ohnehin hohen Windgeschwindigkeiten hinweisen.

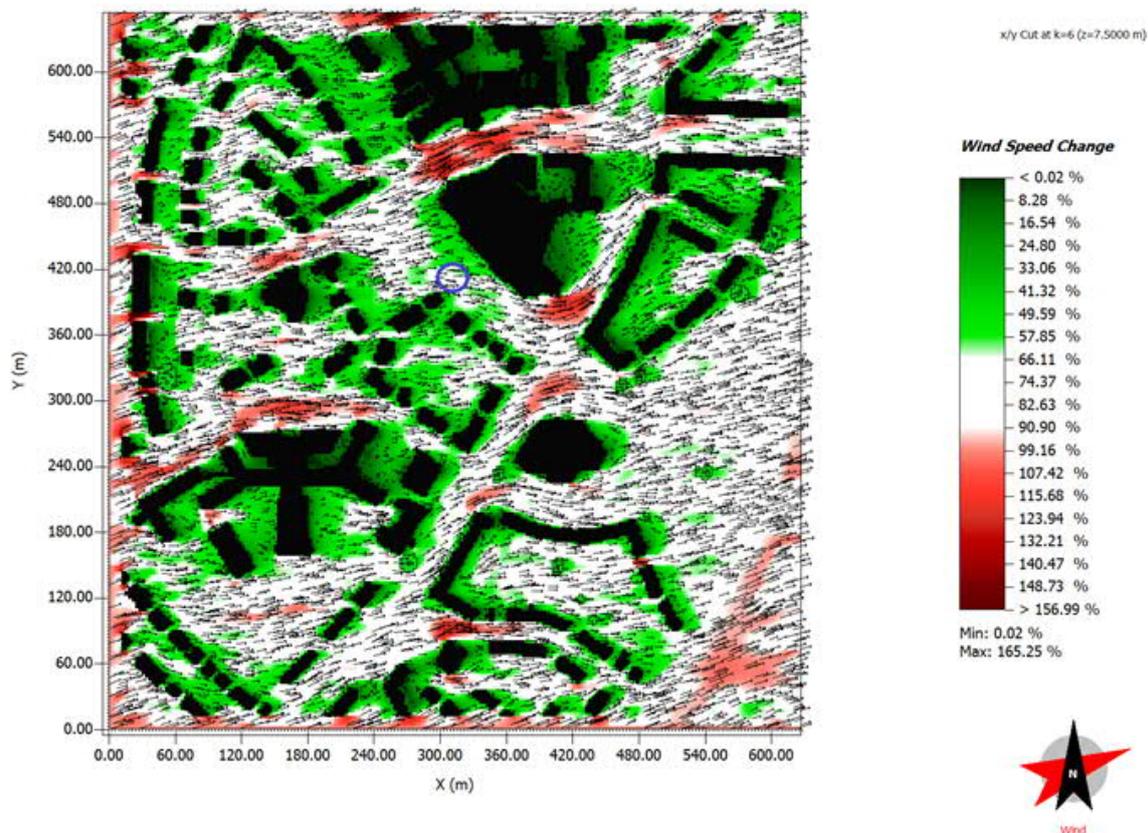


Abb. 5: Relative Windgeschwindigkeit im Bereich des Elisabeth-Krankenhauses am 9.6.2014 um 20:00 Uhr (Michael Bruse, 2020)

Neben den absoluten Windgeschwindigkeiten werden zur Vorbereitung der TreePass Simulationen zudem normierte Windverteilungen vorberechnet, die es erlauben, in der zweiten Stufe beliebige Windrichtungen und -geschwindigkeiten zu analysieren, ohne eine komplette zeitaufwändige mikroskalige Simulation erneut durchführen zu müssen.

Zur Simulation der Biomechanik der einzelnen Bäume war es notwendig, ein neues Baummodell für ENVI-met zu entwickeln, welches nicht nur die Verteilung von Blattflächen definiert, sondern auch das zugrundeliegende Baumskelett mit allen notwendigen physikalischen Parametern. Da Baumskelette schon bei niedrigen Bäumen eine hohe Komplexität aufweisen können, kann die Erzeugung solcher Bäume nur über parametrische Algorithmen erfolgen. Für ENVI-met wurden hierfür die sogenannten L-Systeme ausgewählt, die es ermöglichen einerseits komplexe und realistische, auf der anderen Seite topologisch korrekte Bäume zu erzeugen (siehe auch Simon, Sinsel und Bruse, 2020).

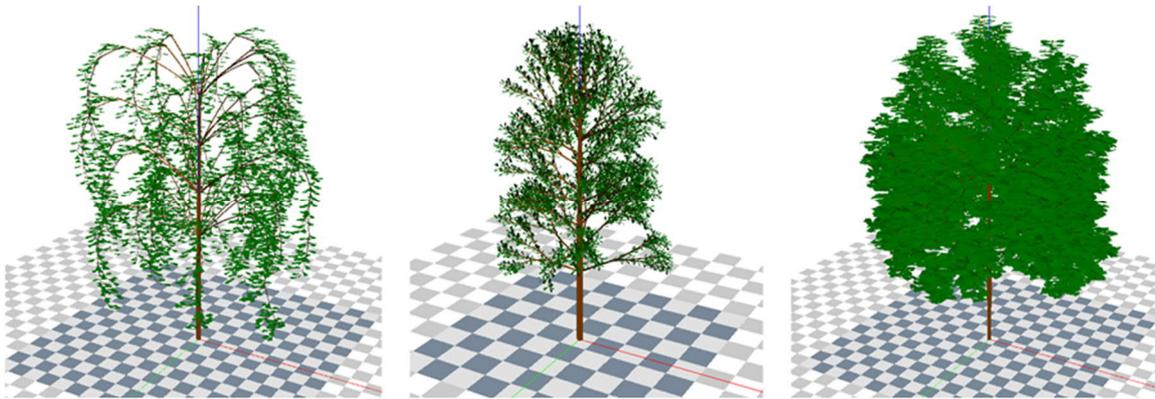


Abb. 6: Beispiele für L-System basierte Bäume in ENVI-met: Gelbbirke (*Betula alba*) (links), Eberesche (*Sorbus aucuparia*) (mittig), Feldahorn (*Acer campestre*) (rechts) mit zugrundeliegendem Skelett und Blättern (Michael Bruse, 2020)

Abbildung 6 zeigt exemplarisch drei typische L-System basierte Bäume. Durch unterschiedliche Editoren können dem Modell jederzeit neue Bäume hinzugefügt werden. Die so definierten L-Bäume können einzelne oder alle Bäume in der ENVI-met Simulation ersetzen und ermöglichen die hochauflösende TreePass Simulation im Anschluss an die eigentliche Mikroklima-simulation.

Abbildung 7 zeigt das Simulationsgebiet um das Elisabeth Krankenhaus mit 218 L-Bäumen und 1380 Standardbäumen. Beide Typen gehen in die ENVI-met Simulation ein, aber nur mit den L-basierten Bäumen ist eine nachfolgende TreePass Analyse möglich.

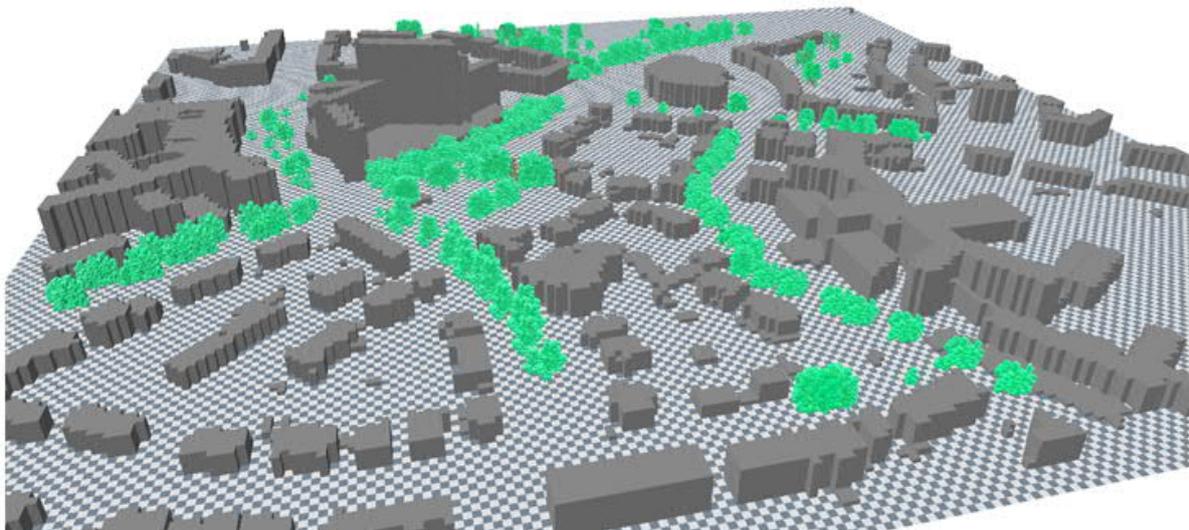


Abb. 7: Simulationsgebiet mit 218 L-Bäumen und 1380 Standardbäumen (nicht dargestellt) (Michael Bruse, 2020)

Die detaillierte TreePass Analyse kann auf zwei Arten durchgeführt werden: Eine generelle Standortanalyse, in der alle Windrichtungen und ein vorgegebener Bereich von Windgeschwindigkeiten statisch durchgerechnet wird, und eine dynamische Analyse, in der ein spezielles Witterungsereignis als Sequenz von Windrichtungen und Windgeschwindigkeiten analysiert wird.

In der dynamischen Analyse kann die instationäre Baumdynamik berücksichtigt werden, wie beispielsweise das Schwingverhalten von Bäumen oder der „Überschießen“ des eigentlichen Kräftegleichgewichts durch die Massenträgheit des Astwerks, wodurch sich temporäre Belastungen ergeben können, die über den eigentlich vorliegenden kinetischen Kräften liegen.

Bei der generellen Standortanalyse hingegen wird von einer Balance zwischen Windkräften und der Verformung des Baumes ausgegangen, wobei jene Segmente entfernt werden, deren Stabilität für eine solche Verformung nicht ausreicht.

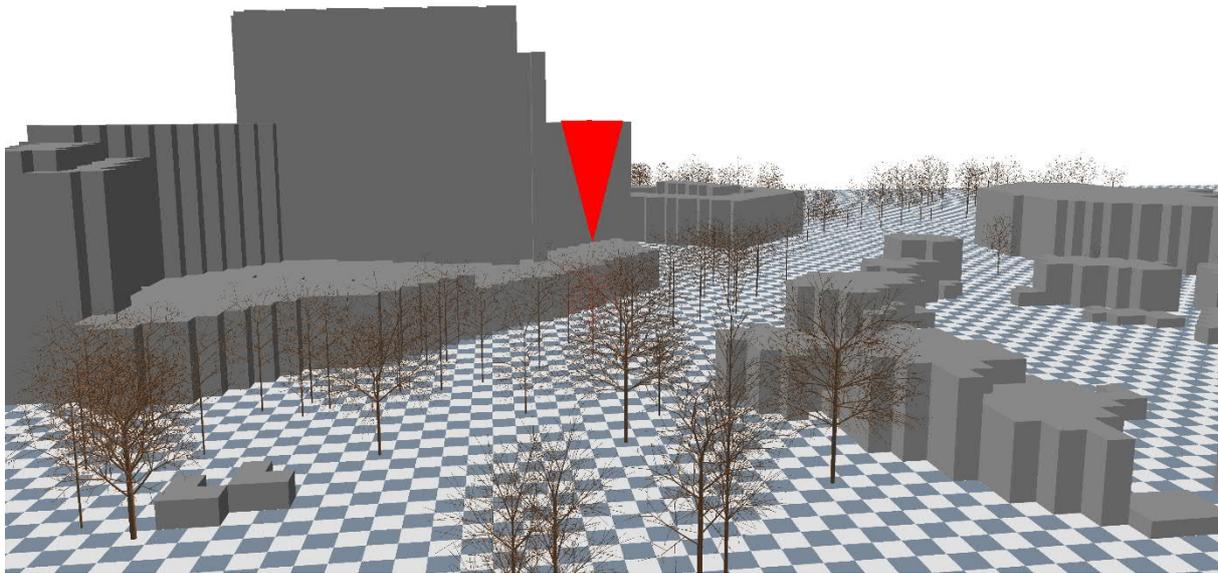


Abb. 8: Ausgewählter Beispielbaum "Ahornblättrige Platane (Reifephase)" vor dem Krankenhaus (Michael Bruse, 2020)

Beispielhaft soll eine solche generelle Analyse für den in Abbildung 4 (Fotomitte), Abbildung 5 (blauer Kreis) und Abbildung 8 (rote Markierung) hervorgehobenen Baum, eine 20 Meter hohe Ahornblättrige Platane, gezeigt werden. In Abbildung 9 ist zunächst die generelle Windsituation am Standort dargestellt. Rote Farben im Diagramm zeigen hohe Windgeschwindigkeiten, grüne und blaue eher niedrige Geschwindigkeiten verglichen zur Freilandwindgeschwindigkeit an. Das Diagramm zeigt dabei jeweils die verschiedenen Windrichtungen in den verschiedenen Höhen des Baums, wobei der Baumwipfel (20 m) im Zentrum liegt.

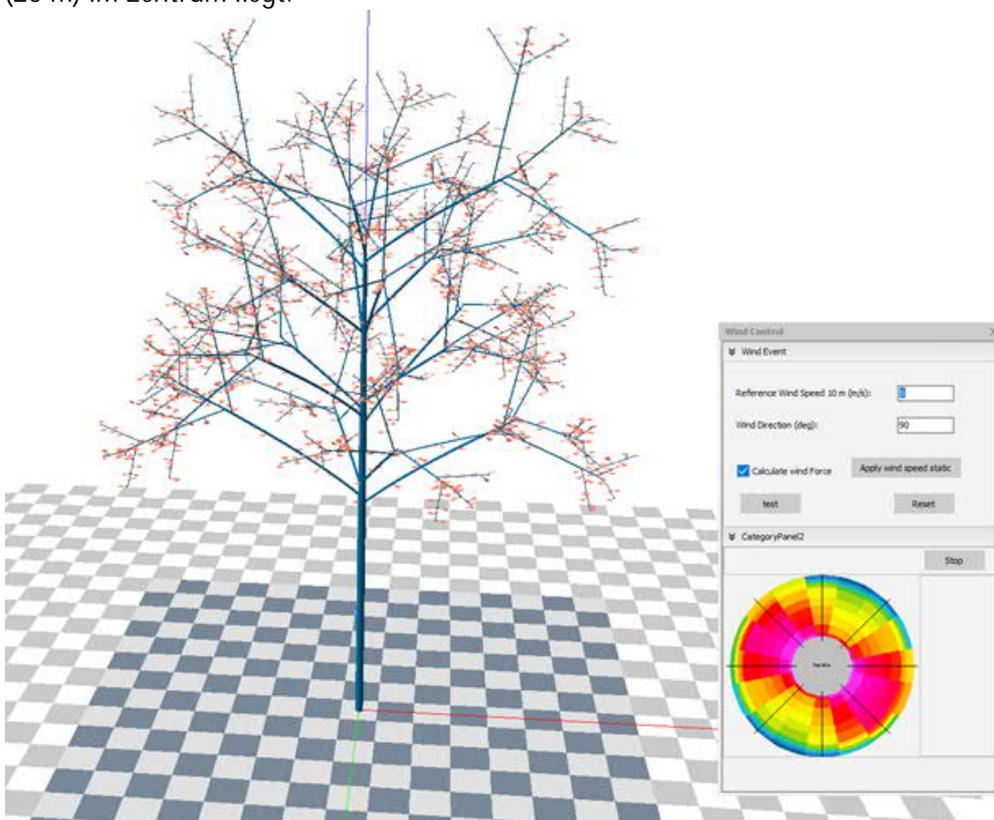


Abb. 9: Generelle Windsituation am Standort (Michael Bruse, 2020)

Analog zu den in Abbildung 5 gezeigten Windfeldern erkennt man gut, dass an diesem Standort vor allem die nordwestlichen sowie die südöstlichen Windrichtungen zu höheren Windgeschwindigkeiten durch Kanalisierungen am Baumstandort führen.

Bei der generellen Standortanalyse werden nun alle Windgeschwindigkeiten und Windrichtungen für den Baum am gewählten Standort durchgespielt und die Reaktion des Baumes analysiert.

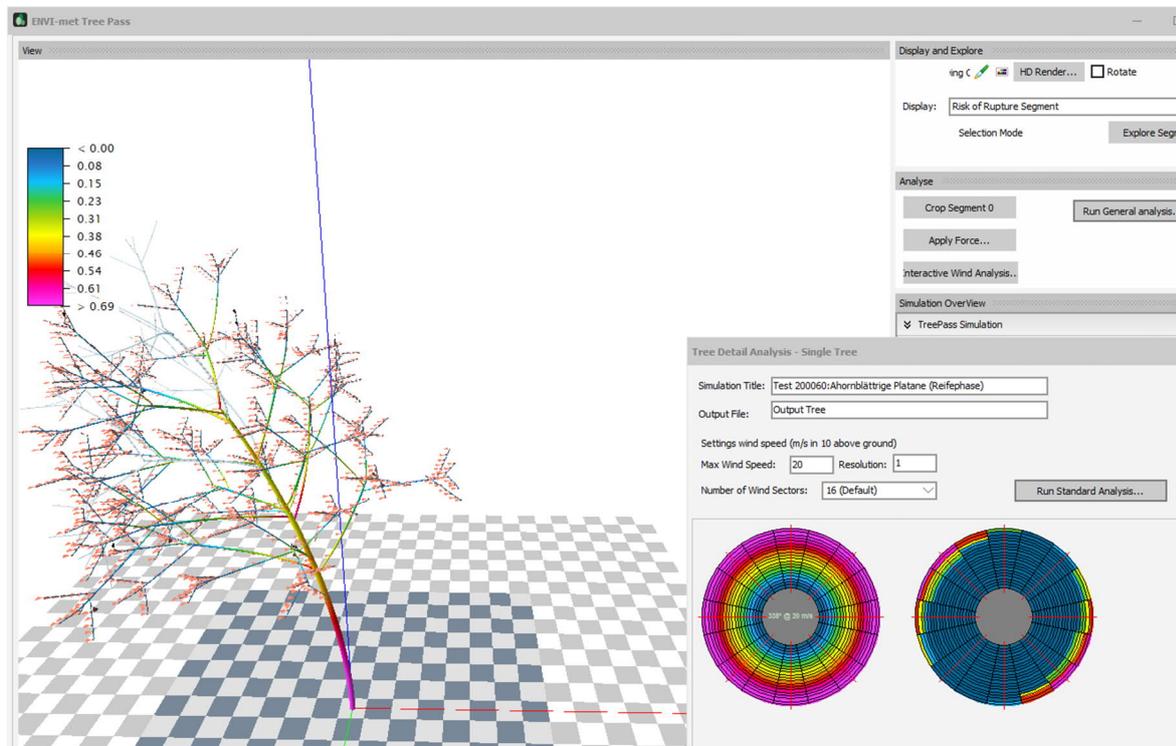


Abb. 10: Generelle Standortanalyse des Baums nach dem Ende der Berechnungen. Die Färbung der Baumsegmente entspricht hier dem „Bruchrisiko“ definiert als Quotient zwischen aktuell auftretendem Drehmoment und der maximal verfügbaren Stabilität (1 = 100 % Bruchwahrscheinlichkeit) (Michael Bruse, 2020)

Abbildung 10 zeigt die entsprechende Softwareoberfläche nach Abschluss der Berechnung für Windgeschwindigkeiten von 1 m/s bis 20 m/s. Die dargestellte Verformung des Baum skeletts entspricht hierbei dem Ergebnis der letzten Rechnung für einen Wind von 20 m/s aus Nord-Nord-Ost.

Das rechte Diagramm zeigt die Anzahl der abgebrochenen Baumteile (blau= keine) für die jeweilige Windrichtung und Stärke, wobei 1 m/s im inneren Ring der Grafik und 20 m/s auf dem Außenkreis dargestellt ist. Im dargestellten Fall verliert der Baum einzelne Segmente in den kritischen Windrichtungen, aber bricht nicht im Stamm. Verlorene Segmente sind in der Abbildung des Baum skeletts transparent angedeutet.

Auf der Basis dieser Berechnungen, die automatisiert für einzelne oder alle L-basierten Bäume durchgeführt werden können, lassen sich die unterschiedlichsten Informationen zu potentiellen Schäden ableiten und im Weiteren genauer nach einer Vielzahl von Parametern (Anzahl gebrochener Segmente, Masse verlorenes Holz, Größenverteilung der Bruchstücke, Ort des Bruchs etc.) analysieren und mögliche Korrekturmaßnahmen wie Pflegeschnitte ableiten.

Nach der Definition der Pflegemaßnahme kann das L-System sofort angepasst werden, z.B. kritische Äste können verkürzt oder entfernt werden, und die Simulation kann neu gestartet werden, um den Erfolg der Maßnahme zu überprüfen.

## 2.3 Kritikalität Baum-Gasleitung-Interaktionen



Bäume und Gasleitungen können in Wechselwirkung zueinander stehen. Nach heutigem Wissen betrifft dies in der Regel unsachgemäß im Wurzelbereich verlegte Gasleitungen vor 2013. Durch Zugschlingen, Hebelwirkungen oder Hineinwachsen können Baumwurzeln benachbarte Leitungen beschädigen.



Abb. 11: Zugschlinge einer Platane (Foto: Michael Hondts, Mönchengladbach)

Vor allem im dicht bebauten Innenstadtbereich kann es bei begrenztem Raumangebot im Untergrund zu unerwünschten Interaktionen zwischen Baumwurzeln und Gasleitungen kommen. Gasleitungen gehören zu den kritischen Infrastrukturen, die es im besonderen Maße zu schützen gilt. Beschädigungen an Gasleitungen können zu weitreichenden und sogar lebensbedrohlichen Folgen führen. Eine risikobehaftete Interaktion zwischen Baumwurzeln und Gasleitungen ist daher in jedem Fall zu vermeiden und möglicher Handlungsbedarf muss aufgedeckt werden.

Der Deutsche Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW) hat dazu im Jahr 2013 das Regelwerk GW 125 „Bäume, unterirdische Leitungen und Kanäle: Beurteilungskriterien für Baumwurzel-Gasrohrleitungs-Interaktionen“ veröffentlicht.

Darin wird für die Netzbetreiber eine Vorgehensweise zur Beurteilung von Baumwurzel-Gasrohrleitungs-Interaktionen beschrieben, bei der zunächst der mögliche Handlungsbedarf anhand von sechs allgemeinen Ausschlusskriterien (Abstand der möglichen Baumwurzel-Gasrohrleitungs-Interaktion zu Gebäuden (< 20m), Baumaßnahmen, Lage der Leitung unter versiegelter Fahrbahn, Rohrdeckung, Vitalitätsstufe der Bäume, Stammumfang, Material der Leitung, Abstand zwischen Baum und Leitung, Kritische Baumarten, deren Wurzelarchitektur ein erhöhtes Risiko von Baumwurzel-Gasrohrleitungs-Interaktion darstellen) sowie in Abhängigkeit der Baumart, des Leitungsmaterials und des Abstandes zwischen Baum und Gasleitung ermittelt wird.

Anhand von Tabellen und einer Entscheidungsmatrix lassen sich dann der tatsächliche Handlungsbedarf und die weiteren Schritte zur Risikominimierung bestimmen.

Im Projekt BaumAdapt wurde in einer Pilotstudie in Zusammenarbeit mit den Stadtwerken Essen AG als Netzbetreiber der mögliche Handlungsbedarf in drei Modellgebieten aufgezeigt. Basis für die Analyse bildeten eine Planauskunft der Gasleitungen in den Modellgebieten, eine aktuelle Kartierung der Bäume und eine Shape-Datei der Gebäude.

Zunächst wurden für die ausgewählten Gebiete die entsprechenden Daten von den Stadtwerken angefordert. Da es sich bei der Planauskunft der Gasleitungen um hochsensible Infrastrukturdaten handelt, müssen strenge Datenschutzbestimmungen beachtet werden. Entsprechend der im Merkblatt beschriebenen Vorgehensweise zur Beurteilung der Baumwurzel-Gasrohrleitungs-Interaktion wurden die Daten

in ArcGIS verschnitten. Über eine Selektion der kritischen Baumarten und der Überprüfung, ob kritische Wurzelanläufe kartiert wurden, konnte dann mit Hilfe der entsprechenden Tabellen im Merkblatt der mögliche Handlungsbedarf festgestellt werden. Insgesamt wurden 2.494 Bäume analysiert. Bei drei Exemplaren wurde ein Handlungsbedarf identifiziert. Das Regelwerk empfiehlt eine weitergehende Untersuchung der Bäume, um eine Gefahr für die Gasleitung auszuschließen bzw. zu beseitigen. Dazu sollen bei den entsprechenden Bäumen die Wurzeln baumschonend durch ein Sachverständigenbüro freigelegt und das Risiko bewertet bzw. zur Vermeidung von Baumschäden eine Leitungsverlegung veranlasst werden.

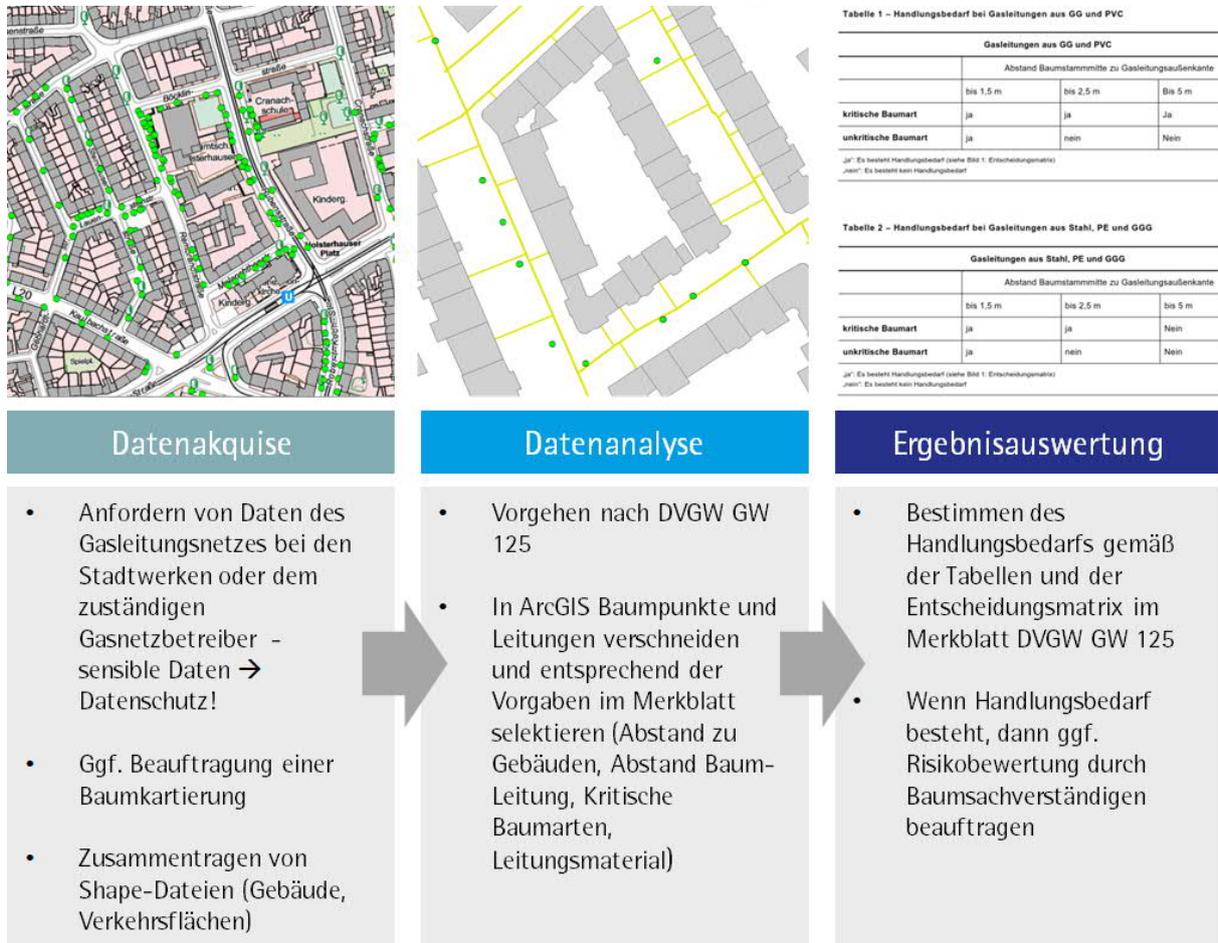


Abb. 12: Methodik zur Analyse von Baum-Gasleitung-Interaktionen (Julia Dingendahl, 2020)

Die Pilotstudie hat gezeigt, dass es sich bei der Baum-Gasleitung-Interaktion im Stadtgebiet Essen voraussichtlich um ein untergeordnetes Risiko handelt. Aufgrund der Kritikalität des Gasleitungsnetzes und der Dynamik des Baumwurzelsystems sollte diese Analyse seitens der Netzbetreiber grundsätzlich flächendeckend regelwerkskonform beurteilt werden.

Durch Angaben aus Einzelbaumkatastern kann eine weitestgehend automatisierte geodaten-technische Risikoanalyse des gesamten Stadtgebiets zur Identifikation der Baumstandorte mit Handlungsbedarf im Sicherheitsbereich des Gasnetzes erfolgen.

## 2.4 Forsttechnische/baumpflegerische Fachberatung und operative Unterstützung der Krisenstäbe bei Orkanereignissen

Im Rahmen eines Orkanereignisses ist in der Folge von Baumbruch und Baumsturz mit massiven Blockaden in der Verkehrsinfrastruktur zu rechnen, die zum völligen Erliegen des Verkehrs im gesamten Schadensgebiet führen kann. Zur Wiederherstellung der Rettungsfähigkeit (feuerwehrtechnische Erreichbarkeit jedes Wohnortes und jeder Betriebsstätte) sowie der Funktionsfähigkeit der kritischen Verkehrsinfrastrukturen hat es sich als sehr hilfreich erwiesen, dass Krisenstäbe der Landkreise und kreisfreien Städte ergänzend zu den Feuerwehren und Kräften des Katastrophenschutzes auf etablierte operative Strukturen für die Gefahrenabwehr im Thema Wald und Baum zurückgreifen können und diese bei Bedarf in die Entscheidungsstrukturen einbinden können.

In NRW hat der Landesbetrieb Wald und Holz in Zusammenarbeit mit dem Innenministerium und dem Umweltministerium das Handbuch Sturm entwickelt, dessen Anwendung in den ländlichen Räumen als zielführend betrachtet wird, da dort die wesentlichen Störungen der Verkehrsinfrastruktur aus Waldflächen oder waldähnlichen Strukturen resultieren.

In den kommunalen Strukturen der kreisfreien Städte empfiehlt sich die organisatorische und operative Aufstellung der Wald- und Baumpflege für diese Krisenszenarien. Eine Untersuchung für eine Organisationsanpassung hat zuletzt die Stadt Frankfurt basierend auf den Erkenntnissen aus dem Schadensgebiet des Sommerorkans Ela in Zusammenarbeit mit der Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst im Jahre 2015 vornehmen lassen.

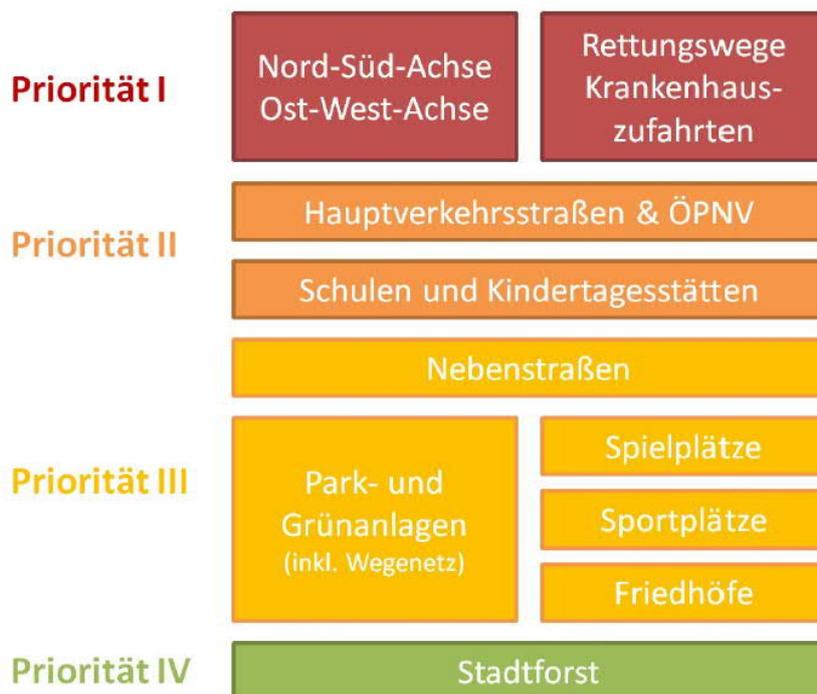


Abb. 13: Einteilung der Prioritätsstufen (Helen Prüfer 2015)

Die wesentliche von der ständigen Gartenamtsleiterkonferenz (GALK) beim Deutschen Städtetag anerkannte Erkenntnis der Untersuchung liegt bei einer Krisenlage im Wechsel der hierarchischen Grundordnung und der Veränderung der Fachstandards für das Sicherheitsniveau der Stand- und Bruch-sicherheit von Bäumen. So ist nach formaler Feststellung einer Krisenlage durch den Krisenstab neben der Fachbereichsleitung als Ansprechpartner des Krisenstabes die für diese Fälle besonders geschulte operative Leitung für die Schadensabwehr Wald und Baum für den Krisenmodus mit Weisungsbefugnis für alle baumfachlichen Organisationseinheiten ausgestattet. Für eine effektive Wiederherstellung der kritischen Infrastruktur sollte die operative Leitung auf eine geografisch gestützte Steuerungsplattform mit den kritischen Infrastrukturen und den Baumbeständen dokumentationsfähigen Zugriff haben. Zur unverzüglichen Wiederherstellung der Rettungsfähigkeit sämtlicher Haushalte im Stadtgebiet ist eine schnelle Akutschadensbeseitigung mit bewusster Abweichung vom Fachstandard für die Stand- und

Bruchsicherheit sinnvoll und rechtlich zulässig, um nicht unverhältnismäßige Zeitaufwände für die sonst übliche Sorgfaltspflicht zu tätigen.

Die Umsetzung der Fachstandards ist entsprechend der Sicherheitserwartung auf die Phase nach der Wiederherstellung der Rettungsfähigkeit zu legen. Mit Erlangung der Rettungsfähigkeit kann bereits in Abhängigkeit der Organisationsstruktur der Krisenmodus aufgehoben werden und die Wiederherstellung der Fachstandards im Rahmen des Regelbetriebes erfolgen. Zur Abwehr möglicher straf- oder privatrechtlicher Forderungen bei baubedingten Verletzungen oder Schädigungen ist eine gerichts-feste Dokumentation auch im Rahmen der Krisenbewältigung unverzichtbar, wobei diese urschriftlich oder entsprechend verfahrensgestützt digital erfolgen kann.

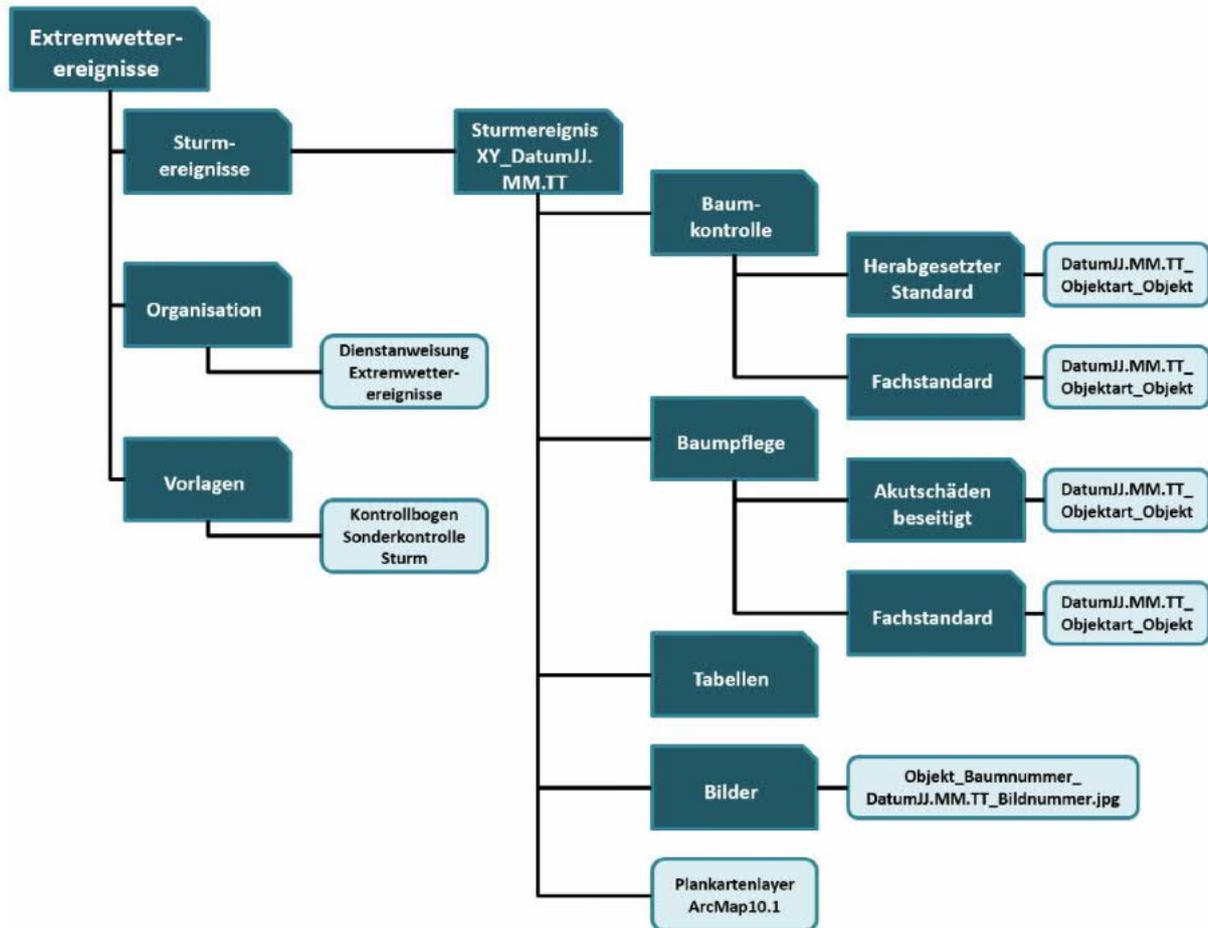


Abb. 14: Ordnerstruktur Extremwetterereignisse (Helen Prüfer 2015)

Über die zuvor beschriebene Organisationsstrategie hinaus besteht in der Stadt Essen seit 2010 im Rahmen der Feuerwehr-Dienstanordnung 03/2010 „Einsätze mit umgestürzten oder angeschlagenen Bäumen“ eine beispielhafte professionelle Zusammenarbeit zwischen der Feuerwehr und den forsttechnischen Fachkräften des Fachbereich 67 Grün und Gruga. Die hierin geregelte Einsatzbereitschaft sichert der Feuerwehr rund um die Uhr eine umfassende forsttechnische und baumpflegerische Fachberatung. Die Eskalation der baubedingten Gefahrenlage im Zusammenhang mit dem Sommerorkan Ela hat in der Nachbetrachtung ergeben, dass es deutliche Verbesserungspotentiale für die technische Ausstattung und die fachtechnische Qualifikation der Einsatzkräfte der Feuerwehren und des Katastrophenschutzes gibt.

Als zertifizierter Fortbildungsbetrieb der Sozialversicherung für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau hat der städtische Forstbetrieb neben dem Grundkurs „Ausbildung an der Motorsäge“ seit 2016 zwei eigene Module für die Qualifizierung der Feuerwehren eingerichtet.

Beim ersten Modul „Grundkurs Motorsäge für Feuerwehren und Einheiten des Katastrophenschutzes“ wird insbesondere in Anlehnung an die GUV-I 8624 auf den Umgang mit der Motorsäge auf Bedürfnisse der Feuerwehren und Hilfsorganisationen eingegangen. Hierzu zählen u.a. die feuerwehrspezifischen Besonderheiten wie Sägen bei Dunkelheit, Regen, Wind, aus dem Drehleiterkorb oder unter Einsatz des

Rüstwagens und ergänzendem Einsatz von Hub- und Zugeräten. Das zweite Modul „Baumbiegesimulator“ befasst sich mit der Bearbeitung von unter Spannung stehendem Holz (Wind, Wurf) in Theorie und Praxis. Im praktischen Teil werden mit den Teilnehmenden unter Zuhilfenahme eines Baumbiegesimulators die unterschiedlichen Gefahren simuliert und diese fachgerecht gelöst.

Im Rahmen der Spezialschulungen werden jährlich rund 650 Feuerwehrleute geschult. Ergänzend werden zahlreiche Teilnehmende aus den technischen Bereichen der Stadt Essen an der Motorsäge ausgebildet, so dass bei einem wiederholten Schadensereignis deutlich mehr fachlich geschulte Motorsägenführende im Rahmen der Schadensberäumung verantwortbar und sicher einsetzbar sein werden.



Abb. 15: Fachausbildung mit Einsatz Drehleiter und Baumbiegesimulator (Fotos: Christian Busch, links und Christian Guth, rechts beide Stadt Essen)

Im Rahmen des Projektes BaumAdapt wurde des Weiteren die Initiative der DB Netz AG, des Landesbetrieb Wald und Holz NRW und der Arbeitsgemeinschaft Großstadtwald NRW unter Moderation des Bundesarbeitskreis Verkehrssicherheit der Fachgewerkschaft Bund Deutscher Forstleute (BDF) als Pilotprojekt begleitet. Ziel ist der Aufbau eines geodatenbasierten Informationssystems zur Identifikation der Ansprechpartner\*innen von DB-Netz und den hoheitlichen Ansprechpartner\*innen Wald bei Katastrophenszenarien Wald und Baum in NRW. Bisher realisiert ist diese Beauskunftung für die örtlich zuständigen hoheitlichen Ansprechpartner\*innen der Sonderordnungsbehörde für den Wald beim Landesbetrieb Wald und Holz NRW über den Dienst [waldinfo.nrw.de](http://waldinfo.nrw.de).

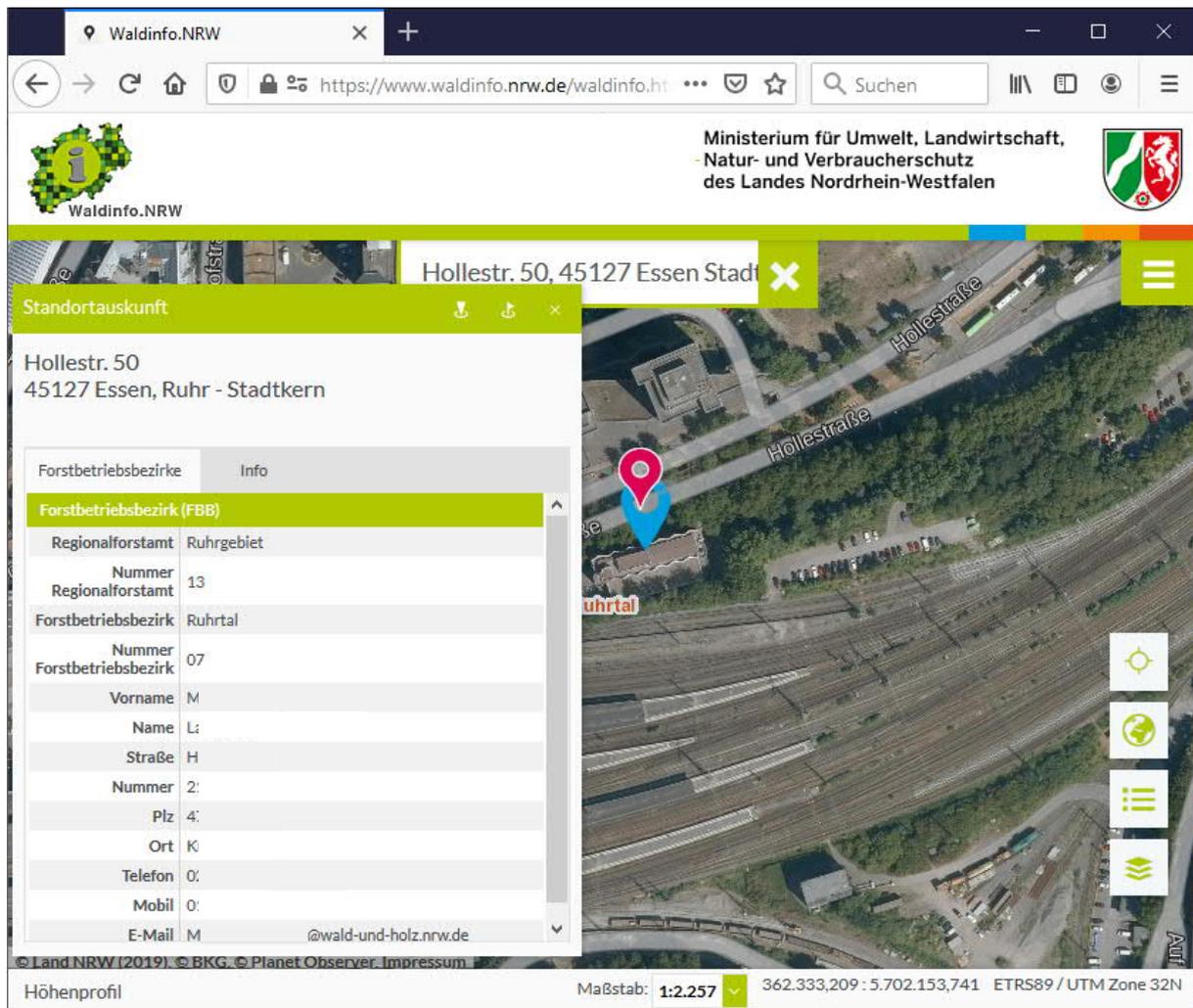


Abb. 16: Geodatendienst mit örtlichen Ansprechpartnern der Sonderordnungsbehörde für Wald (waldinfo.nrw.de)

Bis zur Ergänzung eines vergleichbaren Geodatendienst durch die DB Netz AG ist das Eisenbahnbundesamt mit seiner Zentrale in Bonn und mit seiner Außenstelle Essen verantwortlicher Ansprechpartner für die Krisenstäbe in den Krisenszenarien Baum.

### 3 Rechtliche Rahmenbedingungen und fachliche Vorgaben im Kontext Stadtbaummanagement



Gesetze, Richtlinien, Regelwerke und fachliche Vorgaben bilden die Grundlagen für ein klimaangepasstes Stadtbaummanagement. Alle relevanten rechtlichen Rahmenbedingungen und technischen Regelwerke sind in den nachfolgenden Kapiteln aufgeführt.

#### 3.1 Grund- und Verkehrssicherungsrecht



Entsprechend des Grundrechtes auf körperliche Unversehrtheit (s. Art 2 Abs. 2 des Grundgesetzes) regelt das Bürgerliche Gesetzbuch (BGB) den Schadensersatz:

BGB § 823 Schadensersatzpflicht

*(1) Wer vorsätzlich oder fahrlässig das Leben, den Körper, die Gesundheit, die Freiheit, das Eigentum oder ein sonstiges Recht eines anderen widerrechtlich verletzt, ist dem anderen zum Ersatz des daraus entstehenden Schadens verpflichtet.*

Tab. 2: Statisch wirksamer Wurzelraum (nach Wessoly und Erb, 2014)

statisch wirksamer Wurzelraum nach WESSOLLY & ERB 2014			
Durchmesser in 1 m Höhe [in cm]	Abstand aus d * 1,5 [in cm]	Durchmesser Wurzelraum [in m]	Volumen 1,5m Tiefe [in m³]
10	15	0,4	0,2
20	30	0,9	0,9
30	45	1,3	2,1
40	60	1,8	3,6
50	75	2,2	5,7
60	90	2,6	8,2
70	105	3,1	11,2
80	120	3,5	14,6
90	135	4,0	18,5
100	150	4,4	22,8
110	165	4,8	27,6
120	180	5,3	32,8
130	195	5,7	38,5
140	210	6,2	44,7
150	225	6,6	51,3

Aus der Schadensersatzpflicht leitet sich durch laufende Rechtsprechung für den Eigentümer von Bäumen gegenüber Dritten die sogenannte Verkehrssicherungspflicht ab. Mit den Analyseergebnissen des Projektes konnte eindeutig belegt werden, dass die mangelbehaftete Beachtung der heute interdisziplinär geltenden fachlichen Standards, insbesondere hinsichtlich der Herstellung und Schutz der unterirdisch benötigten Wurzelräume und Baumwurzeln, zu massiven Einschränkungen in der Vitalität und damit einhergehenden Mängeln in der Stand-/ Bruchsicherheit der betroffenen Bäume führen und bei schwerem Sturm die Schadenslage für die städtische Infrastruktur massiv verstärken.

Die korrekte Anwendung der Regelwerke wird im Rahmen von Gerichtsverfahren zur Überprüfung von schuldhaftem Verhalten des Baumeigentümers oder seines beauftragten fachlichen Erfüllungsgehilfen, insbesondere bei Personenschäden intensiv geprüft. Neben den meist schnell ersichtlichen Schäden an oberirdisch gelegenen Bereichen des Baumes, werden dabei auch die im Untergrund verborgenen und daher nicht offensichtlich erkennbaren Schäden im Wurzelraum betrachtet (s. auch Tab. Statisch wirksamer Wurzelraum).



Abb. 17: Versagen der Standsicherheit durch unzureichenden Wurzelraum in Folge des Sturms Ela (Foto: Peter Prengel, Stadt Essen)

Dabei kann eine Schädigung direkt zur Beeinträchtigung der Standsicherheit führen oder indirekt ein schleichender Abbauprozess über Jahre entstehen, dessen Resultat bis zum Versagen des Baumes führen kann.

### 3.2 Baugesetzbuch



In der Folge des Bundestagsbeschlusses von 2008 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel wurde der Klimaanpassung mit der Novelle des Baugesetzbuches (BauGB) 2011 ein neuer Stellenwert im Rahmen der Daseinsvorsorge eingeräumt. Die Bauleitplanung hat gemäß BauGB § 1 Abs. (5), (6) und § 2 Abs. (4) alle Planungen nach aktuellem Stand von Wissenschaft und Technik im Hinblick auf die Abmilderung der Auswirkungen des aktuell erkennbaren und prognostizierten Verlaufs des Klimawandels zum Schutz von Leben und Gesundheit der Bürger\*innen und der Lebensgrundlagen auszurichten. In der Novelle des Jahres 2017 wurde auf Basis der Erkenntnisse zu den bereits eingetretenen Naturkatastrophen mit deutlich verstärkten Schäden in Verbindung mit dem evidenzbasierten Trend für eine weitere Zunahme von Stärke und Häufigkeit dieser Ereignisse in § 1 (7) j) BauGB Rechnung getragen. Die elementaren Schutzgüter bedürfen nun auch einer gesonderten Vorsorgeplanung gegenüber den nunmehr bekannten und vorhersehbaren Großschadensereignissen, sodass mangelnde Abwägung dieser Belange im Rahmen der Bauleitplanung heute einen Verfahrensfehler darstellen kann.

Durch § 136 BauGB werden in diesem Zusammenhang ausdrücklich auch Sanierungsmaßnahmen für städtebauliche Missstände ermöglicht, die vorliegen, wenn das Gebiet nach seiner vorhandenen Bebauung oder nach seiner sonstigen Beschaffenheit den allgemeinen Anforderungen an gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse oder an die Sicherheit der in ihm wohnenden oder arbeitenden Menschen auch unter Berücksichtigung der Belange des Klimaschutzes, der Klimaanpassung oder der Vorsorge gegenüber ortstypischen Naturkatastrophen nicht oder nicht mehr entspricht.

Vereinfachte Verfahren gemäß § 13 BauGB und Bebauungspläne der Innenentwicklung gemäß § 13a BauGB sowie Vorhaben, die sich auf alte Bebauungspläne stützen, oder Vorhaben nach § 34 BauGB bedürfen grundsätzlich einer kritischen Betrachtung. Gleiches gilt für die recht zahlreichen nachträglichen Feststellungen zum vorbeugenden Brandschutz bei Umbau-Sanierungsmaßnahmen zur Sicherung der Feuerwehrrettung.

Damit die Umweltprüfung bei Bebauungsplänen der Innenentwicklung im beschleunigten Verfahren entfallen kann, dürfen gemäß § 13a (1) Nr. 2 BauGB keine erheblichen Umweltwirkungen vorhersehbar sein, die durch die Planung ausgelöst werden. Dies bedeutet, dass in einer Vorprüfung zunächst alle erheblichen Auswirkungen auf die Schutzgüter ausgeschlossen werden müssen. Ähnliches gilt für Satzungen die gemäß § 34 (4) Satz 1 Nr. 2 und 3 BauGB Außenbereichsflächen als im Zusammenhang bebaute Flächen festlegen. Hier muss sichergestellt werden, dass dadurch keine Vorhaben begründet werden, die nach Anlage 1 UVPG eine Umweltverträglichkeitsprüfung nach sich ziehen würden. Ferner müssen die Pflichten zur Vermeidung oder Minderung der Auswirkungen von Unfällen in Störfallbetrieben gemäß § 50 Satz 1 BImSchG beachtet werden. Auch dies ist in einer Vorprüfung sicherzustellen. In den Umweltprüfungen sind nicht zuletzt seit der UVP-Änderungsrichtlinie 2014/52/EU auch Aspekte des Klimawandels zu berücksichtigen, damit die notwendigen Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen getroffen werden. So kann aus stadtklimatischer Sicht letztendlich einer Entwicklung von städtebaulichen Missständen entgegengewirkt werden.

Der Sommerorkan Ela hat im Juni 2014 zu sechs Todesopfern, einer Versicherungsschadenssumme von circa 650 Millionen €, zu bisher nicht gekanntem Ausfall kritischer Infrastrukturen und direkten Schäden am Baumbestand mit stadtklimatisch nachhaltig negativen Auswirkungen geführt. Aufgrund der bestehenden Wettermodelle stuft der Deutsche Wetterdienst (DWD) dieses Ereignis für die Region Rhein-Ruhr als neues 50 Jahre-Ereignis ein. Hinzu kommen die bereits erkennbaren und in der Klimaprognose sowohl verstärkten als auch verlängerten sommerlichen Hitze-, Trocken- und Dürrephasen (2013, 2018 und 2019) und stationären langanhaltenden Starkregenereignissen, für die ebenfalls statistische Wiederkehrintervalle des DWD bestehen. Somit steht die Stadtplanung heute vor ungekannten Herausforderungen, um die stadtklimatische Leistungsfähigkeit von städtischen grünen Infrastrukturen zu verbessern. In diesem Zusammenhang kommt dem Stadtbaumbestand eine besondere Rolle zu. Im Kontext der Schadensanalyse von Ela sowie der Szenariensimulationen mit ENVI-Met bedeutet dies, dass verbindliche Schutzregeln für die Sicherung des unterirdischen Lebensraumes von Bäumen (s. Kapitel 3.5) mit Fallbereichen im öffentlichen Raum notwendig und zwingend einzuhalten sind. Bereits in der Umweltvorprüfung (gemäß § 2 (4) und § 2a Satz 2 Nr. 2 BauGB ist ein Umweltbericht zu erstellen) sind die Auswirkungen eines Bebauungsplanes und die Auswirkungen bereits bekannter vorhersehbarer Naturgefahren, wie unter anderem schwere Sommerorkane, stationäre Starkniederschlagsereignisse und langanhaltende Dürreperioden, für die Schutzgüter (gemäß § 1 (1) BImSchG)

1. Menschen, Tiere und Pflanzen,
2. Boden, Wasser, Luft, Klima und Landschaft,
3. Kulturgüter und sonstige Sachgüter sowie
4. die Wechselwirkungen zwischen den vorgenannten Schutzgütern

zu prüfen.

Hier kommt der sogenannten O-Variantenprüfung (was wäre, wenn die Planung nicht realisiert würde) bezüglich der bestehenden und potentiellen Leistungsfähigkeit der sukzessionalen grünen Infrastruktur insbesondere im Hinblick auf die Ansammlung von Baumbeständen auf unbefestigten Flächen eine herausragende Bedeutung zu. Hierzu existieren die zahlreichen Beispiele im Ruhrgebiet, die durch Brachlegung vieler Industrieflächen entstanden sind und die Erlebbarkeit der stadtklimatischen Potentiale der O-Variante ermöglichen. Da die Bauleitplanung zu unbefristeten Satzungsbeschlüssen führt, sind die sukzessionalen Szenarien der O-Variante hinsichtlich Ihrer langfristigen Leistungspotentiale zu berücksichtigen.

Bestehende, im Projekt erarbeitete, getestete und vielversprechend weiterentwickelbare Monitoring- und Simulationsverfahren dienen der konkreten Bewertung der Gemeinwohlleistungen der potentiellen und planbaren Stadtbaumbestände (s. Kap. 5). Somit stehen bereits für das interdisziplinäre Scoping, inklusive der Prüflistendokumentation für die Umweltprüfung völlig neue Erkenntnisse zur Würdigung der Wertschöpfung des Baumbestandes im Hinblick auf die Abmilderung der Folgen des Klimawandels

für einen großen Teil der Schutzgüter, insbesondere den Gesundheitsschutz, die Aufenthalts- und Lebensqualität, die Eigentumswerte, die Sicherung der biologischen Vielfalt zur Berücksichtigung im Umweltbericht nach § 2 Absatz 4 BauGB und den § 2a und 4c BauGB zur Verfügung. Die Ableitung der erforderlichen funktionsgerechten Empfehlungen, wieviel versiegelte Boden- und Fassadenfläche beschattet werden sollen und welches Kronenvolumen im Plangebiet für Verdunstungskühlung, Schadstofffilterung, Lufthygiene, Lebensraum etc. erforderlich ist, stellt einen wesentlichen Bestandteil des Umweltberichtes dar und ist Basis für die Gewichtung der Klimaanpassungserfordernisse im Rahmen der Gesamtabwägung der Bauleitplanung. In einer Planskizze (Maßstab 1:500 oder größer) erfolgt die Darstellung und Bemaßung [m<sup>2</sup>] der Grenzen für die planerisch möglichen oberirdischen und unterirdischen Wuchsräume. Durch Festsetzungen im jeweiligen Bebauungsplan ergeben sich hiermit konkrete quantitative und qualitative Vorgaben für die Begrünungsziele und deren Fachplanung für die Umsetzung sowie messbare Elemente für ein gezieltes Monitoring im Rahmen der kommunalen Klimaanpassungsstrategie.

### 3.3 Naturschutzgesetze



Der Staat schützt gemäß Art 20a des Grundgesetzes auch in Verantwortung für die künftigen Generationen die natürlichen Lebensgrundlagen und die Tiere. Im Bundesnaturschutzgesetz in Verbindung mit den Landesnaturschutzgesetzen wird das Staatsziel zum Schutz der Naturelemente wie Wasser, Boden, Pflanzen und Tiere sowie ihrer Biotope und Biozönosen konkretisiert.

In der Stadtnatur bilden die ober- und unterirdischen Wuchsbereiche unserer urbanen Baumbestände vom Solitär bis hin zu hochkomplexen natürlichen Vergesellschaftungen im Wald herausragende Lebensräume für die biologische Vielfalt und den Schutz einzelner in ihrem natürlichen Verbreitungsgebiet gefährdeter Arten. Planung und Unterhaltungsmaßnahmen zur Entwicklung von neuen und erhaltenswürdigen Baumbeständen sind somit immer auf den Habitatschutz sowie den naturschutzfachlich notwendigen Biotopverbund auszurichten.

In NRW unterliegen auch innerhalb der geschlossenen Stadtstrukturen einzelne Bäume wegen ihrer Eigenart und Schönheit mit der Ausweisung als Naturdenkmal und Alleen als gesetzlich geschützte Landschaftsbestandteile besonderem Schutz.

### 3.4 Satzungen und Ratsbeschlüsse



Aktuelle Satzungen (z.B. Baumschutzsatzung), Ratsbeschlüsse (z.B. Maßnahmenkonzept der Stadt Essen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels aus 2017, Beitritt zum EU-Konvent der Bürgermeister für Klima und Energie in 2019, Teilnahme am European Climate Adaptation Award – ECA ab 2020) helfen bei der notwendigen Sensibilisierung der Bürgerschaft und aller Verwaltungsbereiche zur Unterstützung der notwendigen Maßnahmen zur Verbesserung der Gemeinwohlleistungen der grünen Infrastruktur, insbesondere in den stark verdichteten und strukturell oder schadensbedingt unterausgestatteten Stadtquartieren.

So schützt die Stadt Essen mit ihrer Baumschutzsatzung grundsätzlich alle Bäume außer Nadelbäume (ausgenommen Eibe und Ginkgo), Birken, Pappeln, Weiden und Kulturobstbäume ab einem Stammumfang von 80 cm in 1 m Höhe gemessen, die nicht näher als 4 m zum nächsten Wohn- oder Geschäftsraum stehen. Es ist verboten, geschützte Bäume zu fällen, zu zerstören oder deren Erscheinungsbild (z.B. durch starken Rückschnitt im Kronenbereich) zu verändern.

Anträge auf Befreiungen von den Verboten und Festlegung von Auflagen werden in Essen für Bäume in privatem Eigentum und gesetzlich geschützte Alleen von der unteren Naturschutzbehörde und für den übrigen städtischen Baumbestand vom Fachbereich 67 Grün und Gruga geprüft und verfügt (s. auch Kap. 3.7).

### 3.5 Technische Regelwerke

Auf der Basis der naturwissenschaftlichen Erkenntnisse gelten für alle gestaltenden und bauenden Gewerke im Städtebau technische Regelwerke. Die Komplexität der städtebaulichen ober- und unterirdischen Infrastrukturen wird insbesondere in den verdichteten Stadtquartieren deutlich. Die Regelwerke dienen einem sicheren, funktionsfähigen, gedeihlichen Miteinander und erfordern von allen Beteiligten eine größt mögliche Bereitschaft zur interdisziplinären Zusammenarbeit und gegenseitiger Rücksichtnahme. In der technischen Infrastruktur mit normierten Bauteilen und Bauweisen werden die lebenden, sich permanent verändernden und wachsenden Organismen der Grünen Infrastruktur oft als Störfaktor wahrgenommen. Im Kontakt mit Bauwerken des Hoch- und Tiefbaus sowie mit Leitungen und Kanälen werden Stadtbäume und ihr Lebensbereich bei Baumaßnahmen aufgrund von mangelnder Kenntnis häufig äußerst unsensibel behandelt und nachhaltig mit enormen Risiken für die Verkehrssicherheit beschädigt.

Ein vitaler, funktions- und leistungsfähiger Baum besteht aus Baumwurzel, Baumstamm und Baumkrone. Als einziges passives Schutzelement dient ihm seine Borke als Teil der Rinde, um ihn ober- und unterirdisch vor dem Eindringen von Schadorganismen zu bewahren. Mindestens im Ausmaß seines im Alter gewünschten Kronenraumes benötigt jeder Baum unter der Oberfläche einen tief durchwurzelbaren, sauerstoffreichen, auch in trockenen Sommern ausreichend feuchten Boden. Hinzu kommt, dass der Stadtbaum, entgegen seinem natürlichen Lebensumfeld, anthropogen und abiotisch hervorgerufenen Schäden ausgesetzt ist, denen er evolutionär bedingt nur wenig entgegensetzen kann.

Die Einhaltung der technischen Regelwerke im Zusammenspiel von technischer Infrastruktur und Lebewesen bedarf daher einer besonderen Sensibilität. Dies haben alle für den Stadtbaumbestand maßgeblichen Regelwerksverbände (s. nachfolgende Übersicht) erkannt und in den nachfolgend vorgestellten Regelwerken dokumentiert:

FLL - Forschungsgemeinschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.

FGSV - Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V.

DVGW - Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.

DWA - Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.

DIN - Deutsches Institut für Normung e.V.

RAL - Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V.

#### 3.5.1 Regelwerke zur Kontrolle, Untersuchung und Pflege von Bäumen

Die in diesem Kapitel vorgestellten Regelwerke beschreiben den aktuellen Standard für die gerichtlich überprüfbare Erfüllung der Verkehrssicherungspflichten von Baumeigentümer\*innen sowie die nach aktuellem Stand von Wissenschaft und Technik erarbeiteten Maßnahmen zum Erhalt und zur Wiederherstellung der Verkehrssicherheit.

Die FLL-Baumkontrollrichtlinie (2020) gibt eine detaillierte Verfahrensweise für die Durchführung von Regelbaumkontrollen zur rein visuellen Überprüfung der Stand- und Bruchsicherheit des Stadtbaumbestandes vor.

Werden im Rahmen der Regelbaumkontrolle Zweifel an der Stand- und Bruchsicherheit erkennbar, die einer eingehenden Untersuchung bedürfen, dient die FLL- Richtlinie Baumuntersuchungen der Verfahrensbeschreibung für die Vorgehensweise zur Qualitätssicherung eingehender Untersuchungen, bei der auch umfangreiche Beprobungs- und Messtechnik zum Einsatz kommen kann.

Alle baumpflegerischen Maßnahmen zur Baumerhaltung und Aufrechterhaltung der Stand- und Bruchsicherheit erfolgen gemäß FLL- Regelwerk „ZTV-Baumpflege“.

Die korrekte Anwendung der Regelwerke wird im Rahmen von Gerichtsverfahren zur Überprüfung von schuldhaftem Verhalten des Baumeigentümers oder seines beauftragten fachlichen Erfüllungsgehilfen, insbesondere bei Personenschäden, intensiv geprüft. Über die Richtlinien hinausgehende Prüfungen betrachten mittels Georadar oder weiterführenden Untersuchungsmethoden auch oberirdisch zunächst nicht sichtbare Eingriffe in den Wurzelbereich. Grundsätzlich gilt, dass Eingriffe in den statisch wirksamen Wurzelraum immer direkte Auswirkung auf die Standsicherheit haben.

### 3.5.2 Regelwerke für Baumpflanzungen

Bäume benötigen für ein gesundes Wachstum und optimale Funktionserfüllung von der Pflanzung bis zum Funktions- bzw. Lebensende einen nachhaltig gesicherten Lebensraum. Der Lebensraum ergibt sich aus dem der Planung bzw. aus dem Vorbestand heraus klar formuliertem Begrünungsziel. Diese Erkenntnis ist offensichtlich, aber es ist erkennbar, dass es aufgrund der starken Nutzungskonkurrenzen in bebauten Bereichen und dem enormen Kostendruck im gesamten Baubereich ohne entsprechende vertragswirksame Regelwerke und deren Durchsetzung im Rahmen der vorgeschriebenen fachlichen ökologisch-arboristischen Bauaufsicht keinen effektiven Lebensraumschutz für Stadtbäume als empfindliche Lebewesen gibt.

Die Regelwerke für Baumpflanzungen zielen in folgenden Bereichen auf einen funktionsgerechten Lebensraumschutz ab:

- Baumgrube
- erweiterter Wurzelbereich
- Pflanzgut
- Fertigstellung, Entwicklungs- und Unterhaltungspflege

#### Baumgrube und erweiterter Wurzelbereich

Die mit besonderem Substrat gefüllte Baumgrube nimmt mit einer Mindestgröße von 12-24 m<sup>3</sup> gemäß gemeinsamer Richtlinien für Baumpflanzungen Teil 1 (2015) und Teil 2 (2010) der FLL und FGSV den Baum bei der Pflanzung auf und dient großen Bäumen in den ersten 10-20 Jahren als zentraler geschützter Wurzelraum. Während der Baum mit seinen Wurzeln in den angrenzenden natürlichen oder geschaffenen Vegetationstragschichten des für den erweiterten Wasser- und Nährstoffbedarf benötigten erweiterten Wurzelraum wächst, kann der Baum in der Baumgrube seinen statisch relevanten Wurzelbereich ausbilden.

Stehen dem Baum die notwendigen Vegetationstragschichten im erweiterten Wurzelbereich nur unzureichend bzw. mit undurchwurzelbaren Schadverdichtungen zur Verfügung, leidet seine Vitalität und es kommt in der Baumgrube zu erheblichen Konkurrenzen zwischen den statisch wirksamen und den versorgenden Wurzelpartien. Dies äußert sich bei überbauten Baumgruben ganz besonderes in der Anhebung der Oberflächenbeläge.

In den Richtlinien werden die in Frage kommenden Substrate für die verschiedenen Eigenschaften von Vegetationstragschichten vertragsgerecht beschrieben. Die Richtlinien unterscheiden zwischen Vegetationstragschichten, die für eine Überbauung zum Einsatz auf Straßen, Wegen, Plätzen geeignet sind (RAL-GZ 250/7-2), und Substraten, die für offene Bauweisen geeignet sind (RAL-GZ 250/7-1).

#### Kornverteilungsbereich bei Baumsubstraten für Pflanzgrubenbauweise 2

Gütesicherung Baumsubstrate RAL-GZ 250/7

Diese Untersuchung schließt die Prüfung nach den jeweils aktuellen FLL-Empfehlungen für Baumpflanzungen ein.

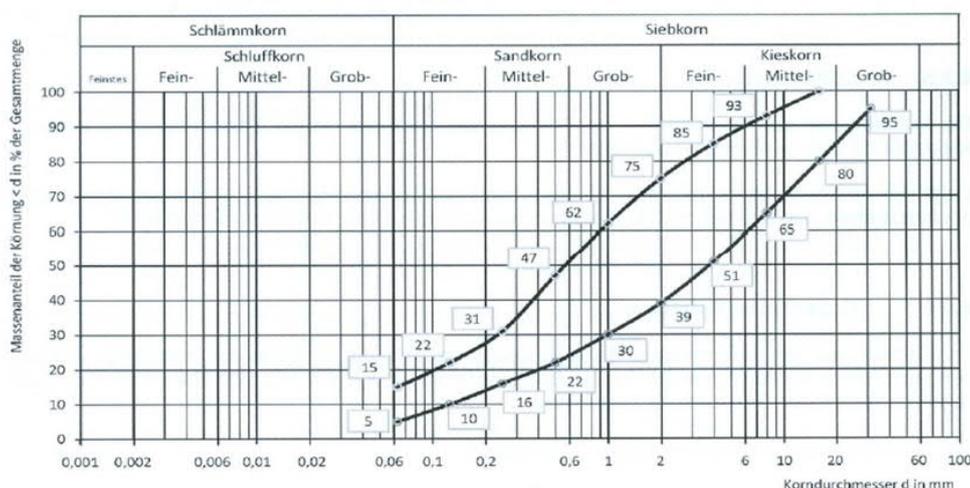


Abb. 18: Kornverteilungsbereich bei Baumsubstraten für Pflanzgrubenbauweise 2 (RAL Gütegemeinschaft)

Aus der Sicht des FGSV Regelwerk 232 - Hinweise zur Straßenbepflanzung in bebauten Gebieten (2006) haben sich bei den überbauten Vegetationstragschichten Substrate mit porösen Feinkornelementen wie Lava, Bims, gebrochener Blähton, Ziegelmehl etc. mit einem Gesamtporenvolumen von >40 % als besonders geeignet erwiesen. Für Lagerung und Verbau muss die Bodenfeuchtigkeit zwischen pF 2,5 und 4 (300 bis 15.000 hPa) mit steifer oder halbfester Konsistenz des Substrates gewährleistet sein. Durch einen lagenweise fachgerechten Einbau mit Verdichtungsgrad im Bereich von 83- 87 % DPr und EV2-Wert zwischen 45 MN/m<sup>2</sup> (MPa), und maximal 60 MN/m<sup>2</sup> (MPa) mit Dokumentation über die Prüfprotokolle gemäß DIN EN ISO 22476-14 (2019) kann darüber hinaus bereits von Anfang an ein Kapillarwasseraufstieg aus den unter der Baumgrube anstehenden Bodenschichten wirksam werden (s. auch Zusätzliche Technische Vorschriften für die Herstellung und Anwendung verbesserter Vegetationstragschichten der Landeshauptstadt München, ZTV-Vegtra Mü, 2016).

Neben den technischen Eigenschaften für Frostschutz und Tragfähigkeit der Straßen- und Wegekörper sind die Durchwurzelbarkeit, Sauerstoffversorgung, und Wasserversorgung für die Durchwurzelbarkeit und Versorgung eines funktionsgerechten Baumes von entscheidender Bedeutung.

Die fachgerechte Vorbereitung der Baumstandorte erfordert grundsätzlich eine enge Abstimmung der Vergabeunterlagen und eine interdisziplinäre Zusammenarbeit in der Bauaufsicht zwischen den verantwortlichen Fachdisziplinen des Straßen- und Leitungsbaus für den Tiefbau, den Architekten\*innen und Bauingenieur\*innen für den Hochbau sowie den Arborist\*innen, Landschaftsarchitekt\*innen und urbanen Förster\*innen für die Baumbestände.

### Pflanzgut

In die vorbereiteten Pflanzgruben darf ausschließlich Pflanzgut gesetzt werden, welches den technischen Lieferbedingung für Baumschulpflanzen der FLL (2020) entspricht. Aus arboristischer Sicht wird aus Unkenntnis noch immer viel zu häufig minderwertige Ware angekauft, die den erwarteten Wuchseigenschaften niemals entsprechen kann. Grundsätzlich empfiehlt sich eine persönliche Inaugenscheinnahme des hochwertigen Pflanzgutes nebst Ausbindung direkt in den Baumschulquartieren. Dies setzt jedoch in der Regel voraus, dass in den Betrieben genügend Regiebetriebspersonal für die fachgerechte Baumpflanzung vorhanden ist. Viele Kommunen haben die Baumpflanzungen zu großen Teilen oder gar vollständig in Unternehmervergabe organisiert, so dass die Lieferung des Pflanzgutes Bestandteil der Gesamtleistung des Unternehmers ist. An dieser Stelle ist es besonders wichtig, dass die Lieferqualitäten dezidiert in den Vertragstexten vorgegeben werden und es zu jeder Lieferung eine Qualitätsabnahme durch die kommunale Fachbauleitung gibt. Diese Vorgehensweise ist vor dem Hintergrund der Problematik einer nachträglichen Mängelrüge zur Ballenqualität, der nachträglich fehlenden Eindeutigkeit bei Rindenbeschädigungen, Astbrüchen etc. sowie die nahezu unmögliche Identifikation von Stammschädigungen oder Schädlingsbefall nach Anbringung des Strahlungsschutzanstriches essentiell. Die Stadt Essen hat die besten Erfahrungen bzgl. der gelieferten Ware und deren funktionsgerechten Anwuchserfolge gemacht, wenn sie über die Vertragstexte gesichert hat, dass eine Beschneidung der Baumschulware für das Jahr vor und nach der Pflanzung untersagt ist und die Fachbauleitung im Rahmen jeder Baustellenlieferung der hochwertigen Solitäräume obligatorisch eine Qualitätsabnahme mit entsprechender standardisierter Dokumentation durchführen. Bzgl. der Sortimentsgröße gilt, dass Sortimente bis 18 cm Stammumfang bessere Anwuchserfolge als große Sortimente mit dem Vorteil der besseren Sicherheit gegen Beschädigung und höheren Kronenansätze haben. Sortimente mit einem Stammumfang größer als 30 cm erfordern aufgrund der Gewichte und Maßnahmen zur Anwuchssicherung eine gesonderte Betrachtung.

### Fertigstellung, Entwicklungs- und Unterhaltungspflege

Die Fertigstellung der Baumpflanzung erfolgt durch den fachgerechten Einbau des Wurzelballens in das in Ballengröße vorbereitete Pflanzloch unter besonderer Beachtung der oberirdischen Sichtbarkeit des Wurzelhalses nach Einschlämmung des Ballens. Für optimale Anwuchserfolge der Solitäräume empfiehlt sich eine dreiseitige Anbindung des Baumes aus kompostierfähigem rindenschonendem Naturfaserstricken. Unterflurverankerungen mit Metall- und Kunststoffen sind aus baumfachlicher und arbeitswirtschaftlicher Sicht problematisch. Einerseits können dem Jungbaum nicht erkennbare Unterflurschäden zugefügt werden und bei der späteren Beseitigung des Wurzelstocks können beim Einsatz rotierender Werkzeuge umherfliegende Metallteile zu schwerwiegenden Verletzungen führen. Zum Schutz vor Rindennekrosen durch direkte Sonneneinstrahlung sollten die Stämme der jungen Bäume in

besonnter Lage mit einer Wirksamkeit für die ersten fünf bis sieben Standjahre mit einem Strahlungsschutzanstrich versehen werden. Insbesondere in den ersten drei bis fünf Jahren des Anwuchses in der Pflanzgrube und darüber hinaus bis zur Erschließung des erweiterten Wurzelraumes sind die jungen Bäume in längeren Trockenphasen auf gezielte zusätzliche Wässerungsgabe angewiesen. Für die optimale Förderung und Forderung des Baumes zur eigenständigen Erschließung des Bodenwassers im erweiterten Wurzelraum und der sich verknappenden Ressource Wasser ist die richtige Wassermenge zum richtigen Zeitpunkt notwendig. Für dieses Ziel sind umfassende Kenntnisse zu den Baumstandorten analog zur forstlichen Standortkartierung im Wald unverzichtbare Grundlage (s. auch Bodenanalyse Kapitel 4.1 und Stadtbodenmonitoring in Kapitel 5.1). Wie auch andere Städte plant die Stadt Essen im Kontext Smart City den Aufbau eines Messnetzes mit Bodenfeuchtesensorik für ein optimiertes Bewässerungsmanagement (s. Kapitel 7). Bis dahin erfolgt die Wässerung entsprechend der Richtlinienempfehlung. Für die möglichst effektive Unterstützung der Wässerungsgaben werden an den Dreiböcken Wässerungsschürzen angebracht, so das je Wässerungsgang bis zu 100 l an jeden Jungbaum appliziert werden können.

Für die standörtliche Funktionsentwicklung ist bereits nach dem ersten Standjahr und dann bis zum 20. Standjahr in festen Intervallen eine gezielte Funktionsentwicklung im Rahmen der Jungbaumpflege erforderlich. Bei Bäumen im Straßenverkehr gilt es hierbei die erforderliche lichte Höhe für den Verkehrsraum nachhaltig zu entwickeln, ohne dem Baum nicht selbstständig durch kurzfristige Überwallung vollständig ausheilbare Schnittwunden zuzufügen. Für eine funktionsgerechte Kronenentwicklung ist bei Solitäräumen mit erhöhten Anforderungen an die Verkehrssicherheit die gezielte Erhaltung eines durchgängigen Leittriebes besonders wichtig. Für die Jungbaumpflege empfiehlt sich daher die Anwendung der holländischen Methode, bei der grundsätzlich rund 10 bis 20% (max. 30%) der belaubten Krone entnommen wird, die gezielte Leittrieberhaltung Standard ist und bei der Aufastung des Stammes zur Erzielung des Lichtraumprofils maximal 20% der Rindenfläche auf gleicher Höhe verletzt werden.

Die Konzentration der begrenzten finanziellen Ressourcen in die zuvor beschriebenen Regeln für die fachgerechte Herstellung eines Baumstandortes mit einem optimal aufgestellten Jungbaum stellt sich in der Folge als lohnende Investition heraus, da die Unterhaltungspflege im Kontrollaufwand und den Schnittmaßnahmen aufgrund der hohen Vitalität für diese Bäume um ein Vielfaches geringer ausfallen, ein wesentlich höheres Lebensalter und deutlich höhere Ökosystemleistungen für das Gemeinwohl erreicht werden können. Im betriebswirtschaftlichen Gesamtergebnis können durch die fachgerechte Investition die Lebenszykluskosten erheblich gesenkt werden (s. auch Kapitel 3.6).

### 3.5.3 Regelwerke für die Koexistenz von Bäumen und unterirdischen Leitungen und Kanälen



Das Merkblatt DW 125-M - Bäume, unterirdische Leitungen und Kanäle des DVWG ist bis auf das Beiblatt zur Risikobewertung von Baum-Leitung-Interaktionen bei Gasleitungen inhaltsgleich mit den Regelwerken der FGSV (Merkblatt 939) und der DWA (Merkblatt M 162).

Die Interaktionen von Baumwurzeln und Leitungen ist in der häufigen Unvermeidbarkeit der Verlegungsnotwendigkeit von Leitungen und Kanälen im Wurzelraum der Stadtbäume begründet. Die Folge derartiger Interaktionen können Einwachsungen von Wurzeln in Abwasserleitungen sowie leitungsbegleitende Wurzelaktivitäten sein, die an den Leitungen gebildetes Kondenswasser aufnehmen. Schwerwiegende Schäden können bei starkem Wurzelwachstum in Verbindung mit Gasleitungen entstehen. Hier kommt es in Einzelfällen zur Ausbildung sogenannter Druckstempel oder Zugschlingen der Wurzeln in unmittelbarem Kontakt mit der Leitung. Leichte Bewegungen des Baumes können hier auf Dauer zu einem Leitungsleck mit enormen Risiken durch austretendes Gas führen, weshalb hier eine eigenständige Untersuchung als kritische Infrastruktur angezeigt ist (s. Kap. 2.2).

### Wuchsrichtung einer Wurzelspitze in unterschiedlich dichten Böden/Substraten

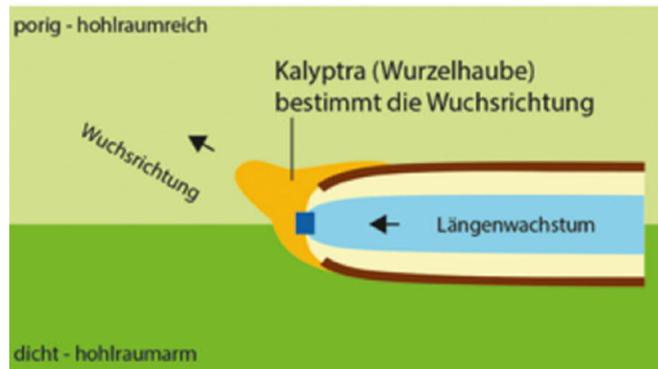


Abb. 19: Theoretisches Wurzelwachstum (in Anlehnung an Stützel & Bosseler) und Änderung der Wuchsrichtung durch unterschiedlich dichte Böden/Substrate/Baustoffgemische (FLL)

Da die Soll-Lebensdauer von Bäumen die Soll-Haltbarkeit von Leitungen mehr als das Doppelte überschreitet, empfiehlt es sich zum Schutz der Bäume, Leitungen und Kanäle grundsätzlich außerhalb des statisch relevanten Wurzelbereichs zu verlegen, da in diesem Bereich Sanierungsarbeiten in der Regel sehr aufwändig sind, wenn sie nicht zu irreversiblen statischen Schäden am Baumbestand führen sollen.

Leitungen sind im Wurzelbereich in der Vergangenheit aus Unwissenheit oft in sandig-kieseliges Material gebettet worden. Zur Vermeidung von Schäden sind Komponenten der unterirdischen Infrastrukturen, wie Leitungen und Schachtbauwerke, Muffen etc. im Wurzelbereich in porenarme wurzelfeste Substrate mit leichter bis mittlerer Wiederaushubfähigkeit ( $<0,8 \text{ N mm}^{-2}$ ) zu betten. Wurzeln gehen immer den Weg des geringsten Widerstandes. Für den Einbau werden die Bettungssubstrate gerne auch fließfähig geliefert.

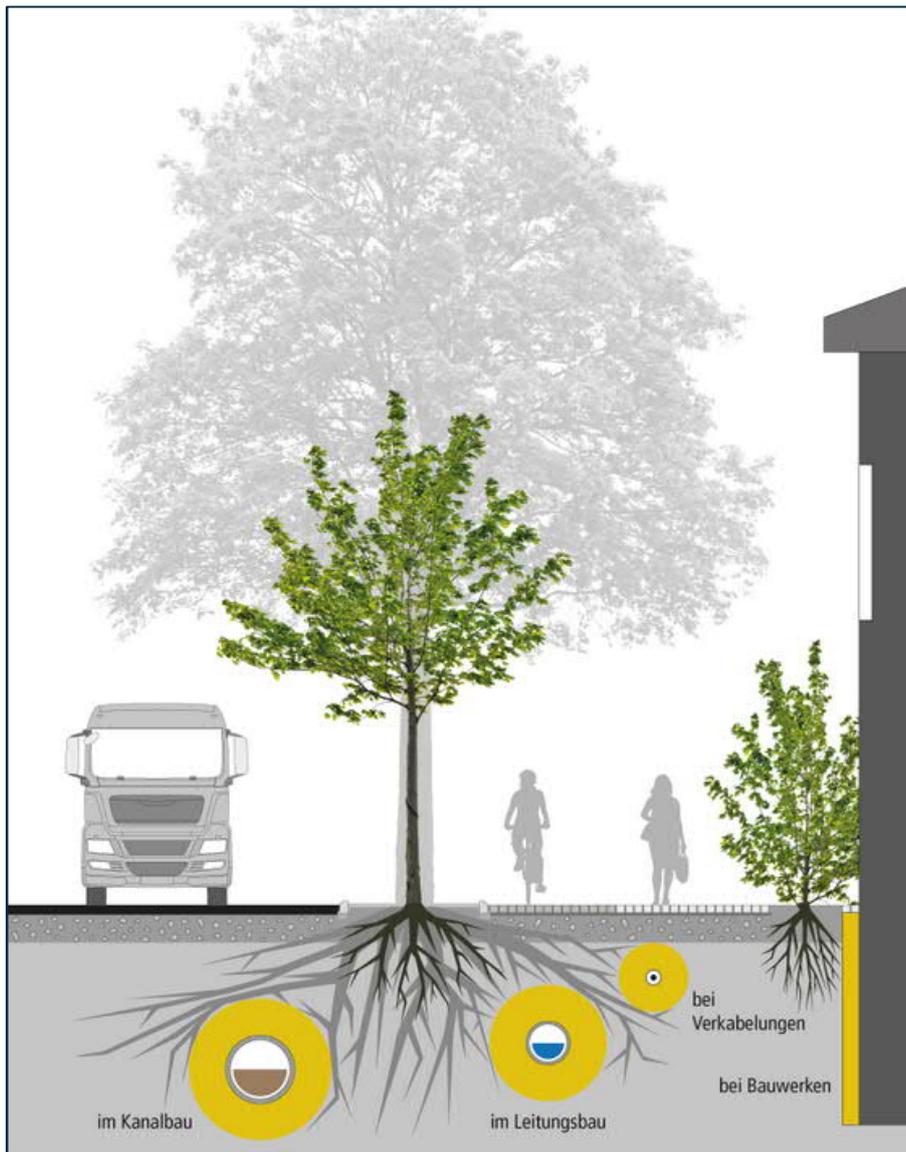


Abb. 20: Schematische Darstellung wurzelfester Rohrleitungsbettungen (Fa. Dernoton)

### 3.5.4 Regelwerke für Schutz und Erhaltung von Bäumen bei notwendigen Straßenbaumaßnahmen



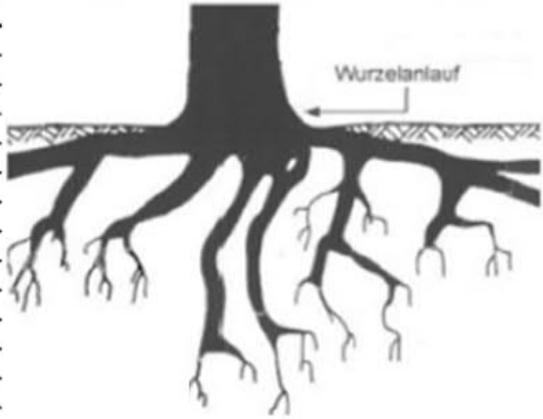
Aufgrund der hohen Lebensdauer von Stadtbäumen sind Baumaßnahmen zur Erneuerung von Straßen, Wegen und Plätzen sowie Leitungen und Kanälen im Lebensbereich unserer Stadtbäume häufig unvermeidbar. Bei sachgemäßer Anwendung der „Richtlinien für die Anlage von Straßen Teil: Landschaftspflege, Abschnitt 4: Schutz von Bäumen, Vegetationsbeständen und Tieren bei Baumaßnahme“, kurz „RAS-LP4“ der FGSV (1999) und der DIN „18920 - Vegetationstechnik im Landschaftsbau - Schutz von Bäumen, Pflanzenbeständen und Vegetationsflächen bei Baumaßnahmen“ (2014) in Verbindung mit dem „Merkblatt über die Erhaltung von Verkehrsflächen mit Baumbestand M EVB“ der FGSV (2019), welche den Schutz und die Erhaltung der Bäume im Kontext von Baumaßnahmen regeln, können Sanierungsmaßnahmen auch im Wurzelraum zumeist baumverträglich ausgeführt werden.

Zur Vermeidung nachhaltiger Schädigungen der Baumvitalität und Standsicherheit durch nachhaltig wirkende Verletzungen von Wurzeln bedarf es immer einer sachgerechten Planung und Bauausführung. Zur Vermeidung von Rechtsfolgen ist bei jeder Maßnahme eine Dokumentation der Eingriffsintensität, festgelegter Maßnahmen und Termine zur Nachkontrolle erforderlich und im Baumkataster für die Verkehrssicherungspflichtigen einsehbar zu hinterlegen.

Grundsätzlich gilt es zum Schutz des Baumbestandes, sämtliche Baumaßnahmen im Wurzelbereich von Hand oder im Saugbaggerverfahren durchzuführen. Klassische Baggerarbeiten können im Wurzelbereich nur dort ausgeführt werden, wo zuvor fachgerechte Wurzelschnitte durchgeführt werden können und der abzugrabende Bereich durch Wurzelvorhänge geschützt werden kann.

Tab. 3: Mindestabstände für offene Grabungen zum Wurzelanlauf nach DIN 18920

Mindestabstand Grabung zu Wurzelanlauf (DIN 18920)		
Durchmesser in 1 m Höhe [in cm]	Umfang in 1 m Höhe [in cm]	Mindestabstand [in m]
10	31	2,5
20	63	2,5
30	94	3,8
40	126	5,0
50	157	6,3
60	188	7,5
70	220	8,8
80	251	10,1
90	283	11,3
100	314	12,6
110	346	13,8
120	377	15,1
130	408	16,3
140	440	17,6
150	471	18,8



Eine detaillierte Übersicht zu verschiedenen Ausgangssituationen und regelwerkskonformen Lösungsansätzen gibt das FGSV Merkblatt über die Erhaltung von Verkehrsflächen mit Baumbestand M EVB (2019), welches wortgleich mit dem gleichnamigen FLL-Fachbericht ist.

### 3.6 Fachlicher Planungs- und Bauablauf Begrünungsziel Stadtbaum

Die quantitativen und qualitativen Vorgaben der Fachplanungen von Erhaltungs-, Sanierungs- und Neubauplanungen für den Stadtbaumbestand ergeben sich immer aus dem Begrünungsziel in seinem angestrebten Zielzustand für Vitalität und Gemeinwohlleistungen. Die Erfahrungen der Stadt Essen zeigen, dass ungeeignete Baumstandorte oder unsachgemäße Eingriffe in den Lebensraum von Bäumen entgegen dem Planungsziel zu äußerst geringen Gemeinwohlleistungen und vorzeitiger Vergreisung des Baumbestandes führen. Die resultierenden Verkehrssicherungsmängel führen zu einem vielfachem Aufwand in der Unterhaltung, einer verkürzten Lebensdauer und vorzeitig notwendigen Fällungen. Diese Handlungsweise führt zu extrem hohen Lebenszykluskosten, einem nahezu vollständigen Funktionsausfall und widerspricht bei genauer Betrachtung einigen Grundprinzipien des Verwaltungshandelns, wie dem Gebot der sparsamen Haushaltsmittelverwendung und der nachhaltigen Daseinsvorsorge. Eine verbindliche zielorientierte interdisziplinäre Umsetzung der Fachplanungen erfordert für die bereichsübergreifenden Arbeitsabläufe von Verwaltung, Planung und Bauablauf bis zur Endabnahme nach Ablauf der Garantiezeit einen eigenen Verwaltungsleitfaden auf Basis der nachfolgend beschriebenen Mindestinhalte. Dies dient der Vermeidung unklarer Zuständigkeiten und erhöhter Kosten auf der Seite der Verwaltung und Vitalitäts- und Leistungsmängeln im Stadtbaumbestand. In der Stadtverwaltung Essen ist ein solcher Leitfaden ergänzend zum langjährig bestehenden „Leitfaden zur Baumkontrolle und Baumpflege“ für die Stadtbäume und dem Forstbetriebswerk in Verbindung mit dem Zertifizierungsstandard gemäß Forest Stewardship Council® (FSC®) für die städtischen Waldungen aktuell in der Entstehung.

## Erhaltungs- und Sanierungsmaßnahmen im Stadtbaumbestand

Bei Erhaltungs- und Sanierungsmaßnahmen im Stadtbaumbestand leitet sich das Begrünungsziel grundsätzlich aus dem Bestand bzw. Vorbestand ab. Erkennbare Leistungsverlechterungen im Vergleich zum Begrünungsziel des Bestandes bzw. Vorbestandes bedürfen im Rahmen einer transparenten Abwägungsentscheidung einer Kompensation im räumlich wirksamen fachbereichsübergreifenden ggf. auch eigentumsübergreifenden Kontext. Leistungsverbesserungen hingegen bedürfen keiner gesonderten Bewertung, da sie im Rahmen der Klimaanpassungsstrategie erklärtes Ziel sind.

## Neubauvorhaben

Bei Neubauvorhaben leitet sich das qualitative und quantitative Begrünungsziel aus der ordentlichen Bauleitplanung bzw. aus informellen Planungsinstrumenten (z.B. städtebauliche Verträge) der Fachbereiche für Stadtplanung und Stadterneuerung ab.

## Fachplanung, Bauleitung und Gewährleistungsabnahme Grüne Infrastruktur (HOAI-LP 1-9)

Im Rahmen der Fachplanung für die grüne Infrastruktur erfolgt die gestalterische Umsetzung und Konkretisierung des Begrünungsziels mit den Landschafts- und Gestaltungselementen der grünen Infrastruktur in enger Verschneidung mit der blauen und grauen Infrastruktur. Für Variantenplanungen sind die in diesem Kapitel beschriebenen Planungsinhalte je Variante vorzulegen. Neben der detaillierten textlichen Beschreibung erfolgt die inhaltliche und örtliche Konkretisierung des Begrünungsziels in einer zeichnerischen Darstellung (Maßstab 1:200) mit folgenden Inhalten:

- Pflanzplan mit Integration erhaltenswerter Bestandsbäume und detaillierten Einzelbaumangaben in der angestrebten Reifephase zu Lage, Baumart, Sorte, Baumhöhe, Kronendurchmesser, Lichtraumfreistellung, derzeitigem Zustand gemäß FLL-Kontrollblatt
- Abgrenzung Wurzelraum durch Pufferung (1 Meter) der Projektion des Kronendurchmessers in der Reifephase bzw. speziell gerichtete Wurzelräume mit gleicher Ausdehnung
- Oberflächengestaltung und Eintragungen zu Beeinflussungen der Baumstandorte durch notwendige Baukörper bzw. Tragschichten
- Lagegetreue Darstellung der nicht umlegbaren bzw. notwendigen Leitungen in Baumstandorten mit Angaben zu den Einbautiefen in Bezug zum Deckenhöhenplan im Ausbauzustand
- Oberflächenwasserablauf und ggf. Integration Starkniederschlagsbewirtschaftung
- Planungsrelevante Hinweise auf Kampfmittel, Altlasten etc.

Ergänzend zum Pflanzplan ist zu jedem Einzelbaumstandort neben der Angabe von Baumart, Sorte und Sortimentsgröße eine Detaillierung des oberirdischen und unterirdischen Wuchsrums mit folgenden Inhalten erforderlich:

### Wuchsraum oberirdisch:

- Höhe in m
- Kronendurchmesser in m
- Kronenform
- Kronenvolumen
- Vorgaben Baumpflege bzgl. Wuchsform, Höhenbegrenzung, Baukörperabstände

### Wuchsraum unterirdisch:

- Lage und Bemaßung Pflanzgrube und Baumscheibe
- Lage und Bemaßung Wurzelraum (Pflanzgrube zzgl. erweiterter Wurzelraum)
- Bodenaufbereitung entsprechend Bodenanalytik für Typ1 (Typ A gemäß ZTV-Vegtra-Mü) offene Bauweise oder Typ2 (Typ B gemäß ZTV-Vegtra-Mü) im Untergrund und in der Frostschuttschicht befestigter Oberflächen
- Lage und Bemaßung notwendiger Bodenbelüftungseinbauten
- Sicherung Bodenfeuchte durch NWK, Kapillarwasser und ggf. Angaben zu Lage und Bemaßung baulicher Einrichtungen für Zuführung Oberflächenwasser, künstlicher Bewässerung, Dochtsystem etc.
- Lage und Bemaßung bautechnischer Sicherungsmaßnahmen zur Umlegung bzw. wurzelsicheren Einbettung von Leitungen und Kanälen

- Lage und Bemaßung bautechnischer Vorgaben für Baukörper mit Auswirkungen auf den Wurzelraum wie Tragschichten, Frostschutzschichten, Rigolenbauwerke, Fundamente, Tunnel, Altlasteneinkapselungen etc.
- Lage und Bemaßung bautechnischer Schutzmaßnahmen der Baumscheibe vor Verdichtung

Für eine erfolgreiche Ausführung sind bereits in der Fachplanung die notwendigen Vorbereitungs- und Durchführungsvorgaben für die Baumaßnahmen an den Baumstandorten zu beschreiben. Hierzu gehört insbesondere die funktionsgerechte Bodenaufbereitung unter Beachtung der hierbei geltenden Regelwerke (s.o. und ergänzend „Leitfaden Bodenschutz beim Bauen“, LANUV, 2009). Das Ergebnis der notwendigen Bodenanalyse beinhaltet hierbei die Bestimmung der Horizontenfolge mit getrennter Angabe von Bodenart, Skelettanteil, pH-Wert, Humusgehalt, Kf-Wert, Lagerungsdichte und Bodengefüge je Horizont und für das Gesamtprofil die Berechnung der NWK, Angaben zur Gründigkeit/Durchwurzelbarkeit, zum Grundwasserstand (+/-Schwankungen) und zu Bodenbelastungen (max. Z 1.2). Auf Basis der Bodenanalyse erfolgt dann nach Möglichkeit vor Ort eine geeignete Bodenaufbereitung gemäß Sieblinien der Richtlinien in Kapitel 3.5.2 und Verschlechterungsverbot nach Altlastenverordnung.

Abschließend sind die notwendigen Bodenarbeiten zur Schaffung funktionsgerechter Vorbereitungen der Wurzelbereiche zu beschreiben. Hierzu sind konkrete Angaben vergabetechnisch aufzubereiten:

- Höhenplanung und Bemaßung Aushub getrennt nach Bodenklassen (Zwischenlagerungsplanung), Sicherung Baugrube und Festlegung bautechnischer Ausführungsvorgaben gemäß „Leitfaden für Bodenschutz auf Baustellen“ (LANUV, 2009)
- Verfahrensplanung zum Schutz von Leitungen, Kanälen und Bauwerken im Wurzelraum bei Aushub
- Festlegung für Umliegungen und Leitungsschutzbettungen mit den Leitungs- und Kanalbetreibern gemäß Merkblatt „DVGW GW 125 (M) Bäume, unterirdische Leitungen und Kanäle“
- Fachliche Prüfung und ggf. Überarbeitung der Vergabetexte als fachliche Vertragsgrundlagen der Bauausführung
- Bautechnische Ausführung zum Schutz unterirdischer Leitungen und Kanäle gemäß Festlegungen
- Bautechnische Ausführung der baulichen Einrichtungen für Zuführung von Oberflächenwasser, künstlicher Bewässerung, Dochtsystem etc. im Wurzelraum
- Bautechnische Ausführung der baulichen Einrichtungen für die Belüftung im Wurzelraum
- Sicherstellung der exakten Einhaltung der Vorgaben gemäß DIN 18915 und ZTV-VegTra Mü für den Einbau, Einbauwassergehalt, Verdichtungsgrad und Ev2-Wert. Die vorgegebenen Werte sollten nicht überschritten werden, da eine Überverdichtung zu einer Verschlechterung der Lebensbedingungen der Pflanzen führt. Hierdurch kann vor allem der Wasser- und Lufthaushalt empfindlich gestört werden.
- Die ordnungsgemäße Abnahme der Überbaubarkeit des Substrates Typ2 (Typ B gemäß ZTV-Vegtra-Mü) ist je Baumstandort mittels Prüfprotokollen gemäß DIN EN ISO 22476-14 (2019) zu dokumentieren. Eine Schadverdichtung des Wurzelraums substrates durch Einbau und Verdichtung von Trag- und Deckschichten ist zwingend zu vermeiden. Bei Verdacht auf Schadverdichtungen ist erneut eine Prüfung gemäß DIN EN ISO 22476-14 (2019) für den Wurzelraum erforderlich.
- Bautechnische Ausführung der Schutzmaßnahmen für die Baumscheibe vor Verdichtung
- Gesamtabnahmedokumentation der Leistungen zur Herstellung des Wurzelraumes je Baumstandort

### Schutz Altbaumbestand

Zum Schutz der durch die Baumaßnahme im Wurzelraum betroffenen erhaltungswürdigen Bäume sind die in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen Richtlinien zu beachten. Für diesen Baubereich wird dringend zur Erstellung und Anwendung eines bereichsübergreifenden Verwaltungsleitfadens (s. auch Kapitel 3.7) geraten.

### Baumpflanzungen

Für die Durchführung der Baumpflanzungen s. Empfehlungen Kapitel 3.5.2, so dass hierzu an dieser Stelle keine weiteren Details hervorzuheben sind.

### 3.7 Fachlicher Planungs- und Bauablauf Stadtbaumerhaltung – baufachliche Baubegleitung

Durch Bau und Unterhaltung von Gebäuden und Infrastrukturen sowie bei Großveranstaltungen und Einzelgestaltungen sind in den Städten ganzjährig mit schwankender Intensität auch immer wieder konkrete Lebensbereiche der Stadtbäume betroffen, die aufgrund der Schadensanalyse von BaumAdapt gegen Naturschutzrecht (s. Kap. 3.3) und gültige Baumschutzsatzungen (s. Kap. 3.4) verstoßen und unter Missachtung der gültigen Regelwerke zu massiver und nachhaltiger Schädigung der Leistungsfähigkeit und Stand-/Bruchsicherheit des Stadtbaumbestandes führen. Die Anlässe hierfür sind vielfältig:

- Aufbrüche mit nach oben offenen Baugruben in der Regel für Unterhaltung und Bau von Leitungsnetzen der Ver- und Entsorgung
- Bau- und Unterhaltungsmaßnahmen von Straßen, Wegen und Plätzen
- Ausschachtungen und Hochbauarbeiten für Maßnahmen zur Unterhaltung und zum Neubau von Gebäuden
- Herstellung bzw. Erhaltung von Rettungswegen, Fluchtwegen und Notausgängen von Grundstücken und Gebäuden
- Herstellung temporärer Veranstaltungseinrichtungen (Kirmes, Konzerte, Freizeitevents etc.) mit nachhaltig negativen Auswirkungen auf den Stadtbaumbestand
- Dauerhafte Einrichtungen und Einbauten (z.B. Außengastronomie, Lichterketten etc.)

Die nachfolgende Tabelle listet die möglichen Schäden für Wurzelraum und Bäume durch sogenannte Aufbrüche im Lebensbereich von Stadtbäumen auf.

Tab. 4: Mögliche Schäden für Wurzelraum und Bäume durch die offene Bauweise (nach D. Stein)

Maßnahmen und Folgen der offenen Bauweise	Folgen und Schadenssymptome für Wurzelraum und Baum
Großflächige und –volumige Bodeninanspruchnahme durch Leitungsgrubenaushub und Böschungs- bzw. Baugrubensicherungsmaßnahmen	Großflächiger Bodeneingriff im Kronentraufbereich, Reduktion des Durchwurzelungsvolumens
Wurzeldurchtrennung-/an-/abrisse durch Bodenaushubarbeiten mit schweren Maschinen	Verminderung der Wurzelmasse, Rücktrocknung der Wurzeln, Totastbildung, Schaderregerbefall, Fäulnis, Gefährdung der Standsicherheit
Austrocknung des Bodens an den Grabenwänden bei fehlender Abhängung	Wassermangel, Abstreben von Wurzeln, Totholzbildung, Schaderregerbefall, Fäulnis
Ausfrierung des Bodens im Winter bei fehlender Abdeckung der Baugrube	Wurzelerfrierungen, Schaderregerbefall und Fäulnis
Grundwasserabsenkung bei unter dem Grundwasserspiegel liegender, tiefer Grabensohle	Wassermangel, "Zopftrockenheit", Schaderregerbefall
Grundwasserstau durch dichte Spundwände, Dichtwände auf der Talseite und Wiederverfüllung mit undurchlässigem, bindigem Boden	Vernässung, Wurzelfäulnis, Veränderung des pH-Wertes des Bodens, Festlegung von Nährstoffen, Sauerstoffmangel
Bodenverdichtung bei Verfüllung des Leitungsgrabens mit Maschineneinsatz	Wurzelquetschung, Bodenschäden, Luftmangel (Anaerobie), Wurzelfäulnis, Wassermangel, Nährstoffmangel
Schwingungen durch Rüttler und Rammen	Wurzelabrisse, Bodensackungen, dadurch Verdichtungen mit nachfolgendem Sauerstoffmangel
Bodensetzungen und -sackungen entlang der Grabenwand	Wurzelabrisse, Rücktrocknung, Bodenverdichtungen, Wurzelfäulnis
Langzeitoffenhaltung z.B. bei Großbaustellen	Trockenschäden, Bodenschrumpfung mit Wurzelabrissen, Wurzelerfrierungen, Schaderregerbefall

Maßnahmen und Folgen der offenen Bauweise	Folgen und Schadenssymptome für Wurzelraum und Baum
Grabenverfüllung mit rolligen, grobkörnigen Erd- baustoffen	Zwangsdränagewirkung, Austrocknung am Gra- benrand mit Wurzelabtrocknungen, die oberir- disch zu Totholzbildung führen
Grabenverfüllung mit undurchlässigen, bindigen Erdbaustoffen, zusätzlich verdichtet	Bodenverdichtung, Staunässe, Wurzelfäulnis
Grabensohle tiefer als Grundwasserspiegel	Zwangsdränagewirkung wie Grundwasserabsen- kung wirkend, Wurzelabtrocknung

Zur nachweislichen Vermeidung nachhaltiger Schädigungen von Vitalität, Stand-/ Bruchsicherheit des geschützten und/oder erhaltungswürdigen Baumbestandes durch Baumaßnahmen ist für jeden Vorhabenträger von der Planung bis zur Fertigstellung einer Baumaßnahme im Lebensbereich eines Baumes eine unabhängige baumfachlich sachkundige Baubegleitung erforderlich. Die Bauleitung und Bauüberwachung bindet den Baumsachverständigen in jeder Phase des Bauablaufes ein. Durch geeignete textliche, bildliche und zeichnerische Dokumentation von Beratung, Maßnahmen zum Baumschutz und lückenloser Protokollierung der Umsetzung im Bauablauf gewährleistet der Sachverständige gegenüber Baumeigentümer, Vorhabenträger und kommunalem Baumschutzbeauftragten die baumfachliche Durchführung der Baumaßnahmen. Müssen durch eine Baumaßnahme Bäume entfernt bzw. hinsichtlich ihrer Gemeinwohlleistungen nachhaltig geschädigt werden, so erfordert dies in Abhängigkeit der Gesetzgebung und/oder der geltenden Baumschutzsatzung einer gesonderten Prüfung und Verwaltungsentscheidung bzgl. Umfang und Ort von Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen.

Sämtliche Dokumentationen sind in digitaler Form mit Einzelbaumbezug aufzubereiten und sowohl dem Baumeigentümer, dem Vorhabenträger, dem Baumschutzbeauftragten und dem Verkehrssicherungspflichtigen für den Baumbestand zuzuleiten bzw. sofern vorhanden im zentralen Baumkataster am Einzelbaum zu hinterlegen.

Durch die unabhängige baumfachliche Baubegleitung kann auch gegenüber der Öffentlichkeit eine möglichst konfliktfreie Kommunikation bei bürgerschaftlich formulierter Sorge um den Verlust von Gemeinwohlleistungen des Baumbestandes transparent informiert werden.

Für die Stadt Essen besteht hierzu eine Facharbeitsgruppe zur Optimierung der verwaltungswirtschaftlichen Abläufe.

## Handlungsempfehlungen

---

In den nachfolgenden Kapiteln sind die Handlungsempfehlungen, die sich aus dem Projekt BaumAdapt ableiten lassen, aufgeführt. Sie bieten Lösungen das Stadtbaummanagement und die Stadtplanung klimaangepasst zu entwickeln, urbane Baumbestände leistungsfähig zu erhalten und gleichzeitig kritische Infrastrukturen bei Starkwindereignissen zu schützen.

Die Empfehlungen sind in die Handlungsfelder Straßenbäume, Immobilienwirtschaft, Grünanlagen und Wald unterteilt.

## 4 Empfehlungen für das Stadtbaummanagement



Bäume zählen zu den wertvollsten Bestandteilen urbaner Lebensräume. Sie strukturieren den städtischen Raum, lassen Nutzungen und Sichtbezüge im lichten Stammbereich zu und erzeugen unter ihrer Krone angenehm verschattete Aufenthaltsräume. Ihre Belaubung und Blüte bereichern den Stadtraum visuell. Ihr Duft, ihre Veränderung mit den Jahreszeiten und ihr Geräusch bei Wind schaffen vielfältige Sinneseindrücke. Baumkronen bieten darüber hinaus vielen Tieren ungestörten Lebensraum. Blätter, Blüten und Früchte dienen als Nahrung, Baumhöhlen, Astabbrüche und Risse im Stamm als Ruhestätte oder Brutplatz. Manche Arten wie das Eichhörnchen nutzen geschlossene Kronenräume zur Wanderung durch die Stadt. Je größer und vitaler die Gehölze desto wertvoller sind sie. Primäres Ziel ist es deshalb, den Baumbestand in Städten zu sichern und fachgerecht zu pflegen. Darüber hinaus sind neue Standorte mit ausreichend Platz für eine vitale Entwicklung zu schaffen. Dabei sind Arten und Artenkombinationen anzustreben, die den Bestand robuster machen und zudem einen Wert für die lokale Fauna haben. Je nach Standort und Anforderung kann dabei auf viele Arten und Sorten zurückgegriffen werden, die auch für hochversiegelte, thermisch stark belastete Standorte des urbanen Raums geeignet sind (s. Leitfaden für klimaorientierte Kommunen in Bayern, TU München, 2018).

Ein optimiertes urbanes Wald- und Stadtbaummanagement richtet sich auf die umfassende Verbesserung der Vitalität des urbanen Baumbestandes für den Erhalt oder die Verbesserung der Ökosystemleistungen im fortschreitenden Klimawandel. Damit dies gelingen kann, ist neben einer konsequenten Umweltprüfung und klaren Vorgaben für leistungssteigernde Begrünungsziele hinsichtlich der Klimaanpassungs- und Klimaschutzwirkung die Herstellung und nachhaltige, auf das Lebensalter ausgerichtete Sicherung und Entwicklung des Lebensraumes jedes Stadtbaumes von entscheidender Bedeutung. Die Umsetzung der rechtlichen und fachlichen Standards aus Kapitel 3 ist somit Mindeststandard für einen nachhaltig vitalen Stadtbaumbestand.

### Windfeld- und Strömungssimulationen auf Einzelbaumebene

Neben der grundlegenden Bedeutung der Einzelbaumvitalität und Verankerung im Wurzelraum wurde im Projektkontext eine mehrstufige dreidimensionale Windfeld- und Strömungssimulation mit ENVI-met durchgeführt. Mit dem eigens anlässlich BaumAdapt weiterentwickelten ENVI-met Simulationswerkzeug TreePass können auf Basis der Strömungssimulation einzelne Bäume auf der Ebene der typischen Kronengeometrie mit der Auflösung eines einzelnen Astes nach der Idee des L-Systems analysiert werden (s. Kap 2.2). Die Auswirkungen der lokalen Wachstumsbedingungen, wie beispielsweise Lichteinfall, werden in der Analyse ebenso berücksichtigt wie verschiedene Pflegevorgaben. Die Gefahr des Entwurzeln oder Brechens ist für eine quasi unbegrenzte Anzahl von Bäumen innerhalb eines Stadtviertels bis auf die Ebene der einzelnen Äste analysierbar. Die Simulation bedeutet eine wesentliche Hilfestellung für die Optimierung des Baumbestandes zum Schutz kritischer Infrastrukturen und der Gemeinwohlleistungen. Beispiele für simulationsbasierte Empfehlungen finden sich in diesem Kapitel.

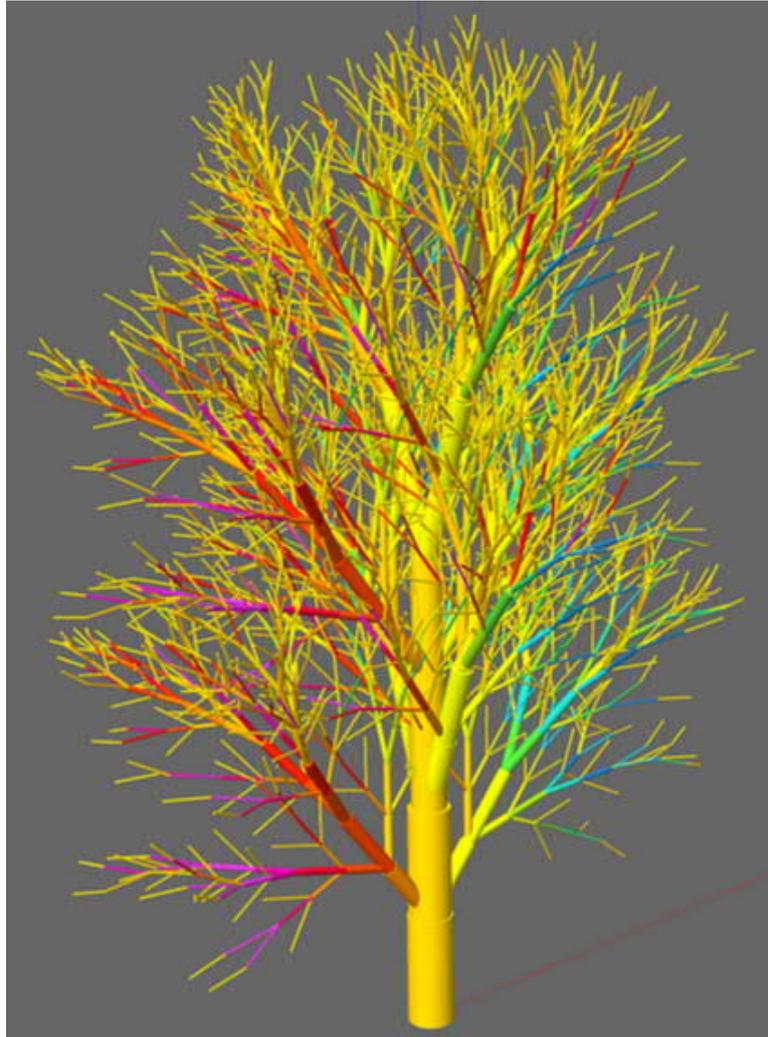


Abb. 21: Strömungsabhängige kinetische Belastungsvisualisierung mit ENVI-met TreePass (Michael Bruse, 2020)

### Analyse von Ökosystemleistungen

Ein weiterer Projektschwerpunkt lag in der Ermittlung der Gemeinwohlleistungen des Baumbestandes für Gesundheit und Lebensqualität in der Stadt. Der in der Literatur beschriebene signifikante Zusammenhang zwischen Versiegelungsgrad und Ökosystemleistungen konnte hier uneingeschränkt bestätigt werden. Da Ela insbesondere die Bestände mit den höchsten Vorschäden und der geringsten Vitalität in Mitleidenschaft gezogen hat, die in den hoch verdichteten Stadtquartieren eine besonders hohe Repräsentanz haben, wiegen die Schäden dort besonders stark. Im Rahmen einer räumlichen Priorisierung ggf. knapper Ressourcen ergibt sich herausragender Handlungsbedarf für die stadtklimatischen Hitzeinseln, welche mit den hoch verdichteten Stadtquartieren überwiegend deckungsgleich sind. Für die Simulationsgebiete und die städtischen Waldungen konnte in der Vergleichsanalyse der Ökosystemleistungen des urbanen Baumbestandes ein signifikanter Unterschied der Situation vor und nach dem Sommerorkan Ela ermittelt werden (s. Kap 5.3.1).

In den folgenden Kapiteln werden die im Projekt neu gewonnenen Erkenntnisse mit den verfügbaren Ergebnissen anderer Projekte und den 2019 von der Bundesregierung im Monitoringbericht zur Deutschen Klimaanpassungsstrategie publizierten Zielen kombiniert und im Hinblick auf das sturmbedingte Wirkungsgefüge von Bäumen und Infrastrukturen zu ergänzenden Handlungsempfehlungen für eine bessere Resilienz unserer Städte im Klimawandel zusammengeführt. Dies erfolgt vor dem Hintergrund der Machbarkeit zur deutlichen Optimierung der Gemeinwohlleistungen urbaner Baumbestände bei gleichzeitiger Risikominimierung sturmbedingter Schäden an kritischen Infrastrukturen und Verminderung der Beräumungszeiten im Schadensfall.

#### 4.1 Allgemeine Zielstellungen für urbane Baumbestände



- Für jeden Baumstandort bedarf es der Vorgabe eines Leistungsziels.
- Für die Begrünungsplanung sind Standraumplanung und -sicherung von entscheidender Bedeutung.

Für die urbanen Baumbestände sollte auf Basis der aktuellen und zukünftig im Rahmen der Bauleitplanung verbessert zu dokumentierenden Begrünungsziele für jeden Baumstandort ein Leistungsziel vorgegeben sein. Da die Gemeinwohlleistungen im Wesentlichen durch die gewählten Baumarten und Sorten sowie den für das optimale Wachstum notwendigen Standortbedingungen determiniert werden, ist in jeder Begrünungsplanung die Standraumplanung und -sicherung von entscheidender Bedeutung. Aus der Gruppierung in Wuchsklassen und den möglichen Differenzierungen innerhalb der Wuchsklassen ergeben sich die jeweiligen Planungsgrößen für die erforderlichen Standräume. Grundsätzlich gilt, dass die Gemeinwohlleistungen bei entsprechendem Wurzelraum mit der Zunahme des Kronenvolumens exponentiell höhere Gemeinwohlleistungen für die Klimaanpassung erbringen. Die in der Tabelle angegebenen Werte sind Richtwerte. Diese Richtwerte geben der Fachplanung hinreichend Verbindlichkeit und eröffnen durch nachvollziehbar begründete Interpolation oder Extrapolation weitere standortgerechte Planungsvarianten.

Tab. 5: Standraumplanung in Anlehnung an Kopinga 1997

Standraumplanung													
	Wuchsgröße	Bäume 1. Ordnung (>20m)				Bäume 2. Ordnung (11-20m)				Bäume 3. Ordnung (bis 10m)			
oberirdisch	Kronenform	breit	normal	breit	normal	breit	normal	normal	schmal	normal	schmal	normal	schmal
	Höhe	30m	30m	25m	25m	20m	20m	15m	15m	10m	10m	7m	7m
	Kronen-Radius	15m	12m	13m	10m	10m	6m	4m	2m	3m	2m	2,5m	1,5m
	Kronenvolumen	5000m <sup>3</sup>	4500m <sup>3</sup>	3000m <sup>3</sup>	2500m <sup>3</sup>	2000m <sup>3</sup>	1000m <sup>3</sup>	500m <sup>3</sup>	125m <sup>3</sup>	175m <sup>3</sup>	75m <sup>3</sup>	75m <sup>3</sup>	25m <sup>3</sup>
unterirdisch	Wurzel-Radius	15m	13m	13m	11m	10m	7m	5m	4m	4m	3m	3m	2,5m
	Pflanzgrube	24-36m <sup>3</sup>				18-24m <sup>3</sup>				12-18m <sup>3</sup>			
	Wurzelraum	450m <sup>3</sup>	400m <sup>3</sup>	350m <sup>3</sup>	275m <sup>3</sup>	225m <sup>3</sup>	125m <sup>3</sup>	65m <sup>3</sup>	30m <sup>3</sup>	40m <sup>3</sup>	25m <sup>3</sup>	25m <sup>3</sup>	15m <sup>3</sup>

Der in Kapitel 3.6 empfohlene Verwaltungsleitfaden sollte in einer weiteren Detaillierungsebene bzw. getrennt nach Funktionsumfeld die Empfehlungen dieses Kapitels integrieren. Zur gezielten Leistungsentfaltung der Stadtbaumbestände sollten bei der Begrünungsplanung die aktuellen Erkenntnisse der interdisziplinären Forschungsprojekte genutzt werden. Das Literaturverzeichnis gibt einen kleinen Einblick in den nationalen und internationalen Wissensaustausch im Thema wieder. Die interdisziplinäre Zusammenarbeit innerhalb von BaumAdapt hat deutlich gemacht, dass es einer nachhaltigen Verbesserung der Klimaanpassung eines baumfachlichen Wissensmanagements innerhalb der Kommunalverwaltung bedarf (s. Kap. 6.3).

#### Verschattung von Baukörpern und Aufenthaltsbereichen

- Der Verschattung von Baukörpern und Aufenthaltsbereichen durch Bäume, sowie der Nutzung als Kaltluftentstehungsgebiete muss im Zuge der Klimaanpassung eine größere Bedeutung zukommen.

Durch eine Verschattung besonders der nach Süden und Westen gerichteten Fassaden sowie der versiegelten Flächen, insbesondere in der Mittags- und Nachmittagszeit, wird der höchste Effekt zur Verbesserung des städtischen Wärmehaushaltes für die heißen Tagen und die maximale Minimierung des Primärenergiebedarfs für die Gebäudekühlung erzielt. Des Weiteren können durch die natürliche Beschirmung technische Sonnenschutzmaßnahmen an Fassaden und über Spiel- und Aufenthaltsbereichen ersetzt werden, wodurch zusätzlich CO<sub>2</sub>-Emissionen eingespart und CO<sub>2</sub> in der Biomasse gespeichert wird.

In Verbindung mit der Verdunstung von Bodenwasser, der Bindung von Feinstäuben und Verströmung von Duftstoffen sorgen Stadtbaumstände unter ihrem Blätterdach für ein deutlich besseres Mikroklima und führen zu einem deutlich verbesserten physiologischen Temperaturempfinden. Dieser Effekt wird für das zukünftige Wohlbefinden der Stadtbevölkerung eine herausragende Bedeutung erhalten.

### Vielfalt und Risikostreuung

→ Zur Sicherung der Biodiversität und zur Risikostreuung sind gemischte Baumbestände sinnvoll.

Zur Sicherung der biologischen Vielfalt und zur Streuung des Ausfallrisikos ganzer Baumbestände durch Einwanderung oder Massenvermehrung wirtsspezifischer Schadorganismen sollte für jedes Begrünungskonzept eine standortbezogene Arten- und Sortenvielfalt zum Tragen kommen. Gestalterische Vorgaben sollten sich auch unter Gesichtspunkten des Denkmalschutzes in dieser Fragestellung zu neuen Konzepten öffnen. Flora und Fauna sind auf vernetzte Strukturen mit breiter Habitatvielfalt angewiesen. Durch die Veränderungen in der Gebäude- und Infrastrukturtechnik sowie der Gartenkultur bedarf es in unserer Stadtnatur eines gezielten Ersatzes für historische Siedlungsbiotope in Dächern, Fassaden, Schuppen etc. und biozidfreien Selbstversorgungs- und Erholungsgärten. Neben der direkten Umsetzung im öffentlichen Grün erfordert dies auch eine Sensibilisierung und fachliche Beratung der Grundeigentümer und Nutzer privater Freiflächen.

Gemischte Baumbestände können hier einen wesentlichen Bestandteil bilden. Die Mischung von schattenverträglicheren mit lichtbedürftigeren Arten kann in geeigneten Situationen zu einer optimaleren Ausnutzung des verfügbaren Lichtes und somit zu höheren Gesamtwuchsleistungen mit optimierten Gemeinwohleleistungen führen. Artenreiche Strukturvielfalt stärkt somit die Resilienz der Grünen Infrastruktur.

### Stabilitätsanforderungen und Windaufgleitung

→ An Orten kanalisierter Luftströmungen kann ein kleinerer Baum als erster Windwiderstand die dahinterliegenden Großbäume schützen.

→ Windfeldanalysen können wichtige Aspekte für die Planung von Baumstandorten liefern.

Bäume passen sich im Rahmen ihrer artspezifischen Möglichkeiten an die Gegebenheiten des jeweiligen Standortes an. So können beispielsweise Süd-West exponiert aufgewachsene Fichten auf stauwasserfreiem skelettreichem Untergrund dem Sommerorkan Ela schadlos trotzen, während Altbuchen und Eichen in der direkten Nachbarschaft teilweise flächig umgeworfen oder abgebrochen wurden.

Die Fähigkeit zur Anpassung ist natürlich sehr eingeschränkt und funktioniert nur sehr langsam und langfristig. Standortveränderungen, z.B. durch Bodenarbeiten im Wurzelraum mit nachhaltigen Veränderungen des Bodenwasser- und Bodenlufthaushaltes, größere plötzliche Freistellungen des Kronenraumes gegenüber starker Sonneneinstrahlung oder Veränderungen des Windfeldes, können sich Bäume in der Regel nicht nachhaltig anpassen und reagieren mit vorzeitiger Vergreisung mit einhergehenden Verlusten der Stand- und Bruchsicherheit.

Die verfügbare Baumartenpalette ermöglicht auf Basis der notwendigen Bodenuntersuchung des Pflanzstandortes und der Windexposition eine Ausrichtung des Baumbestandes auf die ortsbezogenen Stabilitätsanforderungen unter Berücksichtigung möglicher Schäden durch Starkwindereignisse. Ausgehend von einer optimalen Anpassung der Stadtbäume an die vorherrschenden Hauptwindrichtungen sollten Stadtbaumbestände im Kontext kritischer Infrastrukturen gegenüber unerwarteten Windrichtungen gesichert aufgestellt werden. Durch die Verwendung eines kleineren Baumes als erster Windwiderstand kann in bebauten Strukturen die Energie kanalisierter Luftströmungen zum Schutz der dahinterliegenden Großbäume besser aufgefangen und abgeschwächt werden. Windfeldanalysen, die auch zukünftig geplante Quartiersstrukturen simulieren können, sind für die Planung eines stabilen Baumbestandes sehr aussagekräftig, im Kontext der Katastrophenvorsorge für die kritischen Infrastrukturen unverzichtbar und sollten zumindest in den gefährdeten Lagen durch die Simulationsprüfung auf Einzelbaumebene ergänzt werden.

## Standraum – Boden – Starkniederschläge

- Ein gesunder Baum erfordert konstante und zielgerichtete Lebensbedingungen.
- Eine umfassende Bodenanalyse ist für die Planung von Baumstandorten unerlässlich.
- Eine erfolgreiche Bauausführung von leistungsfähigen Stadtbaumstandorten erfordert ein nachhaltiges Stadtbodenmanagement.

Für die lebenslange Standsicherheit und Leistungsfähigkeit eines Stadtbaumes sind möglichst konstante und zielgerichtete Lebensbedingungen erforderlich. Eichen, die sich auf einem extrem trockenen Standort nach ihrer Pflanzung als Straßenbaum etablieren, können über 40 Jahre ohne nennenswerten Zuwachs überleben, während auf satten Lößlehmstandorten aufgewachsene geschlossene Altbuchenswaldbereiche nach zwei Dürre Jahren bereits absterben.

Solitär aufwachsende Bäume erfordern bei fehlender Fremdverschattung des jungen Stammes bis zur einsetzenden Selbstverschattung durch die eigene Baumkrone einen Rindenschutz gegen die direkte Sonneneinstrahlung. Einzelbäume entwickeln auf den für sie geeigneten Standorten eine sehr hohe Individualstabilität. Die solitäre Stellung mit breit ausladender Krone bedingt die enorme ästhetische Wirkung und hohe Gemeinwohlleistung der Einzelbäume im urbanen Grün. Der natürliche Ausfall oder die aktive Entnahme aus Gründen der Verkehrssicherheit ist mit einem vollen Verlust der Gemeinwohleistungen des Einzelbaumes verbunden. Nachpflanzungen können den Verlust nur langfristig kompensieren.

In Baumbeständen aufwachsende Bäume erfahren durch ihre Nachbarn Schutz durch Wanderschatten und Windentlastung. Die Konkurrenz zwischen den Bäumen gleicher Art oder verschiedener Arten zueinander erfordern zur Erhaltung der Baumartenvielfalt und zur Verbesserung der Einzelbaumstabilität der standörtlich geeigneten und vitalsten Einzelbäume und Verkehrssicherheit des Bestandes entsprechend den Regelwerken der FLL eine aktive Standraumsicherung durch Entnahme schwächerer Einzelbäume unter Beibehaltung des Bestandesinnenklimas. Der vollständige Funktionsersatz der gefällten Bäume erfolgt durch den Lichtzuwachs der geförderten Bäume und die sich im Lichtkegel am Boden natürlich ansammlenden Bäume.

Für die funktionsgerechte Verankerung und Ernährung benötigt jeder Baum den entsprechenden Lebensraum für sein komplexes Wurzelwerk. Anders als bei natürlichen Böden, sind hierzu auf Basis der Stadtbodenkartierungen, bzw. andernfalls durchzuführender Bodenanalysen zu jedem Stadtbaumstandort die Notwendigkeit und der Umfang der vegetationstechnischen Bodenarbeiten zur Schaffung des benötigten Wurzelraumes mit dem zugehörigen Nährstoff-, Bodenwasser- und Bodenlufthaushalt detailliert zu planen. Im Rahmen eines nachhaltigen und umweltfreundlichen Stadtbodenmanagements empfiehlt sich die Verwendung der lokal anstehenden Substrate. Für die technischen Eigenschaften der Vegetationstragschichten sind häufig Zuschlagstoffe erforderlich. Hier empfiehlt sich die Verwendung von Materialien möglichst regionaler Herkunft mit günstigen Transportwegen. Organische Beimischungen sollten aus zertifizierter Herkunft in Bio-Qualität stammen.

Mögliche Beeinträchtigungen des Wurzelbereichs der Stadtbäume oder der Bodengefüge durch Aufbrüche erfordern stets eine baum- und bodenfachliche Umweltbaubegleitung. Wurzelschäden und Veränderungen der Böden im Wurzelbereich durch mangelhaft ausgeführte Aufbrüche und unsachgemäße Verfüllungen führen zu irreversiblen Schäden mit gravierenden oberirdisch nicht oder sehr stark zeitverzögert erkennbaren Auswirkungen auf die nachhaltige Leistungsfähigkeit sowie die Standsicherheit mit erheblichen Haftungsrisiken bei strafrechtlichen Ermittlungsverfahren (s. Kap 3.5.1). Die fachgerechte Umweltbaubegleitung gewährleistet eine Sicherung des funktionsgerechten Wurzelraumes im Einklang mit den baulichen Zielen und löst Konflikte nachvollziehbar dokumentiert auf. Abgesehen von Gasleitungen innerhalb eines bestimmten Risikobereiches (s. Kap. 3.5.3) sind Baum-, Boden- und Leitungsschutz in der Regel ohne nennenswerte Einschränkungen für die Standortqualität der Stadtbäume technisch lösbar.

Durch die herausragenden Optionen der Integration von Retentionsräumen der zunehmenden sturzflutartigen Regenereignisse zur Verbesserung des Bodenwasserhaushaltes und der Kühlungsleistungen der Baumbestände für die ebenfalls deutlich zunehmenden Hitze- und Dürrephasen bieten sich für die Planung blau-grüner Infrastrukturen neue Optionen. Hinsichtlich der verwendbaren Baumarten ist auch in diesem Planungszusammenhang eine exakte Bodenanalyse zur Bestimmung der Versickerungsfähigkeit und Bemessung der vegetationstechnischen Baumaßnahmen zur optimalen Steue-

nung von Bodenwasser- und Bodenlufthaushalt unverzichtbar. Dies gilt ganz besonders bei Planungen, die nachhaltige Veränderungen der Standortbedingungen für Bestandsbäume nach sich ziehen.

## Umsetzungspilot „Baumrigolen für Essen“

Während der Projektlaufzeit konnte das fachbereichsübergreifende Projekt „Baumrigolen für Essen“ im Fördermittelkorridor der Zukunftsinitiative „Wasser in der Stadt von Morgen“ der Emschergenossenschaft für Baumstandorte in zwei Nebenstraßen im Stadtgebiet Essen angestoßen werden. Unter Federführung des Amtes für Straßen und Verkehr wird Ende 2020 der Baustart erfolgen.

Baumrigolen sind unterirdische Wasserspeicher, die mit einem darüber liegenden Baumbeet verbunden sind. Bei (Stark-)Regenereignissen fließt das sonst ungenutzt in die Kanalisation abfließende Wasser in die Rigole und wird dort zwischengespeichert. In Trockenzeiten steht das Wasser dann dem Baum zur Verfügung, sodass dieser durch die Verdunstung die Umgebungsluft abkühlen kann. Die Nutzung der Rigole als Retentionsraum unterstützt außerdem die Grundwasserneubildung und passt somit die städtische Gesamtwasserbilanz an natürliche Verhältnisse an.

### Längsschnitt Baumstandort Baublüte

M 1:50

Schnitt A-A'

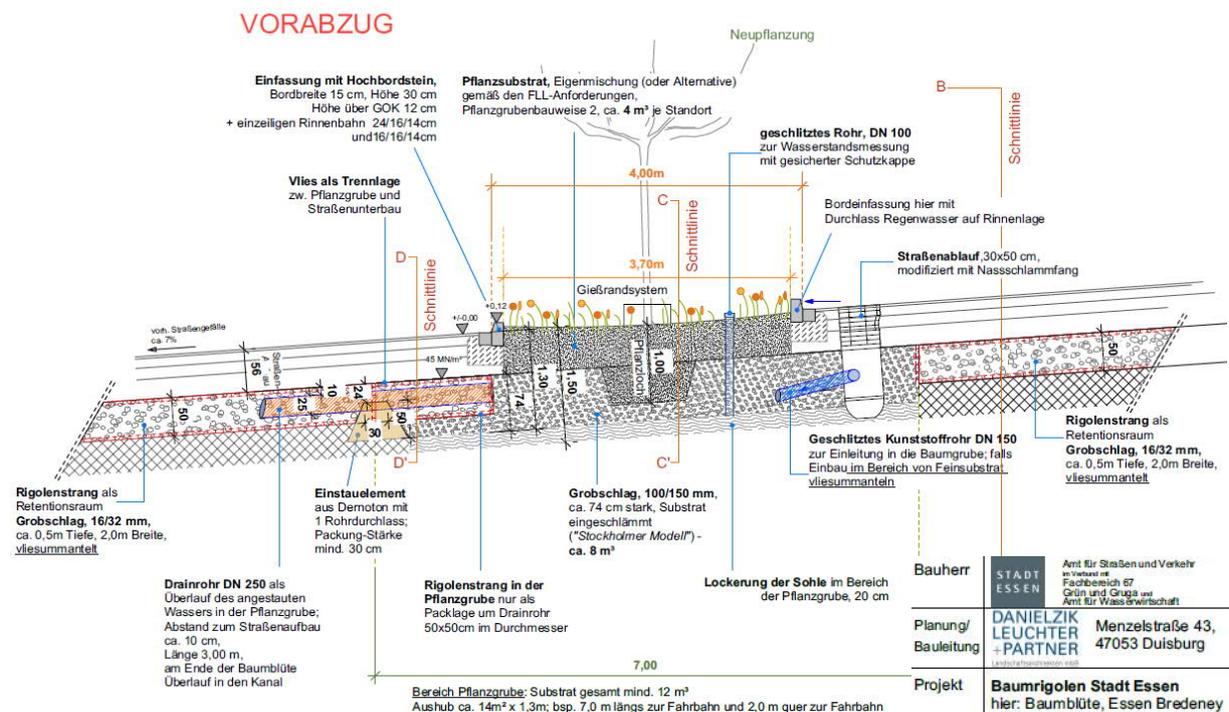


Abb. 22: Auszug Entwurfsplanung Baumrigole „Baublüte“ (Danielzik, Leuchter und Partner 2020)

## Durchlüftung Stadtklima

→ Bäume übernehmen mit ihren Verschattungs- und Verdunstungsleistungen einen wichtigen Beitrag zur Klimaanpassung. Die Wirkungen auf das Wohnumfeldklima lassen sich mit Simulationswerkzeugen modellieren und optimieren.

Die urbanen Baumbestände tragen mit den direkten Verschattungsleistungen und als Orte der Kaltluftentstehung im gesamten Stadtgebiet zur Luftbewegung bei. Eine gezielte Integration des Kaltluftabflusses und möglicher Barrierewirkungen zur Kaltlufteinstauung ist ein wesentliches Element der Klimaanpassung auf der Planungsebene der Flächennutzung, sollte aber auch auf Quartiersebene für die Verbesserung des Mikroklimas genutzt werden. Für die entsprechenden Planungsszenarien lassen sich die unterschiedlichen Wirkungen auf das Wohnumfeldklima mit Hilfe entsprechender Simulationswerkzeuge modellieren und optimieren.

onswerkzeuge detailliert optimieren. Der Beitrag des Baumbestandes trägt hier wesentlich zur Verbesserung der Qualität urbaner Lebens- und Arbeitsräume bei.

## 4.2 Straßenbäume



- Bei Neubau- und Sanierungsmaßnahmen müssen Pflanzgruben und der erweiterte Wurzelbereich fachgerecht hergestellt werden.
- Leitungen sollen, wenn möglich, aus dem statisch relevanten Wurzelbereich verlegt werden.
- Bei versiegelten, grundwasserfernen oder zur Austrocknung neigenden Standorten ist eine Verbesserung der Bodenluft- und des Bodenwasserhaushalts zu prüfen.
- Bei Nachpflanzungen soll eine Substratverbesserung nach FLL-Standard durchgeführt werden.

*„Gesunde Straßenbäume können das Mikroklima in den Städten deutlich beeinflussen und die Wirkung von gesunden Altbäumen ist hier besonders groß.“ (Heidger, 2019)*

Die Stadt und insbesondere Standorte entlang von Straßen stellen für die Bäume einen Stressstandort dar. Die Verschärfung der Situation durch den Klimawandel zeigt sich in den letzten Jahren ganz besonders durch zunehmendes Versagen von Straßenbäumen, unabhängig davon, ob Sie als Solitäre in einzelnen Baumbeeten oder bestandsbildend im Straßenbegleitgrün stehen.

Wurden bei der Stadt Essen 2009 noch unter 1.000 Bäume jährlich als sogenannte Risikobäume mit engerem Baumkontrollintervall identifiziert, so stieg diese Zahl mit dem Aufkommen neuer Krankheiten deutlich an, verschärfte sich dann besonders durch die schweren Schäden durch Ela und liegt heute aufgrund der vergangenen Dürrejahre bei rund 4.000 Neuerfassungen pro Jahr. Von den insgesamt rund 60.000 Straßenbäumen in Essen mussten in den letzten 10 Jahren rund 15.000 Bäume wegen erheblicher statischer Mängel gefällt werden bzw. gingen bei Ela verloren. Weitere 15.000 Bäume sind mit einem teils extrem hohen Schädigungsgrad als Risikobäume in enger wiederkehrender Kontrolle.

Aktuell bieten die Pflanzgruben und die darüber weit hinausgehend benötigten unterirdischen Baumstandorte nur unzureichend Platz und Versorgung für das Wurzelwerk. Die Pflanzgruben sind zudem an den Seiten oft durch tiefgründige Fundamente, Störschichten oder Schadverdichtungen begrenzt. Häufig ist das Substrat selbst in den Pflanzgruben mit Bau- und Industrieschutt durchmischt und bietet dem Baum keine optimale Wasser- und Nährstoffversorgung. Auflasten durch Gehwegplatten und das Befahren des unbefestigten Baumumfeldes mit Fahrzeugen beschädigen die Wurzeln direkt, verdichten den Untergrund und machen ihn schwer durchwurzelbar. Straßenbäume sind außerdem Streusalz und Fahrzeugemissionen ausgesetzt. Im erweiterten Wurzelraum beeinflussen zudem Leitungen, Rohre und zum Teil U-Bahnschächte den durchwurzelbaren Raum und die Versorgung des Baumes. Das Niederschlagswasser wird größtenteils oberflächlich abgeführt und in die Kanalisation geleitet, sodass es den Pflanzen nicht zur Verfügung steht. Verletzungen in Folge von Kollisionen mit Fahrzeugen oder unsachgemäße Beschädigungen durch regelwidrige Hoch- und Tiefbauarbeiten machen die Bäume anfälliger gegenüber Schädlingen und Krankheiten mit massiven Auswirkungen auf die kurz- bis mittelfristige Stand- und Bruchsicherheit der Bäume.

Im Straßenbereich wird eine Vielzahl an Anforderungen an den Straßenbaum gestellt. Hierbei steht vor allem die Verkehrssicherungspflicht im Vordergrund. Von Vorteil sind z. B. ein durchgehender Leittrieb, der die Anpassung an den LKW-Verkehr erleichtert (Lichtraumprofil), ein geringer Totholzanteil, eine hohe Widerstandsfähigkeit gegen Krankheiten, kein schädigender Fruchtfall und ggf. eine schmalere Kronenform mit verkürztem Lebenszyklus für enge Straßenschluchten. Zudem spielt die Salzverträglichkeit und auf extrem schlechten Standorten die Trockenheitsresistenz eine wichtige Rolle.

Vitale Straßenbäume prägen mit ihrer Gestalt das Stadtbild, kühlen durch Verschattung und bei entsprechender Bodenwasserversorgung besonders an heißen Tagen die Umgebungsluft und filtern im belaubten oder benadelten Zustand Luftschadstoffe. Ferner gewährleisten vitale Straßenbäume eine geringere Wahrscheinlichkeit von Baumwurf und Astbruch bei Starkwindereignissen. Somit trägt die Vitalität des straßenbegleitenden Baumbestandes einen Beitrag zum Schutz kritischer Infrastrukturen und der Aufrechterhaltung ihrer Versorgungsdienstleistungen bei.

Auf Basis der im Laufe des Projektes gesammelten Erkenntnisse zu den Ursachen für das Versagen von Straßenbäumen im Stadtgebiet von Essen hat sich dort in der Verwaltung die Erkenntnis eingestellt, die unverzichtbaren Leistungen vitaler Straßenbaumbestände zukünftig besser gewährleisten zu wollen und auch zu können.

Folgende Maßnahmen sind für das Beispiel der Stadt Essen für eine zukunftsfähige Aufstellung vitaler Straßenbaumbestände erforderlich:

- Bei Neubau- und Sanierungsmaßnahmen werden sowohl die Pflanzgruben als auch der erweiterte Wurzelbereich unter befestigten Verkehrsflächen fachgerecht hergestellt (s. Kap 3.5.2). Für diese Aufgabe sind die umfangreichen Verwaltungsabläufe anzupassen. Dies trifft Vergabe- und Vertragstexte, Bauleitungs- und Bauabnahmestandards.
- Bei Neubau- und Sanierungsmaßnahmen sollen Leitungen aus dem statisch relevanten Wurzelbereich umgelegt werden. Wenn nicht anderweitig verlegbar, sind im erweiterten Wurzelbereich Leitungen möglichst wartungsfrei bzw. wartungsfreundlich zu verlegen und zum Schutz vor Baum-Leitung-Interaktionen fachgerecht zu betten.
- Bei Neubau- und Sanierungsmaßnahmen hoch versiegelter und/oder grundwasserfernen und zur Austrocknung neigender Baumstandorte wird zukünftig grundsätzlich die Verbesserung des Bodenduft- und Bodenwasserhaushaltes geprüft. Hierzu sind bereits erste Bauvorhaben zur Anwendung der Rigolentechnik in Anlehnung an das Stockholmer Modell konkret geplant. Die Ergänzung der manuellen Bewässerung durch verbesserte Oberflächenversickerung, Bewässerungssysteme mit Speisung aus Regenrückhaltebecken oder Oberflächengewässern sowie Dochtssysteme zum Grundwasseranschluss von Baumbeeten auf industriegeprägten Konversionsböden sind weitergehende Optionen.

Als Sofortmaßnahme werden losgelöst von Sanierungsmaßnahmen bei allen erforderlichen Straßenaumnachpflanzungen mit nicht überbauten Baumbeeten, welche die Mindestgröße von 12 m<sup>3</sup> Pflanzgrubengröße erfüllen, eine vollständige FLL-konforme Substratverbesserung realisiert. So konnten in 2019 erste 96 von 345 Standorten dem FLL-Standard entsprechen. In 2020 werden bereits 593 der 895 Standorte für Nachpflanzungen die FLL-Konformität erzielen.

#### 4.2.1 Hauptstraßen



- Simulationen haben gezeigt, dass Bäume mit einer durchgängigen Sprossachse ein deutlich geringeres Schadenspotential zeigen.
- Dort, wo eine Verlegung von Leitungen aus dem statisch relevanten Wurzelbereich nicht möglich ist oder sich Oberleitungen im Fallbereich der Bäume befinden, ist über alternative Begrünungselemente nachzudenken.

Für die Baumbestände im Sicherheitsbereich von Hauptverkehrsstraßen dient die normierte Verkehrssicherungspflicht zur Gewährleistung der Hauptverkehre des Individualverkehrs, des Lieferverkehrs, des ÖPNV sowie zur Rettung, Löschung, Bergung in Not- und Katastrophensituationen. Des Weiteren liegen unter den Hauptverkehrsstraßen große Teile des Leitungs- und Kanalnetzes zur Ver- und Entsorgung der Stadtquartiere.

Die Koexistenz des notwendigen Schutzes kritischer Infrastrukturen und der Leistungserbringung durch einen sicherheitsoptimierten Baumbestand setzt ein ganzheitlich abgestimmtes Handeln aller Beteiligten voraus. In diesem Spannungsfeld ist für die Vitalitätssicherung des Baumbestandes eine besonders enge Abstimmung für die Sicherung des unterirdischen Verankerungs- und Versorgungsbereiches des Baumes im Einklang mit den notwendigen Leitungen und Kanälen erforderlich.

Die aktuelle Erfahrung mit den schlecht versorgten Baumstandorten in Hauptverkehrsstraßen zeigt, dass die fehlende Berücksichtigung der aktuellen Erkenntnisse bezüglich der biologischen Anforderungen für ein vitales Baumwachstum bei der oftmals lange zurückliegenden Anlage der Baumstandorte in Verbindung mit weiteren negativen Entwicklungen durch unsachgemäße Bodenveränderungen und -verdichtungen im Wurzelbereich zu erheblichen Problemen in der Aufrechterhaltung der Verkehrssicherheit des Baumbestandes führt. Mussten Straßenbäume bis vor 10-15 Jahren im Durchschnitt ledig-

lich alle drei Jahre einer verkehrssichernden Baumpflege unterzogen werden, sind nach Feststellung des Arbeitskreises Stadtbaum der Gartenamtsleiterkonferenz (GALK e.V.) heute nahezu alle Straßenbäume auf den schlechten Standorten jährlich wiederkehrend zu sichern. Neben den erhöhten Risiken für die Verkehrsteilnehmer übersteigen die Kosten für die Planung und verkehrstechnische Umsetzung dieser jährlich wiederkehrenden Baumpflegemaßnahmen die Investitionskosten und Mehraufwände für die ordnungsgemäße Erstellung eines funktionsfähigen Wurzelbereichs bei Neupflanzung oder im Rahmen von umfangreichen Arbeiten der Straßen- und oder Kanalsanierungsmaßnahmen um ein Vielfaches.

Im Rahmen der Windfeld- und Einzelbaumsimulationen mittels ENVI-met konnte gezeigt werden, dass Baumarten, die im natürlichen Habitus eine durchgängige Sproßachse entwickeln und im Rahmen der Jungbaumpflege gezielt auf diesen Habitus hin gepflegt werden, ein deutlich geringeres Schadenspotential, insbesondere gegenüber Sommersturmereignissen zeigen. Die Entwicklung einer durchgängigen Sprossachse verhindert die kronleuchterähnliche tief ansetzende weit ausladende Teilkronenbildung mit extremen Drehmomenten. Aus den Erfahrungen mit Ela sind schwere Kronenteile im Vergleich zu kleineren Kronenteilen in der Regel nur durch Spezialkräfte zu beräumen. Die Geschwindigkeit für die Selbsthilfe durch die Regelkräfte der Katastrophenschutzdienste und sachkundige Bürger\*innen mit eigenem Equipment wird durch eine sachgerechte Entwicklungspflege nachhaltig optimiert. Das Begrünungsziel kann somit bei entsprechender städtebaulicher Ausgangslage und Verfügbarkeit geeigneter Baumstandorte auch in Hauptverkehrsstraßen mit den besonders leistungsfähigen Bäumen 1. Ordnung arbeiten. In der Windfeldanalyse für östlich geprägte Windrichtungen als kritisch zu würdigende Standorte, wo sich die Energie aufgestauter Luftmassen in Straßenachsen zwischen engen Siedlungslücken entlädt, sollten grundsätzlich als erstes widerstandsfähige Bäume 2. Ordnung zur Teilenergieaufnahme stehen.

Neben den Hauptverkehrsachsen selber als besonders kritisch eingeordnete Infrastrukturen sollten auch weitere kritische Strukturen wie nicht verlegbare oder anderweitig schützbar unterirdische Leitungsknoten oder nicht stromfrei schaltbare Kreuzungsbereiche von Oberleitungsnetzen des ÖPNV nicht im statisch relevanten Wurzelbereich oder Fallbereich von Bäumen liegen. In diesen Bereichen muss zum Ersatz der Gemeinwohlleistungen des Stadtbaumbestandes über alternative Begrünungselemente z.B. in Form von Fassaden- oder Dachbegrünung oder unkritische Baumstandorte in realistischer Funktionsausgleichentfernung nachgedacht werden.

#### 4.2.2 Nebenstraßen



→ Flächen mit einer hohen Multifunktionalität erfordern die Errichtung von überbaubaren Pflanzgruben (Typ 2)

Nebenstraßen dienen der Feinerschließung der Immobilien für Wohnen und Gewerbe. In verkehrsberuhigten Wohn- und Geschäftsbereichen weisen sie darüber hinaus eine hohe Aufenthaltsqualität auf und dienen als Spielstraßen im Vorrang den Kindern als Spielraum. Die Oberflächengestaltung orientiert sich an den aufzunehmenden Lasten für die Zielorte und variiert vom Schwerlastverkehr bis hin zur einfachen Gewährleistung der Rettungswege in reinen Wohngebieten. In Nebenstraßen ist fast immer eine störungsfreie Koexistenz von Baumstandorten und Leitungsnetzen möglich. Da diese in der Vergangenheit jedoch unzureichend bedacht wurde, sind bei Straßensanierungen meistens auch Leitungsumlegungen erforderlich.

In Nebenstraßen gilt für die Verkehrsteilnehmer die gleiche Sicherheitserwartung an den Baumbestand. Rettungszufahrten für wichtige Gebäude der kritischen Infrastrukturen sowie Zuwegungen zu Bildungs-, Gesundheits- und Sozialeinrichtungen sollten in der Baumbestandsplanung und bei der Wiederherstellung der Verkehrssicherheit nach Großschadensereignissen bei Funktionszusammenhang mit der kritischen Infrastruktur analog der Hauptverkehrsachsen und andernfalls in der sofort nachgeordneten Priorität bearbeitet werden.

Die untergeordnete Straßenfunktion rechtfertigt eine dem Hauptverkehrsnetz nachgeordnete Wiederherstellung der Verkehrssicherheit nach einem großflächigen Schadensereignis wie z.B. dem Sommerorkan Ela. Eine baubedingte Blockade einer Nebenstraße hat demnach auch eine untergeordnete Auswirkung auf die Funktionsfähigkeit der städtischen Infrastruktur und den wesentlichen Quell-

Zielbeziehungen der Notfallrettung und Notfallversorgung, so dass hier für die Anpassung des Baumbestandes hinsichtlich der Sturmfestigkeit eine untergeordnete Priorität besteht. In diesen Bereichen liegt für die klimaangepasste Entwicklung des Baumbestands das Hauptaugenmerk auf den Klimaanpassungs- und Klimaschutzzielen mit möglichst hohem Leistungsvermögen für die Regenwasserretention, Verschattung, Temperatursenke und Lufthygiene.

Da in den Nebenstraßen häufig Platz für Anwohnerparkplätze gegeben sein muss, kann ein Nutzungskonflikt entstehen. In Gebieten mit hoher Multifunktionalität der Flächen mit hohem Versiegelungsdruck ist in der Regel die Errichtung von überbaubaren Pflanzgruben (Typ 2) mit entsprechender Wasser- und Bodenluftversorgung erforderlich.

### 4.3 Immobilienwirtschaft



Bäume können den Wert einer Immobilie steigern, indem sie das Wohnumfeld bzw. das Quartier aufwerten und so die Lebensqualität verbessern. Grüne Infrastruktur kann ein entscheidender Standortfaktor sein. Im Sommer können die Bäume die Gebäude verschatten und so die Raumtemperatur regulieren. Hierdurch können die energetischen Aufwände für die im Klimawandel zunehmend benötigte Raumluftkühlung deutlich gesenkt werden.

In Angrenzungen der nachfolgend beschriebenen Stadtstrukturen an offene Landschaftsbereiche oder Wälder mit besseren kleinklimatischen Lebensbedingungen sollte vorzugsweise auf standortgerechte einheimische Arten zurückgegriffen werden.

Zur Ergänzung der Gemeinwohlleistungen des Stadtbaumbestandes kommen auch weitere Begrünungselemente, z.B. in Form von Fassaden- oder Dachbegrünung in Frage, die hier jedoch nicht weiter betrachtet werden.

#### 4.3.1 Wohnbebauung



Bei der Wohnbebauung steht der Aspekt der Verschattung der Gebäudefassaden insbesondere mit Süd- und Westexposition sowie der möglichst weitgehenden Verschattung der versiegelten Bereiche, insbesondere in den Mittag- und Nachmittagsstunden im Vordergrund. Großkronige vitale Bäume gewährleisten die erforderliche Verschattung optimal.

#### Blockbebauung

- Leistungsziel: Beschattung der Bebauung und damit einhergehend Schaffung eines Luftaustauschs. Ein intelligentes Regenwassermanagement versorgt die Bäume mit ausreichend Wasser.
- In Siedlungsbereichen mit Blockbebauung sollten Baumbestände mit Strömungsexposition mit Bäumen 2. Ordnung geplant werden.

Die Blockbebauung ist charakterisiert durch einen besonders hohen Versiegelungs- und Bebauungsgrad, so dass man es hier oftmals mit stadtklimatischen Sanierungsgebieten zu tun hat. Die geschlossene Bebauung bedingt einen geringen Luftaustausch und einen überwiegend guten Schutz der Baumbestände gegen Starkwinde. Der Fokus für die Entwicklung der Baumbestände liegt hier in einer möglichst großflächigen Beschattung der versiegelten Bereiche innerhalb der Blöcke und auf den Straßenachsen durch vitale Solitärbaumbestände. Die entstehenden Temperaturunterschiede sorgen für eine eigene Luftaustauschdynamik innerhalb der Wohnblöcke. Die Schaffung und Wiederherstellung guter Baumstandorte mit großen, gut durchwurzelbaren Böden in Verbindung mit einem intelligenten Regenwassermanagement ist für dieses Ziel unerlässlich.

Bei Starkwinden zeigen die Windfeldanalysen eine besondere Strömungsintensität an den Bebauungsunterbrechungen innerhalb der Blöcke oder in den Straßenachsen zwischen den Bebauungsblöcken. Zum Schutz der Funktionsnachhaltigkeit der Baumbestände sollten die Baumbestände mit Strömungsexposition zu Bebauungsunterbrechungen mit östlich gerichteten Expositionen grundsätzlich mit widerstandsfähigen Bäumen 2. Ordnung geplant werden.

## Zeilenbebauung

- Leistungsziel: Verwendung von groß- bis mittelkronigen Bäumen und eine große Baumartenvielfalt in Form von Baumgruppen und -hainen sowie Solitärgehölzen

Die Zeilenbebauung ist durch einen geringeren Versiegelungsgrad und höheren Grünflächenanteil geprägt. Als Leitbild für die Baumpflanzung können aufgrund der großzügigen Platzverhältnisse und zur Minderung der »Wucht« der Baumassen vor allem groß- bis mittelkronige Bäume Verwendung finden, wobei die überwiegend monotonen Bauformen durch eine große Vielfalt an Baumarten kontrastiert werden können. Als Gestaltungselemente in den Bereichen mit Zeilenbebauung (»fließende Räume«) kommen vor allem Baumgruppen, Baumhaine und Solitärgehölze zum Tragen. Baumreihen kennzeichnen die Straßenachsen. Sowohl Baumarten mit Blüh- und Herbstaspekten, die den Wechsel der Jahreszeiten erlebbar werden lassen, als auch große immergrüne Bäume wie Nadelbäume, die auch im Winter die Blockbebauung auflockern, können Verwendung finden. Das Abstandsgrün kann durch bisher wenig verwendete Baumarten bereichert werden, besonders von Arten, die im Straßenraum nicht geeignet sind.

## Eigenheimsiedlungen

- Leistungsziel: Verschattung der Häuser durch Großbäume ohne Blühaspekt, um Individualität der Gärten hervorzuheben

Eigenheimsiedlungen mit Grundstücksgrößen bis ca. 350 Quadratmeter weisen in der Regel keine nennenswerten Baumbestände und häufig hohe Versiegelungsgrade in den (Vor-)Gärten auf. In diesen Situationen sollten im Straßenbegleitgrün und im Rahmengrün Großbäume die notwendige Verschattung für Fassaden und versiegelte Flächen leisten.

Je größer die Privatgärten werden desto vielfältiger, intensiver und großkroniger wird auch der Baumbestand innerhalb der privaten Gärten. Der öffentliche Baumbestand reduziert sich hier in der Regel auf das Straßenbegleitgrün. Eine funktionsgerechte Baumartenwahl sorgt für die Verschattung der versiegelten Verkehrsflächen und verzichtet auf besondere Blühaspekte zur Erlebbarkeit der individuellen Gartenkultur.

Aufgrund der geringen Gebäudehöhen können sich die Bäume 1. und 2. Ordnung bei fachgerechter Standortqualität sehr gut an die üblichen Windfelder anpassen. Baumbestände in Privatgärten erfahren eine sehr hohe Pflege, was die Erhöhung ihrer Vitalität und Stabilität zur Folge hat.

### 4.3.2 Bildungseinrichtungen



- Auf den Spielbereichen sind Sonnensegel wenn möglich durch leistungsfähige Bäume zu ersetzen.
- Die Einrichtungen sollen in Zukunft im Sturmfall als Schutzraum dienen und sind entsprechend baulich anzupassen.

Bildungseinrichtungen weisen häufig historisch bedingt einen sehr hohen Grad der Flächenversiegelung auf. Die ersten Entsiegelungs- und Begrünungsmaßnahmen in den 70er und 80er Jahren des vergangenen Jahrhunderts haben sehr häufig zu kleine Pflanzgruben für die Baumpflanzungen realisiert, sodass die Vitalität der Bäume vielfach mit denen im Straßenbegleitgrün zu vergleichen ist. Beim Sturm Ela sind daher sehr viele Bäume auf Schulhöfen oder den Außengeländen von Kitas umgestürzt oder so stark beschädigt worden, dass sie gefällt werden mussten.

Gerade in der unmittelbaren Umgebung von Bildungseinrichtungen übernehmen Bäume neben den regulierenden Funktionen wie Verschattung und Abkühlung durch Verdunstung auch noch wichtige kulturelle Leistungen. Schulhöfe und Spielbereiche gewinnen durch Bäume optisch an Wert und stellen oftmals eine wichtige Naturerfahrung für Kinder in der Stadt dar. Bäume können z.B. mit in den Unterricht integriert werden, um Lerninhalte direkt „am lebenden Objekt“ zu vermitteln. Es sollten in diesen Bereichen verschiedene Baumarten mit differenzierten Blüh- und Herbstaspekten sowie essbaren, aber auch ungenießbaren Früchten Verwendung finden.

Tab. 6: Ergebnisübersicht Interview Abteilung Pädagogische Einrichtungen Fachbereich Jugend, Bildung und Kultur der Stadt Essen

Gesundheitliche, pädagogische und monetäre Leistungen der Baumbestände in Freiflächen von Bildungseinrichtungen
Gebäudekühlung (zzgl. Vermeidung CO <sub>2</sub> -Ausstoss durch Klimaanlage)
Hautschutz durch Beschattung der Spiel- und Aufenthaltsbereiche
Verdunstungskühlung
Atemluft, Lufthygiene für Immunstärkung (Waldbaden)
Beobachtung Nahrungsgäste und baumbewohnende Tiere
Sichtschutz beim Spiel
Naturerlebnis Blätterrascheln, Lichtspiel, Jahreszeiten, Spiel-, Gestaltungs-, Bastelmaterial
Regen- und Windschutz
Jahreszeitenerlebnis, ...
Klettern/Sicherheitserziehung

Vor allem Kitas haben den Ausfall von schattenspenden Bäumen mit der Anbringung von Sonnensegeln ausgeglichen, die zwar für eine Beschattung der Spielbereiche sorgen, aber ansonsten die Ökosystemleistungen von Bäumen nicht ersetzen können und in der ökonomischen Betrachtung der Lebenszykluskosten der Einrichtung deutlich schlechter abschneiden.

Die Stadt Essen hat mit der Entscheidung, den Baumbestand in Bildungseinrichtungen einen eigenen Vermögenswert in der Anlagenbuchhaltung beizumessen, dazu beigetragen, dass die Nachpflanzung von Bäumen nunmehr der Sicherung des Anlagevermögens dient.

Im Falle eines Sturmes sind Bildungseinrichtungen als besonders sensible Infrastrukturen zu betrachten. Öffentliche Gebäude, Schulen und Kitas sollten auf Basis der Erkenntnisse aus Ela und vergleichbaren Sturmgeschehen der Vergangenheit nach § 1a (5) BauGB in Verbindung mit § 1 (6) 7. J) BauGB als Schutzraum dienen. Dazu sind die Gefahren durch Baumwurf und Astbruch zu minimieren und die Dachkonstruktion ggf. so zu verstärken, dass sie auch schweren Unwettern und Baumstürzen standhält. Für die systematische Sicherung der Rettungs- und Fluchtwege bei Baumschäden sollten diese als eigene kartografische Information im kommunalen Geoinformationssystem auf aktuellem Stand vorgehalten werden.

#### 4.3.3 Sportflächen

→ Die Ausstattung der Sportflächen mit einem Rahmengrün sollte generell mit Bäumen 1. Ordnung erfolgen.

Freiluftsportanlagen erfüllen aufgrund ihrer großen Freiflächen neben der Funktion für Bewegung und Sport wichtige Funktionen für ein gesundes Ambiente und für das Kleinklima angrenzender Stadtquartiere.

Die reinen Sportflächen sind heute überwiegend mit technischen Belägen versehen und verfügen über eine sehr eingeschränkte Versickerungsfähigkeit. Aufgrund der Größe der Spielflächen für die populären Mannschaftssportarten Fußball und Hockey ist die gesundheitliche Belastung der Freizeitsportler\*innen, insbesondere der Kinder, für Kreislauf und Haut zunehmend grenzwertig.

Zum Schutz der Freizeitsportler\*innen durch möglichst viele verschattete Bereiche und zur Erfüllung der stadtklimatischen Freiflächenfunktionen sollten Sportstätten stets mit einem Rahmengrün bestehend aus einer dichten Strauchschicht und vitalen Solitäräumen 1. Ordnung eingefasst werden. In den

Nebenflächen großer Sportanlagen sollten Solitärbäume für eine möglichst großzügige Verschattung der Ruhe- und Aufenthaltsbereiche zwischen den einzelnen Spielfeldern und in den Aufenthaltsbereichen der ansässigen Vereine sorgen. In Verbindung mit einer intelligenten Regenwasserbewirtschaftung können Sportflächen einen erheblichen Beitrag zur Verbesserung der Gesundheit von Freizeitsportlern und des Stadtklimas leisten.

Mit Blick auf die Erfahrungen von Ela sollte die technische Erschließung des Rahmengrüns gewährleistet sein, sodass auch bei stärkeren Schäden die Funktionsfähigkeit der Anlagen mit ehrenamtlicher Unterstützung schnell und bedarfsgerecht wiederhergestellt werden kann.

#### 4.3.4 Gewerbegebiete



→ Eine umfangreiche Verschattung verhindert die Aufheizung der stark versiegelten Flächen und der angrenzenden Wohngebiete.

Gewerbegebiete sind durch besonders hohe Versiegelungsgrade und oftmals besonders große Dimensionen der Industrie- und Gewerbebauten geprägt. Die Gewerbebetriebe emittieren oftmals deutlich höhere Wärmestrahlung als Wohnquartiere. Durch eine möglichst umfangreiche Verschattung der versiegelten Flächen und Bauwerke sowie die Verdunstungskühlung leistet der Baumbestand in Gewerbegebieten einen Beitrag zur Verbesserung der Arbeitsbedingungen. Durch die Verwendung von Stadtbäumen können die Gewerbe- und Sondergebiete ökologisch und gestalterisch aufgewertet und in die Umgebung eingebunden werden. Die Erschließungsstraßen werden mit unterpflanzten Straßenbäumen ausgestattet. Baumreihen und Alleen sind gliedernde und gestaltprägende Elemente in diesen Gebieten. Es werden vor allem großkronige Baumarten verwendet. Störende Objekte im Stadt- und Landschaftsbild und städtebaulich ungeordnete Situationen werden gegebenenfalls auch mit immergrünen Bäumen kaschiert bzw. gestalterisch gefasst. Die Grünflächen der Gewerbegebiete erfahren eine Bereicherung durch bisher wenig verwendete Baumarten, besonders von Arten, die im Straßenraum ungeeignet sind. Gewerbeflächen beinhalten oftmals Ruderalstrukturen mit seltenen Habitaten. Das Rahmengrün erfüllt im innerstädtischen Biotopverbund wichtige Funktionen und sollte mit einem Gerüst von Bäumen 1. und 2. Ordnung mit hoher Einzelbaumstabilität versehen sein und Anschluss an die grüne Infrastruktur erhalten.

#### 4.4 Grünanlagen



→ In Parks und Grünanlagen verhindert ein höhen- und altersgemischter Baumbestand hohe Funktionsverluste bei einem Sturmereignis.

Grünanlagen wie z.B. Pocketparks, Stadtgärten oder Landschaftsparks übernehmen als eigenständige Grünräume in der Grünen Infrastruktur herausragende Funktionen innerhalb der Stadt. Sie dienen der Naherholung, dem freien Spiel, sorgen für ein Naturerlebnis z.T. mitten im dicht bebauten Stadtbereich und können benachteiligte Quartiere aufwerten. Die über freien Grünflächen entstehende nächtliche Kaltluftbildung verteilt sich bei günstigen Reliefbedingungen und planvoll unterhaltenen Luftwegen in angrenzende Wohngebiete und sorgt somit für eine Abschwächung der städtischen Wärmeinsel. Im Sommer spenden großkronige Bäume, wie sie häufig in Parks vorkommen, Schatten und bieten sich daher als Aufenthaltsort an heißen Tagen an. Um diese Funktionen zu gewährleisten, ist ein Erhalt der Bäume in den Grünanlagen besonders erstrebenswert.

Im Gegensatz zu Straßenbäumen bieten Grünanlagen aufgrund ihres breiten Spektrums an verschiedenen Lebensräumen eine größere Habitatvielfalt. Innerstädtische Grünzüge, die untereinander verbunden sind, ermöglichen eine Vernetzung der Habitate und leisten als Frischluftschneisen außerdem einen wichtigen Beitrag zum Stadtklima. Parks bieten aufgrund ihrer Ausgangsböden, bzw. besonders funktionsbewussten Bodenaufbereitung in Verbindung mit einer baumfreundlichen Gestaltung und fachgerechten Standortpflege im Vergleich zu Bepflanzungen an der Straße einen naturnahen Lebensraum für die Bäume, was sich in der längeren Lebensdauer von Parkbäumen widerspiegelt.

Durch eine höhen- und altersgemischte Unterhaltung des Baumbestandes in Kombination mit dem äußerst geringen Versiegelungsgrad von öffentlichen Grünanlagen führen sturmbedingte Verluste einzelner Bäume zu deutlich geringeren Funktionsverlusten als in den stark versiegelten Stadtstrukturen.

#### 4.5 Wald



→ Über die Naturverjüngung kann die Funktionssicherheit des Waldes gewährleistet werden

Die städtischen Waldungen in der Großstadt Essen sind von den bebauten Siedlungs- und Gewerbebereichen umschlossen oder grenzen direkt an. Somit ergibt sich für diesen Bestandteil des urbanen Stadtbaumbestandes eine herausragende Bedeutung als naturnah bewirtschaftetes Ökosystem für seine gesundheitlichen und stadtklimatischen Gemeinwohlleistungen.

Für die optimale Leistungserfüllung hat die Stadt Essen während der Projektlaufzeit ein neues Forstbetriebswerk als mittelfristigen Betriebsplan verabschiedet, mit dem die konsequente Weiterentwicklung des Waldes im Sinne der Gemeinwohlfunktionen als Verwaltungsvorgabe festgeschrieben ist. Das laufende Geschäft der Verwaltung richtet sich bei der Umsetzung an die flächenscharf forstfachlich beschriebenen Waldentwicklungsmaßnahmen und den Bewirtschaftungsstandards des Forest Stewardship Councils® (FSC®).

Zur Sicherung der Stabilität und nachhaltigen Funktionssicherheit der Wälder ist die klimatische Anpassung der natürlich vorkommenden Baumarten durch Ausschöpfung ihrer genetischen Variabilität über Naturverjüngung alternativlos. Hierfür ist unter Beibehaltung des Bestandesinnenklimas immer wieder genügend Licht für die nachwachsenden Jungbäume erforderlich. Zur nachhaltigen Sicherung der Waldfunktionen und der Bodenfruchtbarkeit sind in Ergänzung der aktuell natürlich vorkommenden Baumarten bereits auch heute schon in geringem Umfang Baumarten der zukünftigen natürlichen Vegetation auf Basis der klimatisch zu erwartenden Standortbedingungen erforderlich.

## Monitoring – Wirkungen und Erfolge dokumentieren

---

Die Integration des Themas Stadtbaum in die planenden und bauenden Fachbereiche ist mit erheblichen finanziellen Investitionen verbunden. Ein geografisch verortetes Monitoring ermöglicht eine auf den Lebenszyklus der Maßnahme ausgerichtete Kosten-, Qualitäts- und Risikobetrachtung, die das Verwaltungshandeln optimiert. So können Wirkungen und Erfolge der Maßnahmen dokumentiert und Abläufe vereinfacht werden.

Ein Monitoring unterstützt bei den Maßnahmen zur Sicherung, Verbesserung und Wiederherstellung der Vitalität des Baumbestandes.

## 5 Monitoring als Qualitätssicherung für den Stadtbaumbestand



Die Entwicklung des Klimawandels erfordert ein konsequentes Indikatoren-basiertes Monitoring der Prozesse und Entwicklungen im Stadtbaumbestand. Das Monitoring unterstützt das Qualitätsmanagement bei den umfangreichen Maßnahmen zur Sicherung, Verbesserung und vielfach zwingend notwendigen Wiederherstellung der Vitalität und Leistungsfähigkeit der in großen Teilen geschädigten Stadtbaumbestände. Des Weiteren gibt das Monitoring den beteiligten Akteuren Transparenz hinsichtlich der realen Entwicklungen bzgl. der Leistungsfähigkeit und dem Stand der Klimaanpassung der urbanen Baumbestände.

Das Fachmonitoring ermöglicht eine Bewertung der Entwicklungen und Prognosen der baumbezogenen Stadtgrünplanung und –bewirtschaftung hinsichtlich der Leistungsannäherung an die nationalen bis kommunalen Klimaanpassungsziele und die Anpassung an die Veränderungen in den kritischen Infrastrukturen.

### 5.1 Stadtbodenmonitoring



- Alle bodenspezifischen Fachdaten sollen in einer Stadtbodenkarte zusammengeführt und für baumfachliche Fragestellungen aufbereitet werden.

Die Vitalität sowie die Bruch- und Standsicherheit eines Baumes basieren im Wesentlichen auf der Qualität seines Standortes. Der oberirdische Teil des Standortes wird im Rahmen der baumfachlichen gerichtsfest dokumentierten Regelkontrolle mit resultierender Baumpflege gemäß Fachstandards bei auskömmlichen Ressourcen regelmäßig begutachtet.

Die Leistungsfähigkeit eines zukunftsfähigen Baumstandorts hinsichtlich seiner Kühl- und sonstigen Gemeinwohlleistungen hängt im Wesentlichen von der Qualität des Bodens, insbesondere hinsichtlich seiner Durchlüftung, Nährstoffversorgung und des Wasserhaushaltes im Wurzelbereich der Stadtbäume, ab. Stadtböden können mittels der Erschließung des Bodenwassers und im Klimawandel zunehmend erforderliche intelligente ergänzende Zuleitung von Oberflächenwasser ganz erheblich zur natürlichen Kühlung des Stadtklimas beitragen. Praxis- und Hintergrundinformationen liefert die LANUV-Schrift „Kühlleistung von Böden – Leitfaden zur Einbindung in stadtklimatische Konzepte“.

In den Jahren 2019 bis 2020 wurden bei der Stadt Essen im Rahmen der Nachpflanzungsvorbereitungen für gefälltete Risikobäume an insgesamt 288 Straßenbaumstandorte mit entsprechender baulich offener Ausgestaltung ein Bodenaustausch für die unmittelbare Pflanzgrube von mindestens 12 m<sup>3</sup> (FLL-Mindeststandard) vorgenommen.

Im Rahmen der Pflanzgrubenausbesserung wurden bei nahezu 100 % der Standorte pflanzenschädliche Baustoffe und Schadverdichtungen vorgefunden. Bei rund 90 % der Standorte wurden erhebliche Schadstoffbelastungen festgestellt, aus denen zum Boden-, Umwelt- und Grundwasserschutz die Pflichtigkeit zum Bodenausbau resultiert.

Die Erkenntnisse aus dieser Pilotphase bestätigen die Erfahrungen des Baumpflegebetriebes zu den standortbedingten Vitalitäts- und Standsicherheitsmängeln des Stadtbaumbestandes und zeigen eindrücklich, dass die Stadtbaumstandorte, bestehend aus Pflanzgrube und erweitertem Wurzelraum einer besonderen Planung, baulichen Ausgestaltung und nachhaltigen Sicherung bedürfen.

Stadtbaumstandorte sind demnach immer auf das festgelegte Begrünungsziel hin zu entwickeln und zu schützen. Für den Wurzelbereich bedeutet dies, dass bei jeder Baumaßnahme der Boden unterhalb des späteren Ausdehnungsbereiches der Altbaumkrone unabhängig unterirdischer Leitungen und Oberflächengestaltung als funktionsfähiger Lebensraum der Wurzeln für die Versorgung des Baumes (wieder-)hergestellt werden muss.



Abb. 23: Baumbetausbesserung mit deutlicher Schottersohle ab 60cm Tiefe (Gabriel Volk, Stadt Essen, 2020)

Im Rahmen des Stadtbodenmonitorings ist es zielführend, dass alle Fachdaten, die z.B. im Rahmen von Baugrunduntersuchungen, bei Neubauvorhaben mit Oberflächenversiegelung, Sanierungsmaßnahmen zu Schadverdichtungen (s. auch Bodenkundliches Gutachten Krupp-Park, Essen, Weltecke 2020) sowie bei Straßensanierungen durch die Bauherrenämter bzw. städtebaulichen Vertragspartner standardisiert ermittelt werden und unter Federführung des technischen Umweltschutzes mit den Mitteln der Geoinformation fachbereichsübergreifend in der Stadtbodenkarte zusammengeführt und fachbereichsübergreifend z.B. für baumfachliche und oberflächenwassertechnische Fragestellungen aufbereitet werden.

## 5.2 Monitoring der Beschirmungsoberflächen

→ Ein Monitoring der Beschirmungsflächen liefert Erkenntnisse über die Veränderungen des Baumbestandes und kann Defiziträume aufzeigen.

Die Masse an umgestürzten und beschädigten Bäumen durch Ela erforderte eine schnelle Beräumung der Straßen vor allem in den Bereichen der kritischen Infrastruktur und machte die genaue Dokumentation des Ereignisses schwierig. Um aber aus den Geschehnissen für zukünftige Ereignisse zu lernen, ist eine Aufarbeitung in Form einer Schadensanalyse sinnvoll.

Die Stadt Essen verfügt über kein umfassendes Baumkataster. Eingepflegt werden lediglich Neupflanzungen und Bäume, die regelmäßig kontrolliert werden.

Diese Datenlage ist für eine Analyse des Ela-Ereignisses nicht ausreichend. Daher basiert die durchgeführte Geodatenanalyse auf der vom Land Nordrhein-Westfalen bereitgestellten Laserscandaten der Befliegung aus dem Jahre 2014 (vor Ela). Die Punktdichte ist angegeben mit vier Punkten pro m<sup>2</sup>, bestehend aus dreidimensionalen x-, y-, z-Koordinaten.

Auf Basis der Punktwolken ist neben einem digitalen Oberflächenmodell (DOM) ein digitales Geländemodell (DGM) als Rasterdatei mit einer Pixelgröße von 10 cm<sup>2</sup> erzeugt worden.

Während der Rasterdatensatz des DOMs die höchsten Werte der Punkte pro Pixel beinhaltet, spiegelt der Datensatz des DGMs die dort befindlichen niedrigsten Werte wieder. Durch eine Differenzbildung beider Rasterdaten (Differenzmodell), lässt sich ein normbasiertes Oberflächenmodell (nDOM) generieren, welches die relativen Höhenwerte oberhalb des jeweiligen Geländebereiches repräsentiert. Unter Verwendung dieser Rasterdaten konnten im weiteren Analyseprozess stadtweit sogenannte Beschirmungsflächen abgeleitet werden sowie die Standorte einzelner Stadtbäume.

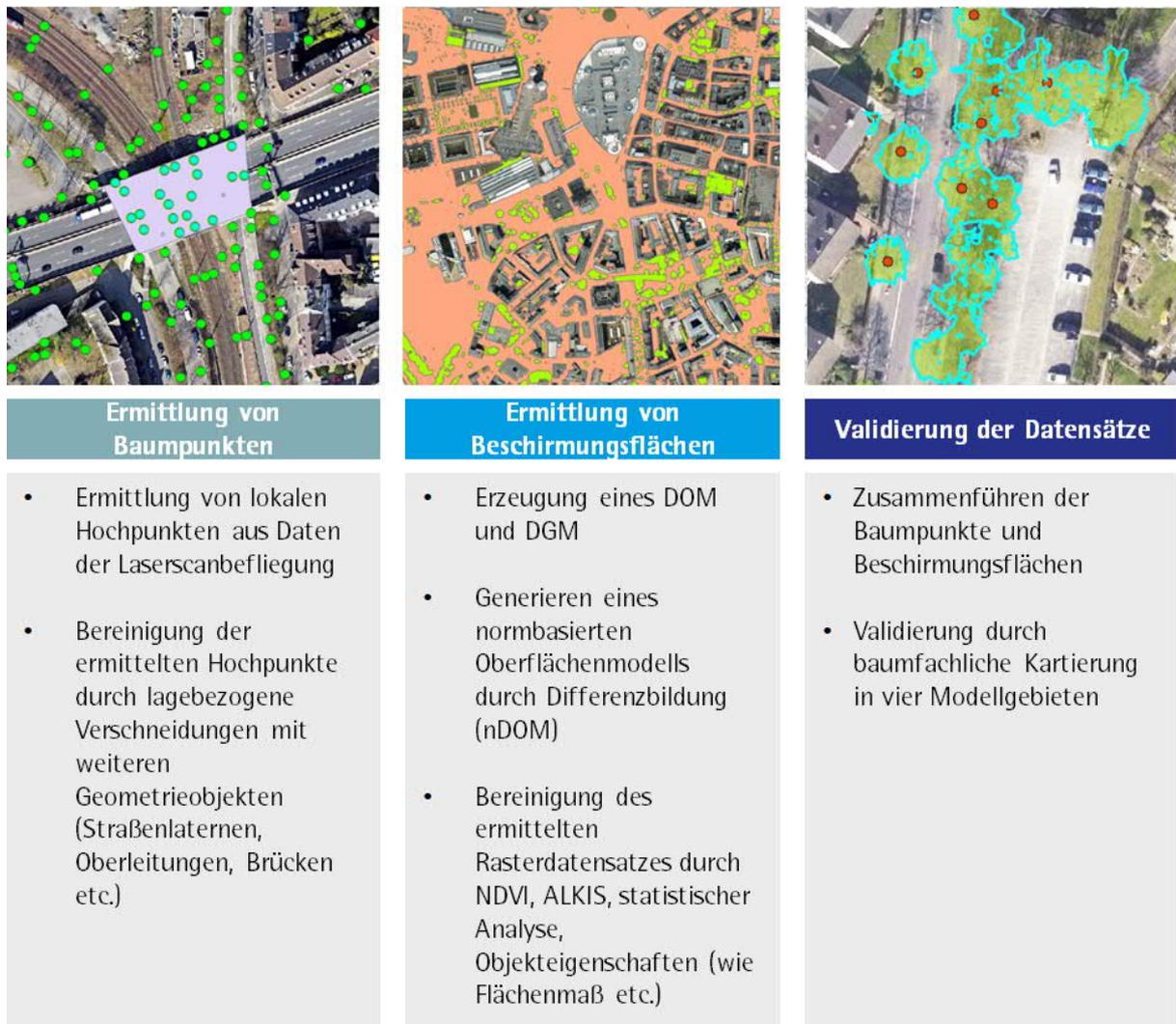
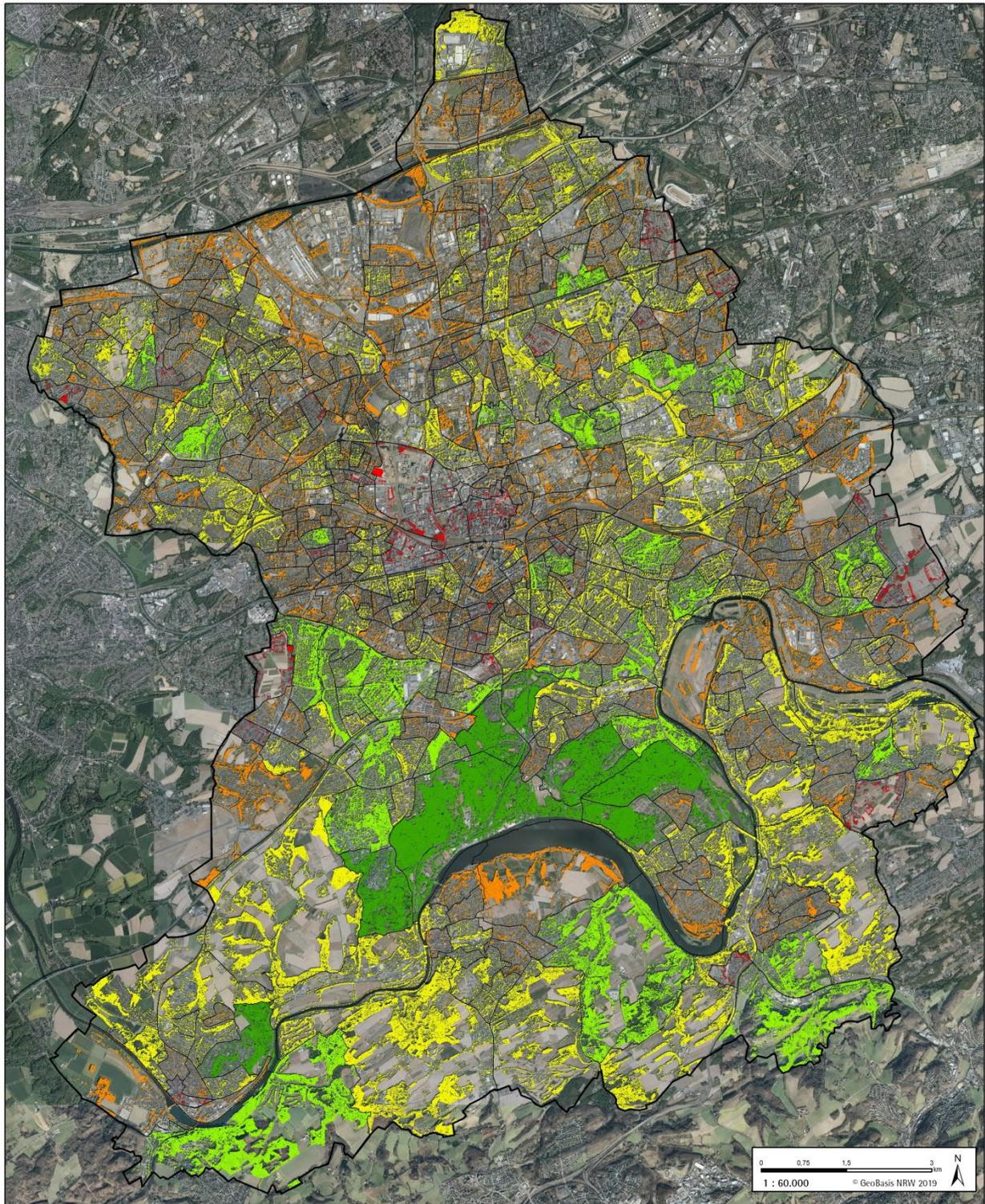


Abb. 24: Methodik zur Analyse von Baumpunkten und Beschirmungsflächen (Patrick Kaufels, 2020)

Da der Datensatz neben Bäumen alle weiteren erdenklichen Hochpunkte des gesamten Stadtgebietes beinhaltet, ist zunächst eine Eingrenzung der Werte auf potenziell relevante Bereiche durchgeführt worden. So wurde der Wertebereich auf die Höhenwerte zwischen 4,0 m und 55,0 m begrenzt. Dadurch sind potenzielle Hochpunkte unterhalb von 4,0 m und oberhalb von 55,0 m aus dem Raster entfernt worden. Jungbäume, die eine geringere Höhe als 4,0 m aufweisen, sind in einem eigenständigen, seit Ela erfassten Einzelbaumkataster als Punktgeometrie nachgewiesen und liegen supplementär vor. Darüber hinaus ist der NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) ebenfalls als Raster berechnet worden. Über die Angabe dieses Vegetationsindexes lässt sich die Vegetation in Luft- bzw. Satellitenbildern bestimmen. Dazu muss der sog. Nah-Infrarotbereich gegeben sein. Unter Verwendung der daraus resultierenden Flächen und derer im amtlichen Liegenschaftskataster (ALKIS) vorliegenden Gebäudestrukturen können weitere Messpunkte exkludiert werden. Über die übrigen Rasterdaten ist per statistischer Analyse - bezogen auf lokale Extrema - eine weitere Filterung durchgeführt worden.



**Prozentualer Anteil an Beschirmungsfläche pro Wohnviertel im Stadtgebiet von Essen**

**Beschirmungsfläche pro Wohnviertel in Prozent**

- < 10 %
- 10 - 20 %
- 20 - 30 %
- 30 - 45 %
- > 45 %

Eine Unterausstattung eines Gebietes mit beschirmter Fläche kann zu einer Überwärmung durch fehlende Beschattung führen. Die Quantität und Qualität an Ökosystemleistungen ist dann reduziert und die Lebensqualität in den betroffenen Quartieren ist geringer als in solchen mit einem hohen Anteil an Beschirmungsflächen.

**BMU Forschungsprojekt BaumAdapt**

Optimierung stadtweiter Ökosystemdienstleistungen urbaner Baumbestände im Einklang mit der Resilienz kritischer Infrastrukturen im Fokus sommerlicher Starkwindereignisse und Klimaanpassung



Abb. 25: Prozentualer Anteil an Beschirmungsfläche pro Wohnviertel (Julia Dingendahl, 2020)

Die Ergebnisse beschreiben die rechnerischen Positionen von Bäumen als Punktobjekte mit Höhenangaben und der zugehörigen Beschirmungsfläche. Beide Datensätze sind im Nachgang über die Verschneidung weiterer Geometrieobjekte bereinigt worden. Insbesondere die Punktgeometrien entlang der Hochspannungsleitungen, in den Bereichen von Straßenlaternen und Funkmasten, Brückenbauwerken oder Fahrleitungen von Straßenbahntrassen liefern in Ausnahmefällen Fehlinterpretationen. Die verbliebenen Beschirmungsflächen sind zuletzt noch über das Flächenmaß verringert worden. Die als relevant angesehenen Flächen weisen eine Fläche von mindestens 2,0 m<sup>2</sup> auf. Die Daten wurden abschließend mit Hilfe der in den Modellgebieten durchgeführten Kartierungen validiert.

Aus den erzeugten Daten wurde eine Karte erstellt (Abb. 25), die den prozentualen Anteil an Beschirmungsfläche pro Wohnviertel darstellt (Gesamtfläche Beschirmung geteilt durch Gesamtfläche Wohnviertel). Die Einheit „Wohnviertel“ umfasst jeweils 1.000 Einwohner\*innen. Zu erkennen ist, dass es deutliche Unterschiede des Beschirmungsgrads zwischen den Wohnviertel gibt. Die Methodik hilft zur Identifikation der vorrangig zu entwickelnden Viertel zur Sicherung und Verbesserung der Lebensverhältnisse durch grüne Infrastruktur im fortschreitenden Klimawandel.

Der erzeugte Beschirmungsflächen-Datensatz bildet eine wichtige Grundlage für die Modellierung der Ökosystemleistungen und der Differenzanalyse für die vier Modellgebiete (s. Kap. 5.3).

Mit der Erneuerung der Laserscandaten des Landes NRW, die für 2020 geplant ist, wird eine Differenzanalyse der Situation vor und nach Ela möglich, sodass die genauen Verluste der Beschirmungsfläche und auch einzelner Bäume für das gesamte Stadtgebiet sichtbar wird.

Das Amt für Geoinformationen, Vermessung und Kataster der Stadt Essen möchte gemeinsam mit dem Umweltamt (Fachbereich 59) sowie ‚Grün und Gruga‘ (Fachbereich 67) die Ergebnisse in das BMBF-geförderte Forschungsprojekt ‚KomMonitor‘ transferieren. KomMonitor erlaubt eine kleinräumige, multitemporale Raubeobachtung anhand von Indikatoren in verschiedensten Themenfeldern. Die gewonnenen Ergebnisse und Erkenntnisse aus dem BaumAdapt-Forschungsprojekt reichern dabei insbesondere Indikatoren im Themenfeld ‚Umwelt‘ signifikant an. Themen wie die Umweltgerechtigkeit, Klimaresilienz oder das Gefahrenpotential für urbane Hitzeinseln (UHI) können unter der Verwendung des erzeugten Datensatzes in ihrer Aussagekraft gestärkt werden. Zukünftige Datensätze, die nach der vorstehenden Methode erzeugt werden, können ebenfalls als neue Zeitschnitte in die KomMonitor-Webanwendung überführt werden, so dass eine Historie generiert werden kann.

### 5.3 Monitoring der Ökosystemleistungen

→ Ein Monitoring der Ökosystemleistungen liefert Informationen über die Entwicklung der Gemeinwohlleistungen. Verschlechterungen können so zeitnah aufgedeckt werden.

Bäume erbringen wichtige Leistungen für die Bewohner der Stadt. Wälder, Gärten und Parks dienen als Naherholungsgebiete, versorgen mit Sauerstoff und wirken regulierend auf das Klima. Die Beschattung durch das Blätterdach, die Kühlung durch Verdunstungseffekte und das Filtern der Stadtluft sind wichtige Ökosystemleistungen, aus denen wir Menschen einen Nutzen ziehen und die einen wichtigen Beitrag zur Klimaanpassung leisten.

Durch eine Analyse der Ökosystemleistungen der Bäume in der Stadt ist es möglich, ihren Wert zu bestimmen. Die sonst unsichtbaren Leistungen, von denen alle profitieren, können so sichtbar gemacht werden und zeigen die Bedeutung der Bäume für das Leben in der Stadt auf. Ein regelmäßiges Monitoring stellt sicher, dass sich die Leistungen der Bäume über die Zeit nicht verringern. Sofern die benötigten Daten regelmäßig aktualisiert werden, ist ein Monitoring der Ökosystemleistungen möglich. So können Veränderungen festgestellt werden und Leistungsverluste frühzeitig entgegengewirkt werden. Da sich die Standorte von Stadt- und Waldbäumen deutlich unterscheiden, sollte die Analyse der Ökosystemleistungen der Bäume in zwei voneinander getrennte Bereiche untergliedert werden. Zum einen der Betrachtung der Waldflächen und zum anderen die der freien Landschaft und Siedlungsstrukturen. Bei Verlust von Bäumen kann gemäß den jeweiligen Ökosystemleistungen zielgerichtet Ersatz oder Ausgleich geschaffen werden.

### 5.3.1 Analyse der Ökosystemleistungen von Stadtbäumen

Für die Analyse des urbanen Baumbestands bietet die frei verfügbare Software iTree eine einfache Möglichkeit klimatisch relevante Ökosystemleistungen von Stadtbäumen zu bestimmen. Bei der Software iTree handelt es sich um ein Modell, das auf Grundlagenforschungen in den USA basiert. Die zugrunde gelegten empirischen Untersuchungen in den USA wurden nur z.T. für Europa validiert und garantieren daher keine Übertragbarkeit der Ergebnisse. Die Nachverfolgung der Methodik hinter iTree ist relativ schwierig und komplex, da die einzelnen Gleichungen nur aus den Artikeln und Berichten der Grundlagenforschung zu entnehmen sind. Das Programm ist sehr bedienerfreundlich aufgebaut, sodass auch fachfremde Personen mit wenig Aufwand und ohne viel Vorwissen eine solche Analyse durchführen können. Nachteil des Programms ist die fehlende Konfektionierbarkeit der zu Grunde liegenden Berechnungsparameter, sodass es nicht möglich ist, das Modell benutzerspezifisch anzupassen. Dennoch bietet die Methode eine gute Möglichkeit, um eine Vorstellung von den geleisteten Ökosystemleistungen eines Baumes bzw. des Baumbestandes eines größeren Raumausschnitts zu bekommen. Interessant kann diese Anwendung auch für Bäume auf Privatgrundstücken sein. Ist den Baumbesitzern bewusst, welchen Wert ihr Baum im eigenen Garten hat, kann dies die Besitzer ermuntern, den Baum zu erhalten oder sogar noch weitere Bäume auf dem eigenen Grundstück zu pflanzen. Für die Analyse mit iTree müssen lediglich die Baumart und der Stammdurchmesser in Brusthöhe der zu untersuchenden Bäume bekannt sein. Die Angabe von weiteren baumspezifischen Parametern (z.B. Kronenansatz) verbessert die Genauigkeit der Berechnung deutlich. Ebenfalls ist eine Analyse mit iTree unter Verwendung eines Baumkatasters möglich, das in Tabellenform unproblematisch in das Programm integriert werden kann. Zusätzlich fließen Daten zum Klima und zur Feinstaubbelastung aus einer programminternen Datenbank in die Analyse ein. Da die Stadt Essen über kein umfassendes Baumkataster verfügt, konnte nicht auf flächendeckende Baumdaten zurückgegriffen werden. Stattdessen wurde für die vier Modellgebiete (s. Abb. 2) eine Kartierung des städtischen Baumbestandes beauftragt. Dabei wurden Daten zu insgesamt ca. 4.600 städtischen Bäumen aufgenommen. Die gewonnenen Daten wurden in iTree hochgeladen, das dann automatisiert Werte zu den berechneten Ökosystemleistungen herausgibt. Folgende Parameter wurden in das Programm eingegeben:

- Baumart
- Brusthöhendurchmesser
- Status (gepflanzt oder natürlich – da es sich um Stadtbäume handelt, wurde ausschließlich „gepflanzt“ angegeben)
- Landnutzung (die kartierten Bäume sind ausschließlich Straßenbäume, daher Landnutzung = Verkehr)
- Kronenbreite in N/S und W/O-Ausdehnung (hierbei wird von einer gleichmäßigen Krone ausgegangen, daher  $N/S=W/O$ )
- Baumhöhe
- Baumhöhe ohne abgestorbene Spitzen (es wird davon ausgegangen, dass dieser Wert der tatsächlichen Baumhöhe entspricht, da abgestorbene Spitzen im Zuge der Baumpflege beseitigt werden)
- Kronenansatz
- Lichtexposition der Krone (dieser Wert gibt an, von wie vielen Seiten der Baum Licht erhält; angenommen wird ein Durchschnittswert von 3, da dieser Wert bei der Kartierung nicht aufgenommen wurde)
- Fehlendes Kronenvolumen und Anteil der abgestorbenen Krone (beide Angaben werden aus der Vitalität abgeleitet)

Das Programm bestimmt dann folgende Werte (sowohl in Mengenangaben als auch monetär) für jeden eingegebenen Baum:

- Struktur des Baumbestandes (Artzusammensetzung, Beschirmungsfläche, Blattfläche u.v.m.)
- Kohlenstoffspeicherung
- Jährliche Kohlenstoffsequestrierung
- Sauerstoffproduktion
- Jährliche Feinstaubfilterung (PM2.5)

- Jährliche Filterung von Luftschadstoffen (CO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>)
- Ausstoß von Isoprenen und Monoterpen

Die Ergebniswerte werden pro Baum bereitgestellt, was eine detaillierte Analyse ermöglicht. iTree kann zudem Werte zu hydrologischen Aspekten, Krankheiten und Schädlingen liefern. Außerdem ist eine Prognose zur Entwicklung des Baumbestandes über mehrere Jahrzehnte möglich.

Für die Auswertung im Projekt BaumAdapt wurden die Analyseergebnisse zu Kohlenstoff, Sauerstoff, Schadstoff- und Feinstaubfilterung betrachtet und für vier Modellgebiete dargestellt.

Eine iTree-Analyse der gesamtstädtischen Leistungen kann aufgrund der fehlenden Daten nicht durchgeführt werden. Es ist aber möglich, die Ergebnisse aus den Modellgebieten anhand der Beschirmungsfläche auf das Stadtgebiet hochzurechnen. Dabei muss beachtet werden, dass die Stichprobe sehr gering ist, und eine Hochrechnung auf das gesamte Stadtgebiet allenfalls eine grobe Annäherung an die tatsächlichen Werte darstellt.

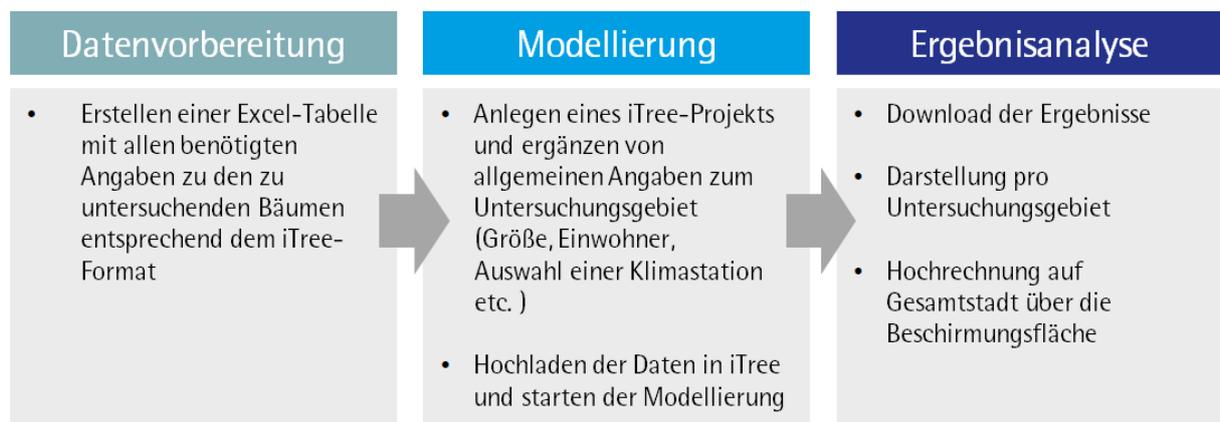


Abb. 26: Methodik zur Analyse von Ökosystemleistungen und deren Hochrechnung auf das Stadtgebiet (Julia Dingendahl, 2020)

Ausgehend von den ermittelten Beschirmungsflächen (s. Kap. 5.2) kann von den Ergebnissen der kartierten Stadtbäume in den Modellgebieten auf die Ökosystemleistungen der Bäume im gesamten Stadtgebiet geschlossen werden. Dazu müssen in einem ersten Schritt die Waldflächen, die Teil des Forstbetriebswerks sind, aus den gesamtstädtischen Beschirmungsflächen ausgeschnitten werden, da sich die Standorte der Straßen- und Waldbäume signifikant unterscheiden. Übrig bleiben dann alle Straßenbäume, Parkbäume, Bäume auf privaten Grundstücken sowie Waldbäume, deren Flächen nicht Teil von Forstbetriebswerken sind.

Zunächst werden die Einzelwerte der iTree-Ergebnisse für jedes Modellgebiet summiert. Mit der in iTree angegebenen Beschirmungsfläche können dann die durchschnittlichen Ökosystemleistungen pro 1 m<sup>2</sup> Beschirmungsfläche berechnet werden, indem der summierte Wert für das jeweilige Modellgebiet durch die in iTree ermittelte Beschirmungsfläche geteilt wird. Um den Gesamtwert der ÖSL der Stadtbäume für das Stadtgebiet zu erhalten, wird aus den Ergebnissen der Modellgebiete der Mittelwert gebildet und mit der Summe der Beschirmungsfläche (ohne Wald) multipliziert.

Analog dazu ist ebenfalls eine Aggregation der Ergebnisse auf verschiedene Raumebenen (z.B. Wohnviertelebene) und darauf aufbauend eine kartographische Darstellung möglich. Durch diese Vorgehensweise können auch Aussagen zu Defiziträumen oder Begrünungszielen getroffen werden. Die Aggregation auf verschiedene Raumebenen ermöglicht zudem die Einbindung der Ergebnisse in das kommunale GIS-gestützte raum-zeitliche Monitoringsystem „KomMonitor“.

#### Vergleich der Ökosystemleistungen von Straßenbäumen vor/nach Ela

Zusätzlich zu der oben beschriebenen iTree-Analyse wurde mit Hilfe der Software ein Vergleich der Ökosystemleistungen vor Ela (2014) und nach Ela (2019) für die vier Modellgebiete durchgeführt. Als Daten wurden dafür die durchgeführte Kartierung in den Modellgebieten zuzüglich der Baumdaten aus der städtischen Datenbank verwendet, in der alle Neupflanzungen sowie alle Bäume, die als Gefahrenbäume gelten und daher einer regelmäßigen Kontrolle unterliegen, aufgeführt sind. Die Bäume wurden anhand ihrer in der Datenbank beschriebenen Merkmale in die Gruppen „Schadlos durch Ela“, „Stark-

schaden durch Ela“, „Leichtschaden durch Ela“, „Ersatzlos verlorengegangen durch Ela“ und „Neupflanzungen“ untergliedert. In die Analyse flossen 5.232 Bäume ein. Die ela-bedingten Schäden an Bäumen wurden in iTree durch einen entsprechenden Abschlag (10-15 % bei Leichtschäden, 30-45 % bei Starkschäden) bei den Angaben zur Krone berücksichtigt. Mit den Werten wurden dann jeweils eine „vor Ela“ iTree-Analyse und eine „nach Ela“ Analyse durchgeführt. Die Ergebnisse wurden dann jeweils gegenübergestellt und die Differenz der erbrachten Ökosystemleistungen bestimmt.

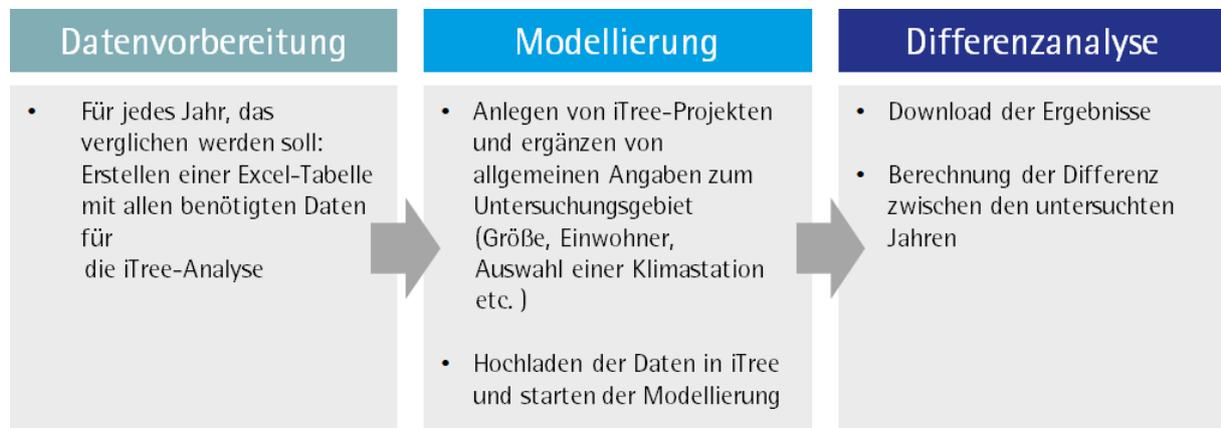


Abb. 27: Methodik zur Differenzanalyse der Ökosystemleistungen vor und nach Ela (Julia Dingendahl, 2020)

Insgesamt ist durch Ela ein Verlust von 7,7 % der untersuchten Bäume in den vier Modellgebieten festzustellen. Für die Ökosystemleistungen ergibt sich folgender Verlust:

Tab. 7: Ergebnisse der Vergleichsanalyse vor/nach Ela für Stadtbäume mit iTree

	Vor Ela	Nach Ela	Differenz	Prozentualer Anteil
Beschirmungsfläche	284.288,1 m <sup>2</sup>	261.371,0 m <sup>2</sup>	-22.917,1 m <sup>2</sup>	-8,1 %
CO <sub>2</sub> -Speicher	4.072,2 t	3.633,9 t	-438,3 t	-10,8 %
Jährliche CO <sub>2</sub> -Sequestrierung	93,34 t/Jahr	75,67 t/Jahr	-17,67 t/Jahr	-18,9 %
Jährliche Filterung von Luftschadstoffen und Feinstaub	1.554,5 kg/Jahr	1.390,3 kg/Jahr	-164,2 kg/Jahr	-10,6 %

Große Rückgänge der Leistungen sind v.a. bei der Kategorie der Neupflanzungen zu verzeichnen. In Folge des Sturms mussten viele zum Teil große Bäume gefällt werden, die dann durch neue Bäume ersetzt wurden. Diese können aufgrund ihres Alters die Leistungen der alten Bäume nicht kompensieren. Leistungseinbußen bei den Bäumen, die durch Ela leicht oder schwer beschädigt wurden, lassen sich auf die nun fehlenden Kronenteile zurückführen.

Insgesamt betrug 2019 der Kohlenstoffspeicher in den untersuchten Bäumen rund 438 t weniger als vor Ela. Pro Jahr wurde fast 18 t weniger CO<sub>2</sub> in der Biomasse der Bäume gespeichert und 164 kg weniger Feinstaub und Luftschadstoffe gefiltert. Teilweise können diese Werte durch das Wachstum der neugepflanzten Bäume kompensiert werden. 74 % der ökosystemaren Leistungsverluste sind auf die Bäume zurückzuführen, die durch Ela verloren gegangen sind und nicht nachgepflanzt wurden. Ein großer Teil dieser Baumverluste wird sukzessive durch Naturverjüngung kompensiert, die zum Zeitpunkt der Analyse jedoch noch zu klein war, als dass sie als Einzelbäume identifiziert wurden.

### 5.3.2 Analyse der Ökosystemleistungen von Waldbäumen

Als Beitrag zur Grünen Hauptstadt Europas wurden mit dem Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz NRW als Projektträger und unter der Beteiligung des Landesbetrieb Wald und Holz, des RVR Ruhrgrün, der Forstbetriebsgemeinschaft Ruhrtal und der Fakultät für Umwelt und natürliche Ressourcen der Universität Freiburg im Jahr 2017 die Ökosystemleistungen der urbanen Wälder erfasst und dargestellt. Das Stadtgebiet von Essen wurde dazu als Pilotgebiet ausgewählt. Das Unternehmen UNIQUE hat anhand der unten genannten elf Indikatoren ein prozessorientiertes Schritte-Konzept für die Erfassung und Darstellung von Ökosystemleistungen urbaner Wälder für die Praxis erstellt, das eine Übertragbarkeit auf andere Kommunen ermöglicht.

Tab. 8: Indikatoren für die Erfassung von Ökosystemleistungen urbaner Wälder (UNI Freiburg, 2014)

Ökosystemleistungen	Indikatoren
Luftreinhaltung	○ Waldflächen mit Schadstofffilterpotential
Temperaturregulierung	○ Waldflächen mit Kühlungspotential
Klimaschutz	○ Kohlenstoffspeicherung in der Baumbiomasse
Pufferung von Extremereignisse	○ Wasserspeicher Waldboden
Wasserfilterung	○ Grundwasserqualität unter Wald im Bereich von Trinkwassergewinnungsanlagen und Talsperren
Erosionsschutz – Bodenschutz	○ Bewaldete Steilhänge mit Erosionsschutzpotential
Erholung und Gesundheitsförderung	○ Erreichbarkeit von Wald ○ Erschließung von Wald ○ Ruhegebiete im Wald
Bildung und Umweltbildung	○ Umweltbildungsangebote im Wald
Naturschutz	○ Waldflächen unter Naturschutz ○ Vorkommnisse Planungsrelevanter Arten ○ Anteil des Totholzes am gesamten Holzvorrat/Anzahl ökologisch wertvoller Strukturen

Betrachtet wurden die Waldflächen, die Teil der Forsteinrichtung sind, und umfassen damit neben den städtischen Waldflächen auch Teile des Privatwaldes und Flächen des Regionalverbands Ruhr. Themenkarten, die mit den erzeugten GIS-Informationen dargestellt werden, ermöglichen es, das Thema einer interessierten Öffentlichkeit vorzustellen. Die Methodik kommt ohne neue Datenerhebung aus, damit diese für Kommunen leicht und mit angemessenen Ressourcen umsetzbar ist. Verwendet werden ausschließlich bereits vorhandene Daten, wie zum Beispiel Waldflächenkarten oder Daten zur Siedlungsstruktur, dem Straßennetz oder der Schadstoffbelastung. Die erstellten Indikatoren-Steckbriefe liefern alle relevanten Informationen zur Vorgehensweise, zu benötigten Daten und zu einer möglichen fachlichen Vertiefung, sodass die Methodik auch auf andere Waldflächen angewendet werden kann.

Schritte	Umsetzung in der Kommune	
<b><u>1. Auftakt</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Federführung abklären und Steuerungsgruppe etablieren, Einbeziehung von Akteuren festlegen</li> <li>→ <i>*Praxis-Hinweis (1): Mitwirkung unterschiedlicher Akteure</i></li> </ul>	<b>1</b>
<b><u>2. Ziele definieren</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ räumliche / thematische Schwerpunkte, Zielgruppen und genaue Produkte festlegen (Welche Indikatoren werden in welchen Karten wie dargestellt – auch technische Aspekte ansprechen und diskutieren, also Berechnungswege für die Indikatoren sowie Datenbestände)</li> <li>→ <i>*Praxis-Hinweis (2): Zeit- und Kostenaspekte</i></li> </ul>	<b>2</b>
<b><u>3. Daten</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Daten zusammenführen und recherchieren (keine eigenen Erhebungen), Daten aufbereiten, Datenlücken identifizieren</li> <li>→ <i>Praxis-Hinweis (3): Daten</i></li> </ul>	<b>3</b>
<b><u>4. Erfassung GIS</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ kartographische Aufbereitung der Daten in einem Geographischen Informationssystem (Schwerpunkt: Fachleute aus Forst- oder anderen Verwaltungen)</li> </ul>	<b>4</b>
<b><u>5. Themenkarten</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Erstellung von zielgruppen-gerichteten Themenkarten (Schwerpunkt: „interessierte Öffentlichkeit“, bzw. breiteres Publikum aus Verwaltung, Politik, Zivilgesellschaft, Bürgerschaft)</li> </ul>	<b>5</b>
<b><u>6. Abstimmung Steuerungsgruppe</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Validierung inkl. Nachjustierungen (z.B. Benennung von Indikatoren oder (Themen)Karten, bildliche Darstellung, Nutzung unterschiedlicher Verbreitungsmedien)</li> <li>→ Absprache über Zielgruppen/Rahmen/Möglichkeiten der Ergebnisverbreitung aktualisieren</li> </ul>	<b>6</b>
<b><u>7. Ergebnisverbreitung</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Präsentation des GIS und der Themenkarten auf Fachtagung/geeignetes Forum</li> <li>→ Ausstellung der Themenkarten</li> <li>→ Aufbereitung für andere Medien wie Internetauftritt usw.</li> </ul>	<b>7</b>

Abb. 28: Schritte-Konzept Erfassung und Darstellung von Ökosystemleistungen urbaner Wälder (UNIQUE 2017)



## 5.4 Monitoring Funktionsnetze Straßen und kritische Infrastruktur



- Das Monitoring der kritischen Infrastruktur unterstützt die Integration des Themas in den Planungsprozess.

Informationen über kritische Infrastrukturen werden größtenteils in verschiedenen Datenbanken bei den jeweils zuständigen Behörden oder Betreiberorganisationen gespeichert. Dies erschwert jedoch die integrierte Betrachtung und Berücksichtigung im Verwaltungshandeln. Daher ist es empfehlenswert, die Daten in einer zentralen Datenbank zu katalogisieren und kontinuierlich fortzuschreiben. Eine solche Datenbank sollte mindestens Daten bezüglich der räumlichen Verortung einzelner Einrichtungen, Anlagen und Netze beinhalten sowie Kontaktinformationen der zuständigen Stellen für den Störfall. Ferner sind jedoch weitere Informationen denkbar, die für eine solche Datenbank sinnvoll wären. Dazu gehören unter anderem die Anzahl an Betten und Intensivbetten von Krankenhäusern, die Zahl der Haushalte, welche an eine bestimmte Anlage angeschlossen sind, oder die Verkehrslast einzelner Abschnitte des Verkehrsnetzes, da dies Indikatoren für die Relevanz einzelner Komponenten des Infrastruktursystems sein können. Weitere Attribute, die Auskunft über die Kritikalität einer Infrastruktur geben, können zudem aus den Indikatoren der BSI-KritisV abgeleitet werden. Jedoch werden viele der Informationen über kritische Infrastrukturen aus gutem Grund bisher nicht an einem zentralen Ort gesammelt: Sie sind von Bedeutung für die öffentliche Sicherheit. Daher dürfte eine solche Datenbank vermutlich nicht öffentlich zugänglich sein, sondern nur für bestimmte Personen oder Personengruppen freigegeben werden, für die der Zugriff notwendig ist.

Eine solche Datenbank ist besonders sinnvoll, wenn sie mit einer kartografischen Aufarbeitung oder Geodaten einhergeht. So kann bereits in Planungsprozessen der Schutz kritischer Infrastrukturen berücksichtigt und deren Erreichbarkeit im Notfall gewährleistet werden. Neben der räumlichen Gesamtplanung wären diese Informationen essenziell für die Verkehrsplanung sowie für die Feuerwehr und bei Großschadenslagen auch für den städtischen Krisenstab. Denn nur wenn man über Standorte Bescheid weiß, kann man sie vor Schäden schützen und den Zugang zu ihnen für Einsatzkräfte im Notfall sicherstellen. Außerdem unterstützt eine Datenbank, in der die Kontaktdaten der Ansprechpartner\*innen bei den Betreibern hinterlegt sind, alle relevanten Stakeholder in die Planung einzubeziehen und im Einsatz sofort die richtigen Personen informieren zu können.

Weiterhin ist es möglich Beeinträchtigungen dieser kritischen Infrastrukturen durch Kaskadeneffekte von Astbruch und Baumwurf auf Straßen bereits in der Planung einer Maßnahme zu berücksichtigen. Das durch die Firma ENVI-met entwickelte Tool TreePass kann verwendet werden, um realitätsnah die Auswirkungen von Starkwindereignissen auf verschiedene Baumarten an bestimmten Standorten zu simulieren. Dabei können neben baumartspezifischen Charakteristika auch verschiedene Parameter eingestellt werden, die baupflegerische Maßnahmen oder die Qualität des Baumstandorts wiedergeben. Die Ergebnisse beinhalten unter anderem Informationen über Bruchwahrscheinlichkeit und Dimension der abgebrochenen Baumteile. Insbesondere die Möglichkeit Strömungssimulationen mit unterschiedlichen Baumarten durchzuführen, hilft dabei die Artenwahl vor der Umsetzung zu optimieren und so die Möglichkeit direkter und indirekter Auswirkungen auf kritische Infrastrukturen bei Stürmen zu reduzieren.

Eine solche Überprüfung lässt sich beispielsweise in die Umweltprüfung während der Bebauungsplanaufstellung integrieren. Dort werden in Bezug auf das Schutzgut Mensch auch die Veränderungen des menschlichen Lebensraums und der Lebensumstände begutachtet. Darunter fallen auch zu erwartende Beeinträchtigungen sensibler Nutzungen, zu denen auch kritische Infrastrukturen zählen. So können Varianten betrachtet werden, in denen unterschiedliche Baumarten gewählt werden, und auf ihre möglichen Folgen für den Verkehr bei Sturmereignissen überprüft werden. Zudem kann im Zusammenhang mit der Umweltprüfung die Sicherheit der kritischen Infrastrukturen am besten mit den Ökosystemleistungen von Stadtbäumen in Verbindung gebracht werden. Dies ermöglicht die optimale Wahl von Baumarten, die zum einen kritische Infrastrukturen bei Sturm minimal gefährden, und zum anderen maximale Ökosystemleistungen bieten.

## 5.5 Monitoring für Baumschutz und Baumerhaltung



- Für alle Maßnahmen, die zu einer Fällung, Schädigung oder Zerstörung geschützter Stadtbäume führen könnten, ist eine georeferenzierte, fachbereichsübergreifende Dokumentationspflicht empfehlenswert.

Stadtbaumbestände können ergänzend zum Naturschutzrecht durch Baumschutzsatzungen, baurechtliche Planungsvorgaben und die konsequente Regelwerksanwendungen von der Planung bis zum Lebensende der einzelnen Individuen geschützt werden.

Für Maßnahmen, die zu einer Fällung, Schädigung oder Zerstörung geschützter Stadtbäume führen könnten, ist sowohl zur Aufrechterhaltung der Stand- und Bruchsicherheit als auch zum Schutz des Begrünungsziels mit seinen umfangreichen Gemeinwohlleistungen eine gerichtsfeste, georeferenzierte, fachbereichsübergreifend standardisierte Dokumentationspflicht besonders empfehlenswert (s. Kapitel 3.7).

Führt eine Baumaßnahme zur Fällung eines Baumes oder zu einer wesentlichen Funktionsminderung sollte dies zur Festlegung der ggf. notwendigen Ausgleichspflanzung mit genauer Ortsangabe und Referenzierung führen.

Bei der Stadt Essen ist zu diesem Zweck die sogenannte fachbereichsübergreifende Baumbilanz für die Stadtbäume im städtischen Eigentum im Aufbau. In dieser fachbereichsübergreifenden Standortdatenbank Stadtbaum werden sukzessive alle Dokumente und Veränderungen durch Fällungen, Baumaßnahmen und Pflanzungen mit den bestehenden Fachverfahren zur Verkehrssicherheit Stadtbaum zusammengeführt und als Basis für die Vermögensbilanzierungen der Stadtkämmerei genutzt.

Die Aufgaben der baumfachlichen Baubegleitung umfassen:

- Beratung des Vorhabenträgers zur baumschonenden Ausführung
- Abstimmungen mit Dienststelle für Baumschutz bzgl. ggf. notwendiger Freistellungen von Baumschutzsatzung oder Alleenschutz
- Baumfachliche Bauausführungsbegleitung
- Fachdokumentation zu den getroffenen Schutzmaßnahmen, den erfolgten Eingriffen am Baum, Feststellung der erwarteten Auswirkungen auf die Stand-/ Bruchsicherheit sowie Festlegung ggf. notwendiger Nachprüfungen oder Folgemaßnahmen zum Baumschutz

## 5.6 Monitoring zur Zielerreichung von Bauleitplanung und informellen Planungsinstrumenten, z.B. städtebaulichen Verträgen



- Ein Erfolgsmonitoring stellt die Erreichung der festgelegten Begrünungsziele sicher.

Ausgehend von den bestehenden Begrünungszielen, die sich für die städtischen Grundstücke aus dem Fachverfahren der Baumpflege und dem aktuellen Stand des Beschirmungsmonitorings ableiten lassen und für die Simulationsgebiete detailliert festgestellt wurden, konnte für die Simulationsgebiete die Leistungsveränderung seit Ela auf Basis der vollständigen Einzelbaumaufnahmen ermitteln werden. Ein Erfolgsmonitoring der Stadtplanung für die Festsetzung grünplanerischer Klimaanpassungsmaßnahmen kann mit diesem Baustein eine wesentliche Unterstützung erfahren und ermöglicht den Gesundheitsbehörden und Forschungseinrichtungen substanzielle Hilfsmittel zur Unterstützung der Stadtplanung.

Zahlreiche Planungen führen zu Begrünungszielen, die auf privatrechtlicher Basis durch Investoren und ihren Rechtsnachfolgern auf Privatgrundstücken funktionsnachhaltig zur allgemeinen Daseinsvorsorge zu entwickeln sind. Zur Bewertung des Funktionszustandes der festgelegten Begrünungsziele für den Baumbestand konnte im Projektverlauf auf Basis einer fehlenden Flächenübersicht noch keine Vertragsflächenanalyse erfolgen. Die Analysemethodik wäre, abgesehen von einer flächendeckenden Verfügbarkeit von Einzelbaumkatastern und der hiermit einhergehenden Ungenauigkeit zwischen den turnusmäßigen Laserscananalysen mit der für die öffentlichen Flächen im Eigentum der Stadt Essen vergleichbar und würde eine andernfalls mögliche Lücke im Erfolgsmonitoring der Stadtplanung schließen.

## Kommunikation

---

Der Schutz kritischer Infrastrukturen bei gleichzeitiger Leistungserbringung des optimierten Baumbestandes setzt ein umfassendes, fachlich abgestimmtes Handeln aller Beteiligten voraus. Der Aufbau eines fachbereichsübergreifenden baumfachlichen Wissensmanagements innerhalb der Verwaltung stärkt den Austausch und sorgt für ein einheitliches, effizientes und zielgerichtetes Vorgehen im Thema Stadtbaummanagement.

Die Kommunikation mit Bürger\*innen ist ein wichtiges Mittel, um Entscheidungen transparent zu machen, Engagement zu fördern und Wissen zu vermitteln. Dabei kann auch die Bereitstellung von Open data helfen.

## 6 Kommunikation und Partizipation beim Thema urbaner Baumbestände

Das Thema Baum wird von der gesamten Stadtgesellschaft in Politik, Bürgerschaft und Verwaltung als ein sehr wichtiges Thema angesehen, das häufig stark emotional besetzt ist. Der Kommunikation zwischen der Verwaltung und den Bürger\*innen kommt daher eine große Relevanz zu. Durch die Bereitstellung von Informationen und Daten werden politische und fachliche Argumente sowie die resultierenden Entscheidungen transparent gemacht und Wissen vermehrt.

Naturschutzverbände, Bürgerinitiativen und –vereine engagieren sich auf vielfältige Weise für den Erhalt des Stadtgrüns. Bei aktiven Pflege-, Pflanz- und Gießaktionen sowie bei Schadensberäumung nach Sturmereignissen setzen sich viele Bürger\*innen für die Essener Stadtbäume und den städtischen Wald ein und motivieren Verwaltung und Politik in ihrer Verantwortung für die Grüne Infrastruktur. Der Klimawandel und entsprechende Klimaanpassungsmaßnahmen werden das Stadtgrün in Zukunft verändern und erfordern in extremen Klimakatastrophen die tatkräftige Mitarbeit der Bürgerschaft. Entscheidungen und Veränderungen transparent zu kommunizieren ist daher von großer Relevanz.

### 6.1 Kommunikation zwischen Bürger\*innen und Verwaltung

Bäume und Grünflächen übernehmen wichtige Funktionen im Bereich des Klimaschutzes und der Klimaanpassung. Ihr Erhalt und die Verbesserung der Ökosystemleistungen stehen daher an erster Stelle.

In der Stadt Essen ist das bürgerliche Engagement (nicht nur) im Thema Baum hervorzuheben. Der Sturm Ela war beispielsweise Auslöser für die Gründung der Bürgerinitiative „Essen packt an!“, die auch heute noch stadtweit aktiv ist. Kurz nach dem Sturm schlossen sich einige Bürger\*innen auf Facebook zusammen, um tätig zu werden und sich gegenseitig zu helfen. Mit vereinten Kräften konnte so die Arbeit des Krisenstabes zur Wiederherstellung der öffentlichen Sicherheit und Ordnung tatkräftig und wirksam unterstützt werden. Auch bei der Wässerung der städtischen Bäume hilft die Initiative regelmäßig mit und entlastet somit die städtischen Grünbetriebe bei extremen Klimaereignissen. Verwaltungsentscheidungen, die zu einem kompensationsfreiem Verlust von Ökosystemleistungen des Baumbestandes führen könnten, werden immer wieder durch Teile der engagierten Bürgerschaft mit hoher Vehemenz und Misstrauen hinterfragt, wenn eine fachlich und emotional nachvollziehbare Kompensationslösung entsprechend der nationalen und lokalen Ziele zum nachhaltigen Schutz der Biodiversität und zur Klimaanpassung in der Handlungsbegründung fehlt und zugehörige Daten nicht öffentlich zugänglich gemacht werden.

BaumAdapt zeigt auf Basis der Ergebnisse der Simulationen mittels

- ENVI-met für Stadtklimaleistungen urbaner Baumbestände sowie deren Grenzen hinsichtlich der Stand- und Bruchsicherheit
  - iTree zur Simulationen der Ökosystemleistungsniveaus urbaner Baumbestände
  - Verkehrssimulationen zur Identifikation kritischer Elemente der Verkehrsinfrastruktur
- einerseits die Grenzen der Vereinbarkeit der Gemeinwohlleistungen von Bäumen und dem Schutz kritischer Infrastrukturen vor der zerstörerischen Kraft dieser Bäume bei einem Starkwindereignis und andererseits Lösungsansätze für eine Kompensation der verminderten Leistungen durch die Anpassung der Baumbestände, das Aufzeigen alternativer Begrünungsoptionen und/oder der Kompensation an anderer Stelle mit räumlich-funktionalem Zusammenhang.

Kommunikationswege können Pressemitteilungen, Posts auf Social Media Plattformen, Vorlagen für politische Gremien, Infoveranstaltungen oder Stadtspaziergänge sein. Abhängig von den verschiedenen Medien können unterschiedliche demographische Gruppen erreicht werden. Die Wahl des Kommunikationswegs wird folglich auch davon bestimmt, welche Zielgruppe angesprochen werden soll.

Im Projekt BaumAdapt haben vier Stadtspaziergänge zum Themenkomplex „Bäume in der Stadt“ stattgefunden, für die sowohl in Printmedien als auch über Social Media Plattformen geworben wurde.

Ziel dieses Partizipationselements war es, interessierte Bürger\*innen über verschiedenste Themen zu informieren, die Arbeit im Projekt BaumAdapt vorzustellen, Feedback aus der Bürgerschaft einzufordern und Anregungen in das Projekt aufzunehmen.



Abb. 30: Stadtpaziergang Sommer 2019 im Krupp-Park (Foto: Marlene Schulz)

Die Termine wurden von den Bürger\*innen positiv aufgenommen und als direkten Kommunikationsweg für Fragen und Anregungen zwischen Stadtverwaltung und Bürgerschaft angenommen. Die Stadtpaziergänge haben die Möglichkeit geboten interessierte Bürger\*innen über das Thema Stadtbäume und ihre Ökosystemleistungen zu informieren und gleichzeitig auf Schwierigkeiten in der täglichen Arbeit hinzuweisen. Von Seiten der Stadtverwaltung kann mit einer transparenten Kommunikation und einem offenen Ohr für die Anliegen der Bürger\*innen ein Vertrauensgewinn einhergehen, wodurch vielleicht der ein oder andere zu mehr Engagement und Verständnis im Bereich Grün bewegt werden kann. Die Resonanz zu den Stadtpaziergängen war sehr positiv und seitens der Teilnehmenden wurde eine Fortführung des Angebots für erforderlich angesehen.

Neben den offenen Kommunikationsangeboten sind in Essen auch die regelmäßigen thematischen Arbeitstreffen des Umweltausschusses des Stadtrates mit seinem Arbeitskreis Wald, Natur, Freiraum als beratendes Gremium von herausragender Bedeutung. In diesem Gremium tauschen sich die Ausschussvertreter\*innen mit benannten Vertreter\*innen aus den nach Naturschutzrecht anerkannten Naturschutzverbänden, der Arbeitsgemeinschaft „Runder Umwelttisch Essen“ (RUTE), dem Essener Sportbund, des Gartenbaus, der Land-, Forst- und Fischereiwirtschaft und der Fachverwaltung aus. In der Partizipationsarbeit verfügt die Stadtverwaltung Essen über große Expertise. So wurde nach dem Sturm Ela das damals gültige Forstbetriebswerk außer Kraft gesetzt und der Beschluss gefasst, die Bürger\*innen wie auch schon zum Forstbetriebswerk 2010 in den Planungsprozess mit einzubeziehen und ihre Wünsche und Vorstellungen für die Essener Wälder im Forstbetriebswerk zu berücksichtigen. Die Ergebnisse der umfangreichen Bürgerbefragung und des mehrstufigen extern moderierten Partizipationsprozesses sind transparent dokumentiert und mit dem Ratsbeschluss zum Forstbetriebswerk integraler Bestandteil geworden.

Im Projekt BaumAdapt fanden zwei Workshops statt, bei denen unter anderem auch Vertreter\*innen von lokalen Arbeitsgemeinschaften, Verbänden und Vereinen eingeladen waren. In einer Befragung sollten die Workshopteilnehmer\*innen beurteilen, wie sie die Resilienz der Stadt gegenüber Sommer-

stürmen und den Umgang mit den Sturmschäden nach Ela einschätzen. Außerdem wurde gefragt, wo die Teilnehmer\*innen Handlungsbedarf sehen. Aus dem Workshop haben sich viele Aspekte für die Projektarbeit ergeben.



Abb. 31: Auftaktworkshop BaumAdapt 2018 (Fotos: Uwe Grützner)

Das Ziel des zweiten Workshops war es, mit Hilfe der Akteure geeignete Simulationsgebiete für die Verkehrssimulationen sowie die ENVI-met-Simulationen zu identifizieren, die für den weiteren Projektverlauf eine große Rolle spielten. Im Vorfeld des Workshops wurde eine Vorauswahl von insgesamt zehn möglichen Simulationsgebieten getroffen. Als Ergebnis des Workshops wurden die fünf Simulationsgebiete Altenessener Str., Ruhrquerung, Elisabeth Krankenhaus, Universitätsklinik sowie Frohnhausen ausgewählt. Alle Gebiete zeichnen sich durch ihre verkehrstechnische Relevanz und ein hohes Kritikalitätsniveau aus.

Die Workshops waren eine gute Möglichkeit verschiedenste Akteure an einen Tisch zu bringen und einen Austausch herzustellen, der so wahrscheinlich nicht stattgefunden hätte. Die Vielzahl und Vielfalt der Akteure sorgt dabei für eine kreative Atmosphäre und lebhaftes Diskussions, die interessante Ideen und Anregungen für das Projekt hervorgebracht haben.

Das Projekt wurde zudem auf einigen nationalen und internationalen Veranstaltungen in Form von Vorträgen und Postern vorgestellt. Diese Veranstaltungen ermöglichen einen Austausch über die Stadtgrenzen hinaus, geben neue Impulse für die Projektarbeit und sind eine hervorragende Möglichkeit Kontakte zu knüpfen, aus denen sich Unterstützung aber auch Zusammenarbeit im Projekt oder für zukünftige Projekte ergeben hat. Regelmäßige Veranstaltungen und Workshops dienen der permanenten fachlichen Erneuerung innerhalb der Verwaltung.

## 6.2 Open data und Wissensaustausch

Open Data, also frei zugängliche Daten, können neue Informations- und Partizipationswege eröffnen. Neben der Information kann durch die Bereitstellung von Daten die Selbsthilfe der Bürgergesellschaft zum Schutz des Baumbestandes in klimatischen Notsituationen deutlich verbessert werden. Beispielsweise kann ein online zur Verfügung gestelltes Baumkataster mit Informationen zu städtischen Bäumen und ihren Standorten Bürger\*innen ermuntern auch Daten zu den Bäumen auf ihrem privaten Grundstück einzupflegen und so den Datenpool zu vervollständigen. Zu beachten ist, dass nicht alle Daten öffentlich zur Verfügung gestellt werden können. Daten, die die öffentliche Sicherheit und Ordnung betreffen, personenbezogene Informationen enthalten oder Auskunft über kritische Infrastrukturen geben, sind aus Schutzgründen nur Personen mit entsprechenden Zugriffsberechtigungen zugänglich. Bei der Veröffentlichung von Daten sind immer auch die geltenden Datenschutzbestimmungen zu berücksichtigen.

## Umsetzungspilot „Sprechender Baum“

(Kooperationsprojekt ECA und BNE-Zentrum Schule Natur Grugapark in Planung)

In Anlehnung an ähnliche Projekte in Würzburg und Augsburg soll in Essen ein Projekt „Sprechender Baum“ etabliert werden. Dabei werden zwei oder mehr Bäume auf unterschiedlichen Baumstandorten mit Messgeräten ausgestattet. Die Messdaten wie Bodenfeuchte, Boden-/ Luft-/ Blatttemperatur, Saftfluss, Sonnenstrahlung und Stammzuwachs werden zur Interpretation ins Rechenzentrum der Stadt Essen übergeben.

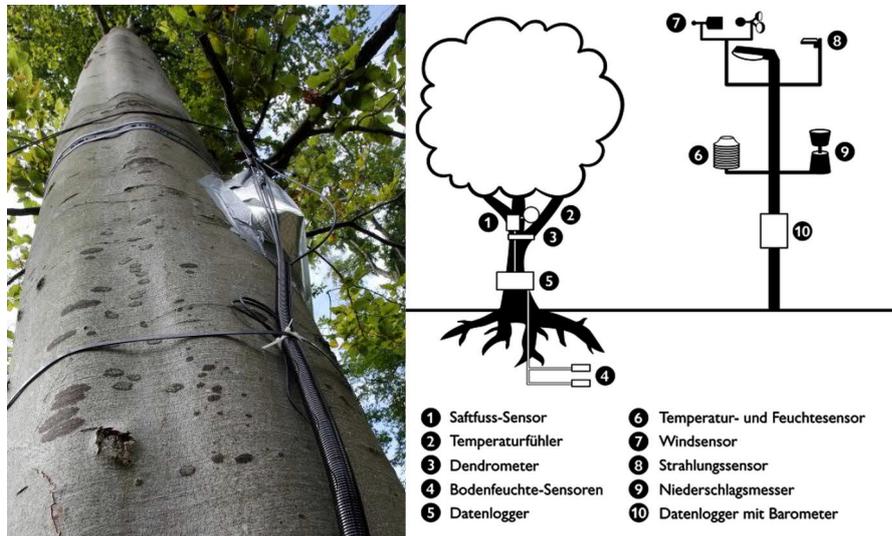


Abb. 32: Messaufbau Sprechender Baum und Messvorrichtung an einer Buche in Augsburg (TU München, Klimaerlebnis Würzburg; Augsburger Allgemeine Zeitung, 2019)

Die aufbereiteten Daten dienen der Visualisierung der aktuellen Vitalitätsparameter der Bäume in ihrem jeweiligen Lebensumfeld und zeigen seine aktuellen Ökosystemleistungen wie z.B. Sauerstoffproduktion, Verdunstungsquote und Temperatursenke. Das Thema Ökosystemleistungen spielt vor allem im Hinblick auf steigende Temperaturen im Zuge des Klimawandels eine wichtige Rolle. Eine anschauliche Kommunikations- und Bildungsarbeit zur Information der Bürger\*innen zum Thema Ökosystemleistungen und Klimastress von Bäumen ist daher von besonderer Bedeutung. Eine Kooperation mit dem BNE Zentrum im Grugapark ermöglicht zudem die direkte Ansprache von Kindern und sorgt damit für eine Sensibilisierung für das Thema.

### 6.3 Austausch innerhalb der Verwaltung zum Thema Stadtbaum



Im Projekt wurde deutlich, dass die Kommunikation zum Thema Baum innerhalb der Verwaltung und kommunalen Konzernstrukturen z.T. nicht effektiv funktioniert, bzw. gar nicht stattfindet. Dies ist vor allem der Tatsache zu schulden, dass das Thema Baum ein übergreifendes Thema ist, das innerhalb der Stadtverwaltung von verschiedensten Fachbereichen und tlw. von den kommunalen Konzerntöchtern bearbeitet wird. Durch räumliche Distanz wird die Kommunikation zusätzlich erschwert. Lösung für dieses Problem könnten regelmäßige Austauschtreffen, Informationsveranstaltungen oder gemeinsame Schulungen sein. Dadurch, dass dann alle Mitarbeitenden im Thema Baum auf dem gleichen Wissensstand sind und das große Ganze im Blick haben, können Entscheidungen effektiver und produktiver gestaltet werden. Die Steuerung der Ela-Akutschadensbeseitigung hat die Fähigkeit zur Zusammenarbeit und deren Grenzen in der Stadt Essen sehr gut aufgezeigt. Hier hat eine Übertragbarkeit auf andere Städte (z.B. Frankfurt) Pilotcharakter gezeigt.

Die Bereitschaft auf Seiten der Verwaltung neue Aspekte, Denk- und Arbeitsweisen anzunehmen und umzusetzen, wurde im Projektverlauf als sehr positiv empfunden. Dennoch ist die Integration von neuen Impulsen und Arbeitsweisen in die bestehenden, eingespielten Strukturen oft schwierig und bedarf einer gewissen Zeit.

Zur gezielten Leistungsentfaltung der Stadtbaumbestände sollten bei der Begrünungsplanung die aktuellen Erkenntnisse der interdisziplinären Forschungsprojekte genutzt werden. Das Literaturverzeichnis gibt einen kleinen Einblick in den nationalen und internationalen Wissensaustausch im Thema wieder. Die interdisziplinäre Zusammenarbeit innerhalb von BaumAdapt hat deutlich gemacht, dass es zur nachhaltigen Verbesserung der Klimaanpassung eines baumfachlichen Wissensmanagements innerhalb der Kommunalverwaltung und der Strukturen des Konzerns bedarf.

Wissensmanagement Baum:

- Verfügbarkeit der technischen Regelwerke und Multiplikator\*innen für das Anwendungswissen Baum
- Baumfachliche Weiterentwicklung der Standardleistungsverzeichnisse für Baumaßnahmen in der Infrastruktur
- Fachbereichsübergreifender Austausch zu aktuellen Positiv-/Negativbeispielen
- Etablierung von Simulationssoftware zur stadtklimatischen und ökologischen Bewertung von 0-Varianten und Planungsszenarien
- Wissensmanagement Baum (Integration oder Kasten unter Kap. 6.3)

#### 6.4 Kommunikation mit Baufirmen



Die Zukunftsfähigkeit des Stadtbaumbestandes hängt im Wesentlichen von der fachgerechten Bauweise im Lebensraum der Bäume ab. Neben der baumfachlichen Anpassung der HOAI-Verträge und VOB-Leistungsverzeichnisse als bindende Vertragsgrundlage ist eine intensive Kommunikation zwischen der Fachbauleitung, der städtischen Bauaufsicht, den Baumschutzbeauftragten und den ausführenden Mitarbeiter\*innen der Baufirmen erforderlich.

Zur Vermeidung von Haftungsrisiken und Reibungsverlusten sollte den ausführenden Firmen neben der Bauausführung auch zu jedem Baumstandort die Dokumentationsleistungen zum Nachweis der fachgerechten Arbeitsausführung als eigenständige Positionen beauftragt werden.

Dies verlangt einerseits die Vorhaltung des entsprechenden Sachverständes beim beauftragten Unternehmen und ermöglicht der Fachbauleitung und städtischen Bauaufsicht die erforderliche örtliche fachliche Baustelleneinweisung und -begleitung sowie die Qualitätskontrolle mit ggf. eigenen Messungen in angemessenem Stichprobenumfang.

Zur Förderung des fachlichen Austausches und Verbesserung der Leistungen sollten den beauftragten Ingenieurbüros und Baufirmen von der städtischen Fachbauleitung die auftragsbezogenen Informationen aus dem Wissensmanagement Baum digital zur Verfügung gestellt werden.

Zu jedem Einzelbaumstandort sollte dem Dienstleister für die Fachdokumentation der Baumaßnahmen eine digitale Schnittstelle zum Standortkataster der Stadtbäume zur Verfügung gestellt werden. Übergangsweise ist hier auch ein analoger Standard mit nachfolgender Digitalisierung und elektronischer Ablage im Standortkataster möglich, in welche die mit dem Baumschutz und der Verkehrssicherheit des Baumbestandes beauftragten Dienststellen jederzeit Einsicht nehmen können.

## 7 Ausblick



Ergänzend zur Expertise der Baumpflege zu den Versagensursachen großer Teile des Stadtbaumbestandes bei Ela und der stadtplanerischen Expertise des IRPUD zur Katastrophenvorsorge konnte im Projekt durch interdisziplinäre vertiefte Analysen, Simulationen, Pilotprojekte und den partizipatorischen Elementen ein umfassender Blick zu den bereits deutlich sichtbaren und dokumentierten Auswirkungen des Klimawandels im Stadtbaummanagement geworfen werden. Der intensive wissenschaftlich stadtplanerische und fachbereichsübergreifende Verwaltungsaustausch sowie die aus der Stadtgesellschaft formulierten Anforderungen zu dem Thema haben wichtige Erkenntnisse gebracht und aufgezeigt, dass eine wirtschaftliche und nachhaltige Klimaanpassung für die kommunale Pflichtaufgabe der Vorhaltung eines gesunden Stadtklimas und einer sicheren Infrastruktur auf eine deutliche Verbesserung der Lebensbedingungen und Vitalitätssteigerung unserer Stadtbäume setzen sollte.

Die aufgeschlossene und interessierte Haltung aller beteiligten Institutionen deutet auf eine hohe Motivation für die Integration der Handlungsempfehlungen dieses Leitfadens in das Verwaltungshandeln. Dies ist auch nötig, da für einen zukunftsfähigen vitalen Stadtbaumbestand die aktuelle Praxis der Stadtplanung und Bauverwaltung im Tief- und Hochbau grundlegende arbeitsintensive Anpassungen, insbesondere für den Schutz und die Wiederherstellung funktionsfähiger Stadtböden im erweiterten Wurzelraum unter den befestigten Oberflächen der Infrastruktur erforderlich macht.

Für die fehlende arboristische Expertise in den planenden und bauenden Fachbereichen bedarf es einer koordinierten Zusammenarbeit mit den grünplanerischen und baumpflegerischen Einrichtungen sowie der Integration externen Sachverständigen für die Anpassungsberatung von Planungsprozessen und Ausschreibungsinhalten.

Aufgrund der angespannten Haushaltslage der Kommunen empfiehlt es sich, Entscheidungen für den Stadtbaumbestand vergleichbar zur Waldbewirtschaftung generationenübergreifend zu betrachten. Ausgehend von der kürzesten Lebensdauer von 80-100 Jahren der heimischen Aspe bis hin zu den langlebigen Eichen und Linden mit einer Lebensdauer von über 500 Jahren in ihrem natürlichen Lebensumfeld, sollten sich für einen möglichst hohen stadtklimatischen Wirkungsgrad die Kosten-, Qualitäts- und Risikobetrachtung bereits im Planungsprozess auf den gesamten Lebenszyklus des Stadtbaumbestandes ausrichten. Die Lebenszykluskostenbetrachtung ist bereits in der Bauindustrie weit verbreitet und ermöglicht für die fachbereichsübergreifende Stadtbaumplanung wertvolle Hilfestellungen (s. auch Leitfaden zum Building Information Modelling - BIM-Leitfaden der DEGES). Im Rahmen der nachhaltigen Planung spielen Simulationswerkzeuge für die Leistungsbewertung der sukzessionalen Potentiale der sog. 0-Variante sowie die Sicherung und Entwicklung von Vitalität, Stabilität und Gemeinwohleinstellungen des Stadtbaumbestandes gemäß der stadtklimatischen Planungsziele eine elementare Rolle. In Entwicklung und praktischer Erprobung befindliche Zertifizierungssysteme für die stadtklimatische Optimierung mit Grüner Infrastruktur eröffnen neue Möglichkeiten für eine verbesserte Steuerung der Klimaanpassungsmaßnahmen.

Da die zukünftige Vergabe städtebaulicher Fördermittel von der Projektwirkung für den Klimaschutz und die Klimaanpassung abhängig sein werden, lassen sich die Anpassungsaufwände der Planungs-, Verwaltungs- und Bauleistungsprozesse im Rahmen dieser Projekte sehr gut darstellen.

### Ausblick Stadt Essen

Ergänzend zu den laufenden, im vorliegenden Handlungsleitfaden thematisierten Pilotprojekten werden bei der Stadt Essen weitere konkrete Projekte zur Verbesserung der Klimaanpassung und der klimaangepassten Entwicklung des Stadtbaumbestandes angegangen.

#### TreeCop (Verbundpartnerprojekt Stadt Essen – TU Trier)

Ergänzend zum Sommerorkan Ela hat die extreme Dürre seit 2018 die Vitalität des Stadtbaumbestandes weitergehend vermindert und in zahlreichen Einzelfällen sogar zum völligen Versagen gebracht. Die Kosten für die Wässerung der Stadtbäume belasten den Haushalt der Stadt Essen mit jährlich 1,2 bis 1,5 Mio. € und erfordern große Mengen an Trinkwasser. Ergänzend leisten auch Bürger\*innen erhebliche Wasserspendsen für den Baumbestand vor der eigenen Haustür.

Das Copernicus-Satelliten-Programm der Europäischen Union in Verbindung mit der Deutschen Luft- und Raumfahrtgesellschaft zur Erdbeobachtung eröffnet den Einstieg in ein flächendeckendes, fortlaufendes Monitoring zur wirtschaftlich optimierten Bewässerung und Schonung von Trinkwasserressourcen.

Das Projektziel besteht darin, die stadtklimatologischen und gesundheitlichen Funktionen urbaner Baumbestände durch eine wirtschaftlich optimale Bewässerungsstrategie unter Schonung von Trinkwasserressourcen in langanhaltenden Dürrephasen zu gewährleisten und zu monitoren. Dazu sollen in-situ-Sensoren der Bodenfeuchte und Fernerkundungsdaten (Sentinel-2 und flugzeuggestützte Hyperspektraldaten) verwendet werden.

Für den Bereich der kommunalen Daseinsfürsorge und hier der Unterhaltung öffentlicher Grünflächen ermöglichen diese Ergebnisse letztlich den Aufbau eines Steuerungsmodells zur bedarfsorientierten Bewässerung. Über die Vorteile selektiver Wässerung mit Blick auf Klimawandel und Trockenstress ermöglicht dieses Steuerungsmodell eine erheblich (kosten-) effizientere Bewässerungsplanung. Die raum-zeitlichen Ergebnisse der Sentinel-2-Daten ermöglichen in ihrer Zusammenschau u.a. ein historisches Erfahrungswissen sowie eine aktuelle Messung von vegetativem Trockenstress. Da in Bezug auf den Anwendungsfall Straßengrün keinerlei Erfahrungen im Umgang mit Sentinel-Daten vorliegen, soll als wissenschaftliche Komponente eine Kopplung mit in-situ-Messungen in Form von Bodenfeuchtesensoren mittels Internet of Things (IoT) im Rahmen des Vorhabens erprobt werden. Im Ergebnis soll ein Modellierungsverfahren (weiter-) entwickelt werden, das interessierten Nachnutzer\*innen als operativer Dienst über CODE-DE bzw. GDI-DE kostenfrei zur Verfügung gestellt wird. Zudem soll ein Erfolgsmonitoring für geplante Maßnahmen zur Verbesserung der natürlichen und/oder künstlichen Wasserversorgung von Baumstandorten aufgebaut werden.

#### Standortkataster Stadtbaum

Als ein zentraler Punkt hat sich die Notwendigkeit der Erstellung eines zentralen Standortkatasters für sämtliche Stadtbäume herausgestellt. Die Bearbeitung von verschiedensten Fragestellungen lässt sich damit vereinfachen und beschleunigen. Darunter fallen u.a. die Fortschreibung der Baumbilanz, die Berechnung von Ökosystemleistungen und die Dokumentation standortverbessernder Maßnahmen für das Erfolgsmonitoring.

#### Integration Simulationssoftware Stadtbaum in die Klimaanpassungsplanung

Im Rahmen der Stadtbahmnachpflanzungen wird der Fachbereich Grün und Gruga im Kontext kritischer Infrastrukturen die standörtlichen Erfordernisse an Stand- und Bruchsicherheit für die sicherheitstechnischen Anforderungen an den Baumbestand mit dem neuen Werkzeug (ENVI-met - TreePass) simulieren. Eine Anwendungserweiterung auf andere Fachbereiche ist angedacht.

#### Stadtbodenmanagement für Vegetationstragschichten

Der umfangreiche Bedarf überbaubarer Vegetationstragschichten erfordert ein neues Stadtbodenmanagement im Kontext von Baumaßnahmen in der städtischen Infrastruktur. Zur Erzielung der erforderlichen Tragfähigkeit erfordern die technischen Eigenschaften der anstehenden Stadtböden mit sandigeren Substrate der Emscherniederung und lehmigen Substrate der bergischen Randschwelle in der Regel eine gezielte Abmischung der erforderlichen Korngrößenabstufung. Für die Umsetzungserprobung der fachbereichsübergreifenden Zusammenarbeit bieten sich die großen anstehenden städtebaulichen Großprojekte im Essener Norden an.

#### Zusammenarbeit Uniklinikum Essen

Die im Projekt gewonnenen Daten bieten auch außerhalb des Projektrahmens Potenzial für Analysen zu verschiedensten Themen. So hat beispielsweise das Institut für Urban Public Health (InUPH) am Uniklinikum Essen großes Interesse an den Daten zur Beschirmungsfläche gezeigt, um diese mit Daten von über 4.000 Patienten zu verschneiden, um eine mögliche Korrelation zwischen Krankheitsfällen und nicht oder nur wenig vorhandener grüner Infrastruktur aufzudecken. Hier wird die Stadt Essen Ihre fortgeschriebenen Daten für langjährige Vergleichsreihen zur Verfügung stellen und die Forschungsarbeit aktiv begleiten.

#### Baum ersetzt Sonnensegel

Der Fachbereich Jugend hat für den Betrieb der Kindertagesstätten ein großes Interesse am Ersatz der im Rahmen des Projektes inventarisierten 83 Sonnensegel auf seinen Spielflächen. Im Rahmen der Grünplanung wird der Fachbereich Grün und Gruga gemeinsam mit dem Fachbereich für Immobilien-

wirtschaft auf den langfristigen nachhaltigen Funktionsersatz durch einen leistungsfähigen Baumbestand auf optimierten Baumstandorten hinwirken.

#### Integration Stadtbaummonitoring in KomMonitor

Das vom BMBF geförderte Forschungsprojekt „KomMonitor“ erarbeitet ein kommunales Monitoringsystem, das eine kleinräumige, multitemporale Raubeobachtung ermöglicht und so die Auswirkungen urbaner Veränderungsprozesse sichtbar macht. Der erzeugte Datensatz der Beschirmungsflächen und -punkte ist ein wichtiger Beitrag für das Themenfeld „Umwelt“. Die Integration von zukünftigen Datensätzen, die nach der gleichen Methode erzeugt werden, wird in Zukunft eine raum-zeitliche Veränderung des Stadtbaumbestandes ermöglichen und zu deren Monitoring dienen können.

#### Öffentlichkeitsarbeit Baumschutz

Zur Erhaltung und Verbesserung der Stadtnatur und ihrer Gemeinwohlleistungen werden die für den Baum-, Natur- und Umweltschutz zuständigen Dienststellen darauf hinwirken, dass die Projektergebnisse und Handlungsempfehlungen auch von Eigentümer\*innen privater Stadtbaumbestände umgesetzt werden.

#### European Climate Adaptation Award (eca)

Der European Climate Adaptation Award ist ein Qualitätsmanagement- und Zertifizierungsverfahren für die Klimaanpassungsaktivitäten einer Stadt. Durch die Teilnahme am eca wird die Stadt Essen in der Lage sein, ihre Maßnahmen im Bereich der Klimaanpassung zu bewerten, zu steuern und anzupassen. Die in BaumAdapt begonnene fachbereichsübergreifende Arbeit wird in diesem Kontext eine wertvolle Basis für die leistenden Aufgaben in der Klimaanpassung sein. Die entwickelten Monitoringprozesse dienen als Unterstützung für das Qualitätsmanagement, um die Wirkungen und Erfolge der umgesetzten Maßnahmen zu sichern, zu verbessern und zu dokumentieren. Die Entwicklung einer Klimaanpassungsstrategie kann in vielen Punkten auf der Arbeit von BaumAdapt aufbauen. Die Fortsetzung der begonnenen Arbeit, der Analysen, des Monitoring und der Projekte im Rahmen des eca ermöglicht eine nachhaltige Integration der Projektergebnisse in das kommunale Verwaltungshandeln und eine Kontinuität der Arbeit im Bereich der Klimaanpassung.

#### Ausblick IRPUD

Vergangene Extremwetterereignisse wie der Sommersturm Ela haben die Relevanz indirekter Schäden aufgrund von miteinander vernetzter und voneinander abhängigen Infrastrukturen aufgezeigt. Diese Verluste entstehen auch wenn Anlagen gar nicht direkt einer Gefahr ausgesetzt sind, aber eine andere Anlage, auf derer Funktionsfähigkeit diese angewiesen sind, ausfällt oder nicht mehr erreichbar ist. Ein Ausfall derer Versorgungsleistung kann dementsprechend weitere Einschränkungen nach sich ziehen. Mit Ansätzen, die Abhängigkeiten innerhalb des Systems der kritischen Infrastrukturen zu operationalisieren und zu analysieren, beschäftigt sich die Kritikalitätsforschung. Auch das IRPUD betätigt sich in diesem noch jungen Forschungsfeld im Rahmen von Forschungsprojekten und Abschlussarbeiten und versucht standardisierte Ansätze zur Beurteilung von systemischen Kaskadenpotenzialen zu entwickeln. In diese Arbeiten reiht sich auch die in BaumAdapt entwickelte Methodik zur Identifizierung von systemisch besonders kritischen Elementen des städtischen Verkehrsnetzes ein. Diese bietet die Möglichkeit das Kaskadenpotenzial einzelner Netzabschnitte abzuschätzen, indem die Auswirkungen von Verkehrsunterbrechungen auf die Erreichbarkeit zentraler Infrastrukturen ermittelt werden. Dieser innovative methodische Ansatz trägt dazu bei, die Forschungslücke bezüglich der Operationalisierung des systemischen Kaskadenpotenzials zu schließen. Außerdem wird so eine Evidenzgrundlage geschaffen, auf deren Basis Abwägungsentscheidungen über Anpassungsmaßnahmen getroffen werden können und das System der kritischen Infrastrukturen resilienter gegenüber Starkwindereignissen gemacht werden kann.

Jedoch bleiben auch Fragen für weitere Forschungen offen. Die systemische Relevanz einzelner Netzabschnitte kann zwar im räumlichen Kontext herausgestellt werden, dies hat aber seine Grenzen. Zum einen wird nicht die ganze Komplexität des Systems kritischer Infrastrukturen operationalisiert und sich stattdessen auf lediglich einen Teilsektor bezogen. Zum anderen wird auch nur die Kaskadenwirkung erster Ordnung abgedeckt. Weitere indirekte Folgen müssen daher über eine Betrachtung des systemischen Kaskadenpotenzials der in die Analyse einbezogenen Infrastrukturen abgeschätzt werden. Weiterhin bleibt auch offen, wie belastbar die Modellergebnisse bleiben, wenn der globale Charakter

kritischer Infrastrukturen berücksichtigt wird. Diese sind nämlich unabhängig von administrativen Grenzen miteinander vernetzt. Kaskadierende Effekte von Netzunterbrechungen können sich daher auch weit über eine Stadt hinaus erstrecken oder sich umgekehrt auf das Essener Stadtgebiet auswirken. Es besteht weiterhin ein Forschungsbedarf, um die systemische Relevanz von kritischen Infrastrukturen weiter zu operationalisieren und diese sowohl an die Folgen des Klimawandels als auch anderer Gefahrenlagen wie z.B. die gegenwärtige Pandemie adäquat anpassen zu können. Diesbezüglich wurden aufbauend auf den Ergebnissen des BaumAdapt-Projekts eine Reihe von Projektanträgen auf den Weg gebracht, die den Umgang mit kritischen Infrastrukturen in deutschen, aber auch internationalen Kontext zum Gegenstand haben.

## 8 Literaturverzeichnis

- Adelphi, PRC & EURAC, 2015 – Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel. In *Climate Change*, 24 (2015).
- Baugesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 3. November 2017 (BGBl. I S. 3634), das durch Artikel 6 des Gesetzes vom 27. März 2020 (BGBl. I S. 587) geändert worden ist
- Biesel, M., 2018 – Heute vor vier Jahren wütete Ela über NRW – und so sah das aus. Abgerufen am 5. August 2019, von <https://www.derwesten.de/region/unwetter-ela-2014-tief-ruhrgebiet-nordrhein-westfalen-id210857019.html>
- Bruse, M. ENVI-met, Essen 2020 – Simulationsdokumentation BaumAdapt
- BSI-Kritisverordnung vom 22. April 2016 (BGBl. I S. 958), die durch Artikel 1 der Verordnung vom 21. Juni 2017 (BGBl. I S. 1903) geändert worden ist
- Bundes-Immissionsschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 8. April 2019 (BGBl. I S. 432) geändert worden ist
- Bundesministerium des Innern, 2009 – Nationale Strategie zum Schutz Kritischer Infrastrukturen. Berlin.
- Bundesministerium des Innern, 2011 – Schutzkonzepte Kritischer Infrastrukturen im Bevölkerungsschutz: Ziele, Zielgruppen, Bestandteile und Umsetzung im BBK. Berlin.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), 2017 – Weißbuch Stadtgrün
- Bundesregierung, 2019 – Monitoringbericht 2019 zur Deutschen Klimaanpassungsstrategie an den Klimawandel; Bericht der interministeriellen Arbeitsgruppe
- DEGES Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH, Berlin 2019 – BIM-Leitfaden Digitales Planen und Bauen bei der DEGES, Version 1.5 Stand: 07/2019
- Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN), Berlin 2014 – DIN 18920 - Vegetationstechnik im Landschaftsbau – Schutz von Bäumen, Pflanzenbeständen, Vegetationsflächen bei Baumaßnahmen
- FGSV-Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen e.V., Köln 1999 – Richtlinie für die Anlage von Straßen; Teil: Landschaftspflege, Abschnitt 4: Schutz von Bäumen, Vegetationsbeständen und Tieren bei Baumaßnahmen (RAS-LP 4), Ausgabe 1999
- FGSV-Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen e.V., Köln 2019 – Empfehlungen für die Erhaltung von Verkehrsflächen mit Baumbestand, 2019
- FLL-Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., Bonn 2020 – Richtlinie zur Überprüfung der Verkehrssicherheit von Bäumen – Baumkontrollrichtlinie 2020
- FLL-Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., Bonn 2013 – Baumuntersuchungsrichtlinien – Richtlinien für eingehende Untersuchungen zur Überprüfung der Verkehrssicherheit von Bäumen 2013
- FLL-Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., Bonn 2017 – ZTV Baumpflege – Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinie für Baumpflege
- FLL-Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., Bonn 2015 – Empfehlungen für Baumpflanzungen – Teil 1: Planung, Pflanzarbeiten, Pflege
- FLL-Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., Bonn 2010 – Empfehlungen für Baumpflanzungen – Teil 2: Standortvorbereitung für Neupflanzung; Pflanzgruben- und Wurzelraumerweiterung, Bauweisen und Substrate
- FSC Deutschland e.V., 2019 – Waldstandard 3.0
- FSC Deutschland e.V., 2019 – Beteiligung an der FSC-Waldzertifizierung – Ein Leitfaden für Bürger und Verbände

- Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung in der Fassung der Bekanntmachung vom 24. Februar 2010 (BGBl. I S. 94), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 12. Dezember 2019 (BGBl. I S. 2513) geändert worden ist
- Giscon Systems GmbH 2020 – proBaum – Anwenderhandbuch
- Haering, R. & Bösen, N., 2014 – Abwägung von Prioritäten bei Baum(pflege)maßnahmen nach einem Orkan: Ein erster Erfahrungsbericht nach „Ela“. FLL-Verkehrssicherheitstage, Berlin.
- Heidger, C. & Kurkowsky, H., 2019 – Regelwerke der FGSV für Straßenbäume – Neupflanzungen 2006/Baumbestand M EVB 2019, Straße und Autobahn, Teil 1 Ausgabe 7.2019, Teil 2 Ausgabe 8.2019.
- Institut für Kommunaltechnik Gelsenkirchen, 2013 – Umweltsicherer Kanalbau durch wurzelfeste Bet- tung der Rohre – Teil 1: Bau der unterirdischen Versuchsanlage (Wurzelgräben) mit Großbäumen am Standort Osnabrück; Abschlussbericht für die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU)
- Jay, M. & Selter, A. & Schraml, U. & Wurster, M. 2014 – Urbaner Wald: Urbane Lebensqualität; Die viel- fältigen Ökosystemleistungen urbaner Wälder sichtbar machen –Handlungsleitfaden–; Professur für Forst- und Umweltpolitik, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
- Lenz, S., 2009 – Vulnerabilität kritischer Infrastrukturen. Forschung im Bevölkerungsschutz: Vol. 4. Bonn: Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe.
- Marwede, Leuchter, Duisburg 2020 – Grünplanung Baumrigolen Stadt Essen; DL+Partner
- Lukitsch, K., Müller, M., & Stahlhut, C., 2018 – Criticality. In J. I. Engels (Hrsg.), Key Concepts for Critical Infrastructure Research. Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- MKUNLV (Hrsg.) Jay, M.; Redman, M.; Zehfuß, M., 2017 – Erfassung und Darstellung der Ökosystemlei- stungen urbaner Wälder - Schritte-Konzept am Beispiel der Wälder in der Stadt Essen
- Munichre, 2018a – NatCatService: Convective Storm Events in Western Europe 1980-2017. Abgerufen 22. Januar 2019, von <http://natcatservice.munichre.com/>
- Munichre, 2018b – NatCatService: Convective Storm Events in Germany 1980-2017. Abgerufen 22. Januar 2019, von <http://natcatservice.munichre.com/>
- Niesel, A. (Hrsg.) et al., 2. Aufl. 2011 – Grünflächenpflegemanagement – Dynamische Pflege von Grün Palandt 2004, BGB Kommentar, 63. Aufl. 2004, § 823 Rdnr. 51
- Professur für Forst- und Umweltpolitik, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Bearbeitung: Dr. Marion Jay, Dr. Andy Selter, Prof. Dr. Ulrich Schraml, Matthias Wursterchramml, 2015 – Urbaner Wald: Urbane Lebensqualität - Die vielfältigen Ökosystemleistungen urbaner Wälder sichtbar machen – Handlungsleitfaden
- Prüfer, Helen, 2015 – Entwicklung eines möglichen Handlungsablaufes zum Umgang mit Baumbestän- den im Zuständigkeitsbereich des Grünflächenamtes der Stadt Frankfurt am Main nach Extrem- wetterereignissen
- RAL Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V. – Gütebestimmungen Baumsubstra- te für Pflanzgrubenbauweise 2 (überbaute Pflanzengrube) (RAL-GZ 250/7-2)
- RAL Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V. – Gütebestimmungen Baumsubstra- te für Pflanzgrubenbauweise 1 (überbaute Pflanzengrube) (RAL-GZ 250/7-1)
- Roloff, A. 2008 - Baumpflege. Baumbiologische Grundlagen und Anwendung
- Roloff, A. 2014 – Vitalitätsbeurteilung anhand der Kronenstruktur (AFZ 04/2014)
- Rotmund, 2001 3. Aufl. 2001 - Die Haftung der Kommunen für die Verletzung der Verkehrssicherungs- pflicht
- Simon, H.; Sinsel, T.; Bruse, M., 2020 - Introduction of Fractal-Based Tree Digitalization and Accurate In-Canopy Radiation Transfer Modelling to the Microclimate Model ENVI-met. Forests 2020, 11, 869. (OpenAccess)
- Stadt Essen 2016 – Abnahmeprotokoll Solitärbaumlieferung
- Stadt Essen 2018 – Dienstanweisung zur Kontrolle der Verkehrssicherheit von Bäumen (DA Baumkontrolle)
- Stadt Essen 2018 – Leitfaden Baumkontrolle und Baumpflege

Stadt Jena 2016 – Bäume in Jena – Stadt- und Straßenbäume im Klimawandel - Stadttbaumkonzept  
Stadt Leipzig 2019 – Straßenbaumkonzept Leipzig 2030  
Stein, D. (Hrsg. 2003) 2018 – Grabenloser Leitungsbau  
TU München (Hrsg.) Lang, Werner, Pauleit, Stephan et al., 2018 – Leitfaden für klimaorientierte Kommunen in Bayern  
Umweltbundesamt - Monitoringbericht 2019 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel  
Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassungsstrategie der Bundesregierung  
Unique 2017: Erfassung und Darstellung der Ökosystemleistungen urbaner Wälder. Schritte-Konzept  
am Beispiel der Wälder in der Stadt Essen  
Weltecke, K. 2020 – Bodenkundliches Gutachten Krupp-Park, Essen



Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz  
und nukleare Sicherheit

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages