

FIB Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e.V.

**Informationsgestützte antizipative wasserhaushaltsbasierte  
Anpassung an den Klimawandel Elbe-Elster (IAWAK-EE)**

# **Maßnahmen zur Klimaanpassung über Wasserrückhalt und Kühlung durch Verdunstung für eine dürregefährdete Region in Ostdeutschland**



Anwendungsorientierte Forschung  
für nachhaltige Lösungen

*Kontakt:*

Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e.V. (FIB)  
Brauhausweg 2  
03238 Finsterwalde  
Tel. 03531/ 7907-0  
www.fib-ev.de, fib@fib-ev.de  
Amtsgericht Cottbus - Vereinsregister VR 3792  
Geschäftsführung: Dr. Michael Haubold-Rosar

*Bearbeitung:*

Dr. Christian Hildmann, c.hildmann@fib-ev.de, 03531 7907-25  
Dr. Beate Zimmermann  
Rainer Schlepphorst  
Dr. Stefan Lukas  
Lydia Rösel  
Friederike Kleinschmidt  
Sarah Kruber

DOI: 10.5281/zenodo.6866030

Stand: 20. Juli 2022

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Auswahl von Maßnahmen für den Wasserrückhalt</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Steckbriefe der Maßnahmen</b>	<b>7</b>
2.1	Maßnahmen im Bereich Landwirtschaft . . . . .	7
2.1.1	A-I-1: Agroforstsysteme – Alley-Cropping . . . . .	8
2.1.2	A-I-2: Landschaftsstrukturelemente . . . . .	9
2.1.3	A-II-1: Umwandlung von Acker in Dauergrünland . . . . .	10
2.1.4	A-II-2: Anbau von Dauerkulturen . . . . .	11
2.1.5	A-II-3: Permanente Bodenbedeckung . . . . .	12
2.1.6	A-III-1: Konservierende Bodenbearbeitung . . . . .	13
2.1.7	A-III-2: Organische Düngung . . . . .	14
2.1.8	A-III-3: Querfeldebewirtschaftung . . . . .	15
2.1.9	A-IV-1: Anbau tief wurzelnder Kulturen . . . . .	16
2.1.10	A-V-1: Aufforstung marginaler Ackerstandorte . . . . .	17
2.2	Maßnahmen im Bereich Forstwirtschaft . . . . .	18
2.2.1	F-I-1: Walderneuerung . . . . .	19
2.2.2	F-II-1: Struktureiche Waldaußenränder . . . . .	21
2.2.3	F-II-2: Ökologischer Waldumbau . . . . .	23
2.3	Maßnahmen im Bereich Siedlung . . . . .	25
2.3.1	S-I-1: Baumreihen außerorts (Alleen und Baumreihen) . . . . .	26
2.3.2	S-I-2: Baumreihen innerorts . . . . .	27
2.3.3	S-I-3: Pergola . . . . .	28
2.3.4	S-II-1: Baumgruppen im Siedlungsraum . . . . .	29
2.3.5	S-II-2: Aufforstung urbaner Brachflächen . . . . .	31
2.3.6	S-III-1: Versickerung von Niederschlagswasser über Mulden im Garten . . . . .	32
2.3.7	S-III-2: Mulden an Straßen . . . . .	33
2.3.8	S-IV-1: Fassadenbegrünung . . . . .	34
2.3.9	S-IV-2: Dachbegrünung . . . . .	35
2.3.10	S-V-1: Entsiegelung und Begrünung . . . . .	36
2.3.11	S-V-2: Rasengittersteine . . . . .	37
2.4	Maßnahmen im Bereich Wasserwirtschaft . . . . .	38
2.4.1	W-I-1: Grabenverbau im Wald . . . . .	39
2.4.2	W-I-2: Rekonstruktion von Kulturstauen . . . . .	40
2.4.3	W-I-3: Stützschnellen . . . . .	41
2.5	Maßnahmen im Bereich Naturschutz . . . . .	43
2.5.1	N-I-1: Wiedervernässung von Feuchtwiesen . . . . .	44
2.5.2	N-I-2: Wiedervernässung von Moorflächen . . . . .	45
2.5.3	N-II-1: Schaffung von Kleingewässern . . . . .	46





# 1 Auswahl von Maßnahmen für den Wasserrückhalt

Die hier vorgestellte Auswahl von Maßnahmen ist im Projekt »Informationsgestützte antizipative wasserhaushaltsbasierte Anpassung an den Klimawandel« entstanden. Eine ausführlichere Beschreibung der Maßnahmen ist bereits veröffentlicht (HILDMANN et al., 2022, englisch, mit Hinweisen zu Kostengruppen).

Anpassung an den Klimawandel konfrontiert die Akteure im Landkreis Elbe-Elster, dem Projektgebiet, in erster Linie mit zunehmender Wasserknappheit. Dabei sind bereits heute die Jahresniederschlagsmengen mit durchschnittlich 556,8 mm eher gering (PFEIFER, BATHIANY & RECHID, 2021). Durch die steigenden Temperaturen wird auch bei gleichbleibendem Niederschlag die klimatische Wasserbilanz immer negativer (B. ZIMMERMANN & HILDMANN, 2021). Deshalb haben wir nach Maßnahmen gesucht, mit denen mehr Wasser in der Landschaft zurückgehalten werden kann. Das zurückgehaltene Wasser soll der Wasserversorgung der Vegetation dienen. So wirkt es sich positiv auf das Pflanzenwachstum aus, indem Dürrephasen gemildert werden und z. B. die Ertragsicherheit von Kulturen verbessert wird. Vor allem aber kommt es über den Verdunstungsprozess zur Kühlung der Landoberfläche, die wir über Satellitenbilder beobachten.

Die Kühlung der Landschaft über den Verdunstungsprozess trägt zur Dämpfung von Temperaturextremen bei. Klimaanpassung geht hier über die Bewältigung der Folgen des Klimawandels ein Stück weit hinaus, in dem das Kleinklima positiv beeinflusst wird. Die Kühleffekte kommen nicht nur dem Menschen, sondern auch Pflanzen und Tieren zugute. Gegenüber Hitze wenig tolerante Arten sind bereits heute im Rückgang begriffen (e.g. REIF et al., 2008; SCHLEUNING et al., 2016; BARTHOLY, 2012). Da der Klimawandel auf Prozesse und Lebewesen im Boden ebenfalls einen Einfluss ausübt (e.g. BREVIK, 2013; JANSSON & HOFMOCKEL, 2020; CLASSEN et al., 2015; GELYBÓ et al., 2018), kann eine Dämpfung von Temperaturextremen auch in dieser Sphäre Effekte erzielen. Schließlich baut eine kühlere Landoberfläche einen geringeren Temperaturgradienten in die darüber liegende Luftschicht auf, sodass die Luftfeuchtigkeit eher in der Region verbleibt und so z. B. für die Bildung von Tau zur Verfügung steht. Die Arbeiten von MAKARIEVA, NEFIODOV, NOBRE, SHEIL et al., 2021; MAKARIEVA, NEFIODOV, NOBRE, BARDI, SHEIL, BAUDENA, SALESKA & RAMMIG, 2022; MAKARIEVA, NEFIODOV, NOBRE, BARDI, SHEIL, BAUDENA, SALESKA, MOLINA et al., 2022 kommen sogar zu dem Schluss, dass bei zu geringer Verdunstung auf dem Kontinent ein Kipppunkt überschritten und die Zufuhr feuchter Luft aus dem Atlantik blockiert wird, womit ein arides Klimaregime ausgelöst werden könnte.

Damit Maßnahmen zur Klimaanpassung Wirkung zeigen können, müssen sie in der Fläche umgesetzt werden. Deshalb haben wir Maßnahmen aus allen relevanten Sektoren im Landkreis



Wasserrückhalt in der Landschaft – wenn möglich, sollten auch solche natürlichen Lösungen zugelassen werden.

zusammengestellt: der Land- und Forstwirtschaft, dem Siedlungsbereich, dem Naturschutz und der Wasserwirtschaft. Da der Landkreis Elbe-Elster eher ländlich geprägt ist, liegt der Schwerpunkt der Maßnahmen im Landschafts- und nicht im Siedlungsbereich (Siedlungen nehmen etwa 4,8 % der Gesamtfläche ein).

Die Maßnahmen zum Wasserrückhalt sollen über das ganze Jahr hinweg wirken. Ein Wasserüberschuss aus dem Winterhalbjahr soll soweit möglich in das Sommerhalbjahr hinein genutzt werden können. Darüber hinaus sollen in gleicher Weise die Niederschläge im Sommerhalbjahr zurückgehalten werden, um Dürrezeiten zu mildern. Damit erhalten die Maßnahmen eine weitere Funktion, in dem sie bei Starkregenereignissen den Gebietsabfluss dämpfen und so auch zum Hochwasserschutz beitragen.

Bei der Auswahl des vorliegenden Maßnahmenkatalogs haben wir uns an den landschaftlichen Gegebenheiten der Region orientiert. Diese weist überwiegend ein geringes Relief und sandige Böden auf. Vor allem durch die Meliorationen und den Braunkohlenbergbau wurde in der Vergangenheit der Landschaftswasserhaushalt wesentlich verändert. Große Teile der Wälder sind durch Kiefernmonokulturen mit hoher Anfälligkeit gegenüber dem Klimawandel geprägt. Einige weitere Maßnahmen sind denkbar, wurden aber aufgrund der untergeordneten Bedeutung für den gesamten Landkreis oder fehlender Eingangsdaten für ihre Verortung im Raum (s.u.) vorerst nicht in den Katalog aufgenommen.

Maßnahmen zum Wasserrückhalt in der Landschaft wurden bereits verschiedenen Forschungsarbeiten identifiziert, allerdings meist mit einem anderen Schwerpunkt und angepasst an andere Regionen (z.B. SUŠNIK et al., 2022; KEESSTRA et al., 2018; MUBAREKA et al., 2013; TÓTH, 2019; HILDMANN, 2009; SIEKER et al., 2007). Sie werden oft als »Natural Water Retention Measures« (NWRM) oder »Nature Based Solutions« (NBS) bezeichnet. Wenn der hier vorgestellte Ansatz auf andere Regionen übertragen wird, müssen die Maßnahmen möglicherweise angepasst und ergänzt werden. Dies gilt insbesondere für Landschaften mit einem ausgeprägteren Relief oder mit anderen Niederschlagsmustern.

Die hier dargestellten Maßnahmen werden im Rahmen des IAWAK-EE-Projektes zunächst über dafür entwickelte Algorithmen in den einzelnen Polygonen der Landnutzungskarte ortsspezifisch und standortabhängig verortet. Danach bewerten wir ihre Wirksamkeit hinsichtlich ihres Beitrags zur Kühlung der Landschaft und damit zur Klimaanpassung. Parallel werden die Kosten der Maßnahmen berechnet, sodass über Optimierungsalgorithmen die kosteneffizientesten Maßnahmen ausgewählt werden können.



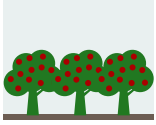
## 2 Steckbriefe der Maßnahmen

### 2.1 Maßnahmen im Bereich Landwirtschaft



## 2.1.1 A-I-1: Agroforstsysteme – Alley-Cropping

### ► Ziel der Maßnahme



Durch den kombinierten Anbau herkömmlicher Ackerkulturen mit Gehölzreihen und/oder Heckenstreifen kann Einfluss auf das Mikroklima und damit den Wasserrückhalt landwirtschaftlicher Flächen genommen werden.

### ► Beschreibung

In der Agroforstwirtschaft wird der Anbau mehrjähriger verholzender Pflanzen mit dem Anbau annueller Kulturen oder mit der Nutzung von Grünland kombiniert (GRÜNEWALD et al., 2009). Dabei werden Bäume zur (energetischen) Nutzung des Holzes oder zur Ernte der Früchte gepflanzt (DIESTEL, 2018).



Agroforstsysteme wie Nutzholzstreifen tragen zur Verbesserung des Kleinklimas bei.

### ► Wirksamkeit

Agroforstsysteme sorgen für ein stabiles Mikroklima (Beschattung, Windschutz) in Bodennähe (SPIECKER et al., 2009). Sie sind in der Lage, in der Zeit zwischen der Ernte bis zum Herbst die lokale Verdunstung zu erhöhen (KAESER, PALMER & SEREKE, 2010). Im Winter führt der Stammabfluss Laub abwerfender Bäume und Sträucher zu einer Anreicherung des Grundwassers, wodurch den Pflanzen im folgenden Frühjahr ein größerer Wasservorrat für die Transpiration zur Verfügung steht (DIESTEL, 2018). Die größten Effekte sind zu erwarten, wenn die Gehölz- bzw. Heckenstreifen in Nord-Süd-Richtung angelegt werden.

### ► Synergieeffekte

Durch Umtriebszeiten von bis zu 10 Jahren binden die Gehölze Kohlenstoff und können als CO<sub>2</sub>-Senke einen Beitrag zum Klimaschutz leisten. Der jährliche Laubabwurf trägt zur Humusbildung bei. Gegenüber wenig strukturierten Agrarlandschaften weisen Agroforst-Systeme eine höhere Biodiversität auf.

### ► Hemmnisse

In direkter Umgebung der Gehölzreihen kann es aufgrund des Wurzelsystems zu einer Abnahme der Bodenwassergehalte kommen, was räumlich begrenzt zu Mindererträgen führen kann (GRÜNEWALD et al., 2009). Rechtliche Unsicherheiten bestehen bezüglich der langfristigen Nutzung der Gehölze auf Pachtflächen. Agroforst-Systeme verursachen zu Beginn der Maßnahme zusätzliche Kosten für Pflanzung und Pflege der Gehölze und Anpassung der Flächenbewirtschaftung und Vermarktung. Die langfristige Bindung von Kapital und Fläche vermindert die betriebliche Flexibilität.

### ► Akteure

Grundeigentümer, Landwirtschaftsbetriebe auf Eigentumsflächen sowie auf Pachtflächen bei Zustimmung der Eigentümer.

### ► Verortung – Wo ist die Maßnahme vorgesehen?

Auf Ackerschlägen.



## 2.1.2 A-I-2: Landschaftsstrukturelemente

### ► Ziel der Maßnahme

Durch Landschaftselemente kann der dezentrale Wasserrückhalt gefördert und das Mikroklima im Bestand verbessert werden. Die Transpiration der Hecken und Gehölze selbst trägt zur Kühlung der offenen Landschaft bei.

### ► Beschreibung

Die Artenauswahl sollte standortbezogen erfolgen und gebietsheimische Baum- und Straucharten umfassen (MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, UMWELT UND KLIMASCHUTZ, 2019). Eine Eingruppierung dieser Arten hinsichtlich ihrer Eignung für die freie Landschaft und unter den Bedingungen des Klimawandels wurde in ROLOFF & MEYER, 2008 vorgenommen. Beispiele sind Feld-Ahorn, Eberesche, Traubeneiche, Hainbuche, Eingrifflicher Weißdorn, Schlehe, Gemeine Hasel, Holunder, Hunds- und Hecken-Rose.



Landschaftsstrukturelemente wie Baumreihen und Hecken sind für die Kühlung der Landschaft von Vorteil.

### ► Wirksamkeit

Landschaftsstrukturelemente tragen durch Verringerung von Oberflächenabfluss und Erhöhung des Infiltrationsvermögens zur Verbesserung des dezentralen Wasserrückhaltes bei. Durch Abbremsen der Windgeschwindigkeit wird der Abtransport von Wasser verhindert und die Ausbildung eines Mikroklimas im Kulturpflanzenbestand gefördert. Die Strukturelemente tragen durch ihre Wasseraufnahme und Transpiration zur Kühlung der Landwirtschaftsflächen bei.

### ► Synergieeffekte

Hecken und Feldgehölze dienen Pflanzen- und Tierarten als Lebensraum und Trittsteinbiotop, tragen zur visuellen Aufwertung monotoner Landschaftsbilder bei und besitzen eine Puffer- und Filterfunktion. Teilweise können Landschaftsstrukturelemente zur Ertragssteigerung der Kulturpflanzen führen (CLEUGH, 1998; BRANDLE, JOHNSON & DEARMONT, 1984).

### ► Hemmnisse

Schattenwurf und Wurzelkonkurrenz von Hecken und Feldgehölzen können sich negativ auf den Ertrag der Feldkulturen in unmittelbarer Nähe auswirken. Betriebswirtschaftlich führt die Maßnahme zu einem Entzug landwirtschaftlicher Nutzfläche und ggf. zu Ertragsverlusten durch größere Vorgewendeflächen sowie zu höheren Arbeits- und Maschinenkosten.

### ► Akteure

Grundeigentümer (Landwirtschaftsbetriebe), agrarstrukturelle Entwicklungsplanung, öffentliche Hand / Gebietskörperschaften (Gemeinden).

### ► Verortung – Wo ist die Maßnahme vorgesehen?

Auf Ackerschlägen und im Grünland entlang von Wegen und Gräben sowie auf Grenzen zwischen Nutzungseinheiten.

## 2.1.3 A-II-1: Umwandlung von Acker in Dauergrünland

### ► Ziel der Maßnahme

Die Umwandlung von intensiv bewirtschaftetem Ackerland in Dauergrünland sorgt durch die kontinuierliche Vegetationsbedeckung für eine stete Transpiration, sofern genügend Wasser im Boden zur Verfügung steht. Zudem kann mittel- bis langfristig die Wasserinfiltration und Versickerung erhöht sowie der Oberflächenabfluss verringert werden, womit der Wasserrückhalt im Boden verbessert wird.

### ► Beschreibung

Grundlagen dieses Systems der Bodennutzung sind eine mehrjährige Vegetationsdecke aus Gräsern, Leguminosen und Kräutern sowie der Verzicht auf wendende (Pflug) und lockernde (Grubber, Scheiben) Bodenbearbeitung.

### ► Wirksamkeit

Bereits kurzfristig kann eine Reduktion der Fließgeschwindigkeit und Erosionsschutz erreicht werden. Mit zunehmender Durchwurzelung und der Etablierung von Arten mit tiefreichenden Wurzeln verbessert sich das Infiltrationsvermögen für Niederschlagswasser und der Bodenwasserspeicher nimmt zu. Für eine kontinuierliche Wirksamkeit muss auf eine spätere Rückumwandlung von Dauergrünland in Ackerflächen verzichtet werden. Um eine hohe Infiltrationsfähigkeit auf den Grünlandflächen zu erhalten, müssen diese bodenschonend bewirtschaftet und regelmäßig gepflegt werden.



Dauergrünland kann Niederschlagswasser zurückhalten und die Fläche über die Verdunstung kühlen.

### ► Synergieeffekte

Je nach Landschaftsstruktur, Artenausstattung und Nutzungsintensität kann eine Verbesserung der Lebensraumfunktion und Biotopvernetzung für Tier- und Pflanzenarten des Offenlandes erreicht werden. Durch verringerte Nitratreinträge wird ein Beitrag zum Grundwasserschutz geleistet. Da das Naturschutzbewusstsein der Bevölkerung häufig mit Wiesen und Weiden assoziiert ist, kann durch die Schaffung von Dauergrünlandflächen das Image der Landwirtschaft verbessert werden.

### ► Hemmnisse

Durch die Umwandlung in Dauergrünland geht Ackerfläche dauerhaft verloren, wodurch den Betrieben Ertrags- und Gewinndefizite (u.a. auch Verzicht auf Deckungsbeiträge für sonst genutzte Fruchtfolgen) entstehen. Für Eigentümer verringert sich der Verkaufswert der Flächen.

### ► Akteure

Grundeigentümer, Landwirtschaftsbetriebe auf Eigentumsflächen sowie auf Pachtflächen bei Zustimmung der Eigentümer.

### ► Verortung – Wo ist die Maßnahme vorgesehen?

Auf Ackerschlägen.

## 2.1.4 A-II-2: Anbau von Dauerkulturen

### ► Ziel der Maßnahme

Durch die längere Bodenbedeckung und intensivere Durchwurzelung von Dauerkulturen im Vergleich zu einjährigen Kulturen kann die Verdunstung gesteigert werden.

### ► Beschreibung

Dauerkulturen wie Durchwachsene Silphie und Miscanthus werden über mehrere Jahre ohne Umbruch oder Bodenbearbeitung auf einer Fläche kultiviert. Die Maßnahme greift, wenn eine Bodenbearbeitung nur im ersten Jahr zur Aussat oder Pflanzung der Dauerkultur stattfindet und der Boden in den Folgejahren nur zu Erntezwecken befahren wird.



Miscanthus als Beispiel für eine Dauerkultur.

### ► Wirksamkeit

Der Anbau von mehrjährigen Kulturen ermöglicht neben einer dauerhaft geschlossenen Bodendecke auch die Entwicklung eines tiefer reichenden Wurzelsystems. In Trockenphasen kann deshalb durch eine Wasserversorgung aus dem Unterboden die Transpirationsaktivität der Pflanzen aufrecht erhalten werden.

### ► Synergieeffekte

Bodenerosion wird durch den kontinuierlichen Bewuchs nahezu ausgeschlossen, zumal Erntereste und abgestorbene Pflanzenteile als Mulfschicht auf der Fläche verbleiben. Durch langfristige Bodenruhe wird der Humusaufbau gefördert, die Maßnahme kann damit auch einen Beitrag zum Klimaschutz leisten (Kohlenstoff-Senke). Dauerkulturen tragen zur Erhöhung der Vielfalt an Kulturen und Habitaten in der Landschaft bei. Sie erweitern somit das Angebot an Deckungsmöglichkeiten und Lebensräumen für die Fauna in der Agrarlandschaft. So können sie beispielsweise attraktive Blütenpflanzen für Insekten sein (z. B. Durchwachsene Silphie) und durch eine Blühdauer von mehreren Monaten über einen langen Zeitraum Nektar und Pollen bereitstellen. Dauerkulturen können zudem Stickstoff im Boden besser ausnutzen und verringern somit die Auswaschungsgefahr.

### ► Hemmnisse

Der Anbau von Dauerkulturen ist meist weniger ertragreich und züchterisch optimierten, konventionellen Ackerkulturen unterlegen. Zudem hängt die Ertragsleistung vom Standort ab und wird stark durch den Anwucherfolg im ersten Jahr beeinflusst. Dauerkulturen werden häufig nicht auf Pachtflächen präferiert, da deren Verfügbarkeit meist nicht langfristig gesichert ist.

### ► Akteure

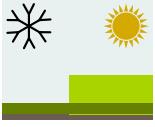
Grundeigentümer, Landwirtschaftsbetriebe vorrangig auf Eigentumsflächen.

### ► Verortung – Wo ist die Maßnahme vorgesehen?

Auf Ackerschlägen.



## 2.1.5 A-II-3: Permanente Bodenbedeckung



### ► Ziel der Maßnahme

Die Maßnahme soll Wasser- und Winderosion vorbeugen und damit das Risiko von Oberflächenabfluss und Verschlammung des Bodens vermindern.

### ► Beschreibung

Veränderte Niederschlagsverteilungen mit häufigerem Starkregen erhöhen das Risiko für Erosion vor allem auf unbedeckten Böden und beim Anbau langsam wachsender und wenig deckender Reihenfruchtarten. Die Gefahr von Deflation ist bei geringer oder fehlender Bodenbedeckung und gleichzeitig hohem Windaufkommen bedeutsam. Die Fruchtfolgegestaltung bestimmt die Dauer und Häufigkeit des Auftretens von Perioden ohne oder mit reduzierter Bodenbedeckung. Zur Umsetzung sind Fruchtfolgen geeignet, die Fruchtarten mit engen Reihenabständen integrieren, eine reduzierte Bodenbedeckung nur über kurze Perioden aufweisen oder Zwischenfrüchte integrieren.



Unter dem Getreide ist die spätere Zwischenfrucht bereits mit ausgesät.

### ► Wirksamkeit

Erosionsvermeidung kann zu einem verbesserten Wasserrückhalt beitragen. Nach (BRUNOTTE et al., 2016) schützt ein Bodenbedeckungsgrad von 30-40 % bereits vor einem Bodenabtrag. Die effektive Wirksamkeit, d. h. der mögliche Wasserrückhalt auf der Fläche, hängt von Faktoren wie Topographie, Bodenart, Schadverdichtungen, der angebauten Kultur bzw. der Bewirtschaftung sowie der Dauer und Intensität der Niederschlagsereignisse ab.

### ► Synergieeffekte

Die Vermeidung von Erosion fördert den Erhalt der Bodenfruchtbarkeit und Ertragsfähigkeit. Zwischenfrüchte und Untersaaten stabilisieren das Bodengefüge durch ein dichtes Wurzelwerk, wodurch Lasteinträge z. B. zur Ernte weniger invasiv wirken und Schadverdichtungen entgegenwirken. Nährstoffverluste durch Auswaschung werden verringert. Klee und Luzerne dienen als Pollen- und Nektarquellen für Insekten.

### ► Hemmnisse

Der Anbau von Zwischenfrüchten bedarf zusätzlicher Arbeitsgänge. Eine späte Hauptfruchternte infolge von witterungsbedingter Reifeverzögerung kann den Zwischenfruchtanbau verhindern. In niederschlagsarmen Regionen bzw. bei ausgeprägter Frühjahrstrockenheit kann der Wasserverbrauch der Zwischenfrucht den Anbau der folgenden Hauptkultur gefährden.

### ► Akteure

Landwirtschaftsbetriebe.

### ► Verortung – Wo ist die Maßnahme vorgesehen?

Auf Ackerflächen.



## 2.1.6 A-III-1: Konservierende Bodenbearbeitung

### ► Ziel der Maßnahme

Mulch- und Direktsaat verringern die unproduktive Evaporation aus den oberen Bodenschichten und verbessern die Wasserinfiltration und Durchlüftung des Bodens. Damit geht eine tiefere und intensivere Durchwurzelung einher.

### ► Beschreibung

Durch den Einsatz nicht wendender Bodenbearbeitungsgeräte (z.B. Grubber, Scheibenegge) bzw. durch Direktsaat verbleibt eine bodenbedeckende Mulchschicht auf der Fläche. Die Fruchtfolgeglieder sollten so kombiniert werden, dass sie u. a. zur Bodenlockerung durch Wurzeln und Unterdrückung von Beikräutern und Schadinsekten beitragen.

### ► Wirksamkeit

Bei konservierender Bodenbearbeitung können höhere Bodenfeuchten und eine geringere Evaporation auftreten als bei konventioneller wendender Bearbeitung mit dem Pflug (BLEVINS et al., 1983; COPEC et al., 2015). Die bei Mulch- und Direktsaat vorhandene Mulchschicht aus abgestorbenen Pflanzenresten trägt dazu bei, die unproduktive Evaporation aus den oberen Bodenschichten zu verringern. Durch fehlende Pflughorizonte und einen höheren Anteil an Regenwurmgingen ist darüber hinaus die Wasserinfiltration auf Standorten mit konservierender Bodenbearbeitung deutlich höher als bei Pflugeinsatz (CHERVET et al., 2006).



Mulch- und Direktsaat können zur Verbesserung des Wasserhaushaltes der Kulturen beitragen.

### ► Synergieeffekte

Durch die Vermeidung von Oberflächenabfluss wird die Erosion verringert, was sich positiv auf die Ertragsfähigkeit der Fläche auswirkt. Die Bodenbiologie wird durch den weniger invasiven Eingriff in den Boden gefördert.

### ► Hemmnisse

Durch die Mulchauflage kann es zu verzögertem Abtrocknen und einer langsameren Erwärmung der Flächen im Frühjahr kommen. Alternative Verfahren zur Ackerbeikrautbekämpfung werden notwendig. Eine effektive mechanische Beikrautbekämpfung (z. B. mittels Grubber) setzt bei flacher und präziser Tiefenführung eine möglichst ebene Fläche voraus.

### ► Akteure

Landwirtschaftsbetriebe.

### ► Verortung – Wo ist die Maßnahme vorgesehen?

Auf Ackerschlägen.

## 2.1.7 A-III-2: Organische Düngung

### ► Ziel der Maßnahme

Durch die kontinuierliche Ausbringung von organischer Substanz wird die Wasserhaltefähigkeit im Oberboden verbessert. Dadurch verzögert sich die Austrocknung in Wassermangelsituationen, womit eine länger andauernde Transpiration und Kühlleistung der Ackerkultur gewährleistet wird.

### ► Beschreibung

Kompost besitzt aufgrund des weiten C/N-Verhältnisses im Gegensatz zu Gärresten oder Gülle einen hohen Anteil an humuswirksamen organischen Substanzen und ist damit anderen organischen Düngemitteln vorzuziehen. Gerade in Böden mit grobkörniger Textur ist alternativ die Zugabe von stabilen Kohlenstoffverbindungen in Form von porösen Biokohlen oder Biokohlesubstrate möglich. Die Ausbringung kann, ähnlich einer Düngemaßnahme, beispielsweise über betriebseigene Kompost- oder Miststreuer erfolgen.



Für die organische Düngung kommen verschiedene Ausgangsstoffe wie Stallmist, Kompost und Biokohle(-substrate) in Betracht.

### ► Wirksamkeit

Die Wirksamkeit hängt von Qualität und Menge der Bodenverbesserungsmittel ab. Die Humusakkumulation wirkt sich positiv auf die Aggregatstabilität und das Bodengefüge aus, verringert die Lagerungsdichte und erhöht das Porenvolumen und die Wasserspeicherkapazität, v. a. auf leichten Böden (KOLBE, 2012; FUCHS, BIERI & CHARDONNENS, 2004). In bindigeren Böden kann eine bessere Durchlüftung und Wasserinfiltration erreicht werden. Da organische Substanz im Boden einem ständigen mikrobiellen Abbau unterliegt, ist das Potenzial zur langfristigen Speicherung von Kohlenstoff begrenzt (WIESMEIER et al., 2017).

### ► Synergieeffekte

Humus bzw. organische Bodensubstanz fungieren als Speicher für Nährstoffe (N, S, P). Damit verbessern sich die Ertragsfähigkeit des Standortes sowie die Qualität der erzeugten Produkte (KÖRSCHENS, 1997; DREYMAN, LOGES & TAUBE, 2003; BENKENSTEIN et al., 2008; RÖBLER et al., 2015; ZORN & SCHRÖTER, 2015).

### ► Hemmnisse

Die Einbringung organischen Materials ist durch dessen Verfügbarkeit und die jährlich zulässige Stickstoffmenge begrenzt. Für das Vorhalten des Wirtschaftsdüngers sind ausreichende Lagerkapazitäten erforderlich. Bodenverbesserungsmittel auf der Basis von Biokohle und Biokohlesubstraten sind z. Z. kostspieliger als mineralische Düngemittel.

### ► Akteure

Landwirtschaftsbetriebe.

### ► Verortung – Wo ist die Maßnahme vorgesehen?

Auf Ackerflächen.

## 2.1.8 A-III-3: Querfeldebewirtschaftung

### ► Ziel der Maßnahme

Quer zum Hang verlaufende Bearbeitungsspuren erzeugen kleine, stauende Barrieren, die flächenhaft eine Verbesserung des kleinräumigen Rückhaltes von Oberflächenwasser ermöglichen.

### ► Beschreibung

Statt in Richtung des Gefälles erfolgt die Bearbeitung des Schrages quer zum Hang, wodurch Mulden- und Rillenstrukturen entstehen, die dem Oberflächenabfluss Widerstand bieten und damit die Wasserinfiltration verbessern können. Die Maßnahme eignet sich für Schläge mit einer Hangneigung von max. 15 % und einer Breite von bis zu 100 m. Die Maßnahme ist in der landwirtschaftlichen Praxis einfacher umzusetzen als die methodisch verwandte Konturbewirtschaftung. Bei der Planung ist zu beachten, dass sich im Hinblick auf die Bewirtschaftung Nachteile ergeben, wenn sich die Schlaglänge gegenüber der ursprünglichen Bearbeitungsrichtung deutlich verkürzt. Eine Voraussetzung ist zudem, dass der Schlag über Feld- bzw. Wirtschaftswege parallel zum Hanggefälle erschlossen bzw. befahren werden kann.



Durch das Pflügen mit dem Hang wird die Erosion verstärkt – deshalb sollte die Bodenbearbeitung quer zum Hang ausgerichtet sein.

### ► Wirksamkeit

Der Wirkungsgrad ist als großflächige Maßnahme schwer zu erfassen, Modellierungen gehen aber von einer Reduzierung des Oberflächenabflusses um ca. 5 % aus. Die Maßnahme ist besonders in Verbindung mit Mulchsaat und bei einer geringen erosiv wirksamen Hanglänge wirksam.

### ► Synergieeffekte

Die Minderung von Oberflächenabfluss wirkt der Bodenerosion entgegen und fördert damit den Erhalt der Bodenfruchtbarkeit und Ertragsfähigkeit landwirtschaftlicher Nutzflächen.

### ► Hemmnisse

Fehlen seitliche Erschließungswege in Gefällerrichtung, kommt es v. a. bei der Bergung und Abfuhr von Erntegut zu mehr Überfahrten der seitlichen Randbereiche des Schrages (Vorgewende), was insgesamt mit höheren Lasteinträgen und einer stärkeren Verdichtung des Bodens verbunden ist. Ein höherer Arbeits- und Zeitaufwand kann entstehen, wenn sich die Feldlänge durch die Änderung der Bewirtschaftungsrichtung stark verkürzt.

### ► Akteure

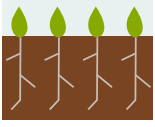
Landwirtschaftsbetriebe.

### ► Verortung – Wo ist die Maßnahme vorgesehen?

Auf Ackerflächen mit Hangneigungen, die größer oder gleich 2 % sind.



## 2.1.9 A-IV-1: Anbau tief wurzelnder Kulturen



### ► Ziel der Maßnahme

Der Anbau von möglichst tief wurzelnden Feldfrüchten ermöglicht die Nutzung der Wasservorräte des Unterbodens und stellt damit die Transpiration des Pflanzenbestandes sicher, wenn Niederschläge ausbleiben und der Wasservorrat im Oberboden aufgebraucht ist.

### ► Beschreibung

Die pflanzliche Wasserversorgung und damit auch das Transpirationsvermögen hängen neben dem im Wurzelraum des jeweiligen Bodens potentiell verfügbarem Wasser auch stark von der Fähigkeit der Pflanzen ab, den Boden möglichst tiefgründig zu durchwurzeln. Flach wurzelnde Kulturen wie Kartoffeln schöpfen das Bodenwasser lediglich aus Tiefen von maximal 0,9 bis 1,5 m aus, auch die Wurzeln von Gräsern reichen kaum tiefer als 50 cm (BLUME et al., 2010). Auch eine Wassernachlieferung aus oberflächennahem Grundwasser kommt u.U. nur tief wurzelnden Ackerkulturen zugute. Zu diesen zählen nach BLUME et al., 2010 im mitteleuropäischen Raum u. a. Winterweizen, Winterraps, Zuckerrübe und Luzerne. Die tatsächliche Wurzeltiefe ist jedoch immer auch standortabhängig.



Luzerne ist ein Beispiel für eine tief wurzelnde Kultur.

### ► Wirksamkeit

Die Wirksamkeit der Maßnahme im Hinblick auf die Transpiration wird bestimmt durch die Menge des pflanzenverfügbaren Wassers in tieferen Bodenschichten, die Durchwurzelbarkeit des Bodens und den Einfluss von Grundwasser.

### ► Synergieeffekte

Tief wurzelnde Pflanzen können in tiefere Bodenschichten verlagerte Nährstoffe wieder die Krume holen. Die Durchwurzelung des Unterbodens hinterlässt Makroporen, durch welche Niederschlags- und Sickerwasser schneller und tiefer in den Boden infiltrieren kann, was letztlich sowohl der Grundwasserneubildung zugute kommt als auch den tiefgründigen Bodenwasservorrat auffüllt.

### ► Hemmnisse

Wird in der Fruchtfolge auf flach wurzelnde Kulturpflanzen wie Kartoffeln komplett verzichtet, kann dies ökonomische Nachteile mit sich bringen.

### ► Akteure

Landwirtschaftsbetriebe.

### ► Verortung – Wo ist die Maßnahme vorgesehen?

Auf Ackerflächen.

## 2.1.10 A-V-1: Aufforstung marginaler Ackerstandorte

### ► Ziel der Maßnahme

Da Wälder eine ganzjährig höhere Verdunstung als Ackerflächen aufweisen, tragen sie zur Kühlung der Landschaft bei.

### ► Beschreibung

Bei einer Acker-Erstaufforstung werden Bäume auf einer bisher landwirtschaftlich genutzten Fläche gepflanzt, um einen Dauerwald im Sinne des Waldgesetzes entstehen zu lassen. Der Ackerstatus der Fläche geht damit verloren. Die Abgrenzung zu Kurzumtriebsplantagen, die nicht als Wald gelten, erfolgt durch die angestrebten, in der Regel wesentlich längeren Umtriebszeiten der Wälder von 80 bis 200 Jahren.

Erstaufforstungen gemäß §9 Landeswaldgesetz Brandenburg bedürfen einer Genehmigung der unteren Forstbehörde. Akteure haben bei Erstaufforstungen grundsätzlich eine freie Wahl der Baumarten. Einschränkungen ergeben sich aber möglicherweise aus der Stellungnahme der Unteren Naturschutzbehörde. Um eine standortgerechte Auswahl zu treffen und eine Entwicklung zu langfristig stabilen Waldbeständen sicherzustellen, sollten bei der Artenauswahl die Bestandeszieltypen für die Wälder des Landes Brandenburg (LUTHARDT, 2006) berücksichtigt werden.

Die Maßnahme zielt auf marginale Standorte ab (Ackerzahl < 23), denn hier werden im Rahmen der guten fachlichen Praxis landesweit die geringsten Erträge mit landwirtschaftlichen Kulturen erzielt.

### ► Wirksamkeit

Wälder weisen unter anderem aufgrund ihrer großen Gesamtblattfläche und der ganzjährigen Interzeption des Kronendachs und der Rinde im Vergleich zu Ackerkulturen eine höhere Evapotranspiration auf.

### ► Synergieeffekte

Wälder leisten einen erheblichen Beitrag zur Verminderung oder Vermeidung von Bodenerosion, verbessern das Mikroklima auf im Luv angrenzenden landwirtschaftlichen Flächen und besitzen vielfältige ökologische Funktionen.

### ► Hemmnisse

Der Schattenwurf und die Wurzelkonkurrenz der Bäume kann sich negativ auf den Aufwuchs der angebauten Feldkulturen in unmittelbarer Nähe auswirken.

### ► Akteure

Grundeigentümer.

### ► Verortung – Wo ist die Maßnahme vorgesehen?

Auf Ackerschlägen mit einer mittleren Ackerzahl < 23.



Blick auf eine Erstaufforstung mit Eichen.





## 2.2 Maßnahmen im Bereich Forstwirtschaft





## 2.2.1 F-I-1: Walderneuerung

### ► Ziel der Maßnahme

Zu stark aufgelichtete und teils abgängige Waldbestände sollen mit standortgerechten Baumarten aufgefüllt werden. Ein weiterer Ausgangszustand für diese Maßnahme sind Kleinkahlschläge.

### ► Beschreibung

Sind durch Windwurf, Trockenheit, Waldbrand oder Schädlingsbefall Waldbestände stark vorge-schädigt bzw. in Auflösung, sollte die Neubegrün-dung mit gebietsheimischen, standort- und kli-magerechten Baumarten erfolgen (BARTSCH, LÜP-KE & RÖHRIG, 2020; STAATSBETRIEB SACHSEN-FORST, 2016; MINISTERIUM FÜR UMWELT, LAND-WIRTSCHAFT, NATUR- UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN, 2021). So- weit möglich wird auf Naturverjüngung gesetzt. Sollte diese nicht ausreichen oder handelt es sich um große Kalamitätsflächen, ist Direktsaat der Pflanzung vorzuziehen. Mehrkosten fallen ggf. an, wenn nicht direkt nach der Kalamität gehandelt wird und die Bestände vergrasen oder verbuschen. Dann ist die Konkurrenz durch Gräser und Sträucher mittels geeigneter Methoden zu verringern, häufig wiederholt bis zur Etablierung des neuen Waldbestandes. Bei sehr starker Auflichtung erhöht sich das Ausfallrisiko für die Setzlinge durch Konkurrenz der Begleitvegetation und da sie nicht vor Hitze und Austrocknung geschützt sind.



Unter dem verbliebenen Schirm wurden Zielbaum-arten wie Trauben- und Stieleichen gepflanzt.

### ► Wirksamkeit

Durch den zunehmenden Kronenschirm der heranwachsenden Bäume erhöht sich deren Verdunstung und damit die Kühlung gegenüber dem lückigen Ausgangszustand. Ersetzt zudem ein stand-ortgerechter Laub- oder Mischwald einen früheren Kiefern-Reinbestand, ist ein ausgeglicheneres Bestandesklima und eine verbesserte Kühlung zu erwarten.

### ► Synergieeffekte

Entstehen durch eine Bestandesneubegründung Laub- und Mischbestände in ehemaligen Kiefern-Reinbeständen, ist eine geringere Interzeptionsverdunstung und eine höhere Tiefensickerung bzw. Grundwasserneubildung zu erwarten (FRITZ, 2006; ELLISON et al., 2017; MÜLLER, 2019; GUTSCH et al., 2011; NATKHIN et al., 2012). Laub- und Mischbestände reduzieren zudem aufgrund ihres feuchteren Waldinnenklimas die Gefahr von Waldbränden (SCHELHAAS, NABUURS & SCHUCK, 2003). Weitere Kalamitäten wie Windbruch und Dürren sind ebenfalls weniger wahrscheinlich als in reinen Nadelholzbeständen (SCHELHAAS, NABUURS & SCHUCK, 2003; STECKEL et al., 2020).

### ► Hemmnisse

Die Förderung und Einbringung von standortgerechten Laubbäumen anstelle von risikoreichen Kiefernmonokulturen erfordert ein generelles Umdenken in allen Waldbesitzarten, da die Kiefer über Jahrzehnte als der »Brotbaum« der Lausitz galt und in der Region noch dreiviertel der Waldbesto-

ckung ausmacht. Eine Bestandesneubegründung erzeugt Kosten für Pflanzmaterial, Zäunung und Kulturpflege. Die Entscheidung, ob die Naturverjüngung allein für eine Walderneuerung ausreicht, erfordert forstliches Fachwissen.

► **Akteure**

---

Waldbesitzer.

► **Verortung – Wo ist die Maßnahme vorgesehen?**

---

Sehr stark aufgelichtete Waldbestände.



## 2.2.2 F-II-1: Struktureiche Waldaußenränder

### ► Ziel der Maßnahme

Zur Verbesserung des Waldinnenklimas und zum Schutz des Waldes vor Extremwetterereignissen sollen struktureiche Waldaußenränder entwickelt werden.

### ► Beschreibung

Für die Entwicklung naturnaher, ökologisch vielfältiger und stabilisierend wirkender Waldaußenränder sind vielgestaltige Übergangszonen vom Wald zum Offenland anzustreben, in der sich Kraut-, Strauch- und Baumschicht mosaikartig durchmischen. Dafür wird eine Flächentiefe von 20 bis 30 m empfohlen (MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, UMWELTSCHUTZ UND RAUMORDNUNG DES LANDES BRANDENBURG, 2004). Durch kleine Ausbuchtungen entstehen Schatten- und Sonnenseiten, die den Habitatwert erhöhen. Die meisten Waldränder im Landkreis Elbe-Elster bestehen aktuell nur aus dem Trauf der Hauptbaumart. Die Baum- und Straucharten sollten sich an umliegenden Waldrändern, Hecken und Feldgehölzen orientieren; Hinweise geben MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, UMWELTSCHUTZ UND RAUMORDNUNG DES LANDES BRANDENBURG, 2004 und ROLOFF & GRUNDMANN, 2008. In der Etablierungsphase ist i.d.R. eine Zäunung erforderlich, ggf. auch Pflegemaßnahmen.



Ein struktureicher Waldaußenrand im Übergang zu einem Feuchtgebiet.

### ► Wirksamkeit

Ein struktureicher Waldaußenrand kann als Pufferzone für die Bestockung angesehen werden. Er übt einen ausgleichenden Einfluss auf Strahlungs-, Temperatur- und Feuchteverhältnisse im dahinterliegenden Waldbestand aus (MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, UMWELT UND KLIMASCHUTZ, 2020). Dadurch wird das Bestandesinnenklima vor Temperaturextremen und Aushagerung durch Wind geschützt (MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, UMWELTSCHUTZ UND RAUMORDNUNG DES LANDES BRANDENBURG, 2004).

### ► Synergieeffekte

Waldränder schützen den angrenzenden Hauptbestand vor Wind- und Wassererosion, Stoffeinträgen, Frost- und Sturmschäden sowie Waldbränden (MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, UMWELT UND KLIMASCHUTZ, 2020; MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, UMWELTSCHUTZ UND RAUMORDNUNG DES LANDES BRANDENBURG, 2004). Es entstehen wertvolle Habitate für Vögel (MCCOLLIN, 1998; TERRAUBE et al., 2016) und Säugetiere (SCHLINKERT et al., 2016). Als streifenförmiges Landschaftselement dient er dem Biotopverbund und wertet das Landschaftsbild auf.

### ► Hemmnisse

Mit einem struktureichen Waldrand von passender Breite geht ein Teil der forstwirtschaftlichen Nutzfläche und damit des Holzertrags verloren. Der Krautsaum bedarf regelmäßiger Pflege.

### ► Akteure

Waldbesitzer.



► **Verortung – Wo ist die Maßnahme vorgesehen?**

---

Waldaußenränder.

## 2.2.3 F-II-2: Ökologischer Waldumbau

### ► Ziel der Maßnahme

Durch die Erhöhung des Laubholzanteils entsprechend der potenziell natürlichen Vegetation soll die sommerliche Kühlleistung einer Waldfläche bei gleichzeitig höherer Wasserspeicherung bzw. Grundwasserneubildung im Winterhalbjahr verbessert werden.

### ► Beschreibung

Unter ökologischem Waldumbau wird eine Umwandlung von naturfernen Nadelholzreinbeständen in naturnähere Misch- und Laubwälder verstanden (FRITZ, 2006). Wesentliches Element ist die Erhöhung der Baumartenvielfalt, welche zumeist verbunden mit einem Wechsel der Art der Verjüngung und Erziehung der Waldbestände verbunden ist: vom Altersklassenwald und Kahlschlagbetrieb hin zum Vorverjüngungsbetrieb und Dauerwald, woraus ungleichaltrige und strukturreiche Bestände hervorgehen.



Waldumbau ist durch gezielte und vorausschauende Förderung der Naturverjüngung und vorsichtiges Auflichten möglich. Bei Fehlen geeigneter Samenbäume in der Umgebung ist die aktive Walderneuerung durch Saat oder Pflanzung erforderlich, auch zur Ergänzung der spontanen Naturverjüngung von Pioniergehölzen. Er wird häufig als planmäßiger Voranbau unter einem gelichteten Nadelholz-Schirm durchgeführt. Zur Minimierung der Risiken gegenüber klimawandelbedingten Stressoren werden strukturreiche Mischbestände aus mehreren Baumarten empfohlen (STÄHR, KÖHLER & ROSE, 2006; BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ, 2020), wobei die Auswahl unbedingt an den Standort anzupassen ist.

Waldumbau durch Naturverjüngung mit Traubeneichen.

### ► Wirksamkeit

Standortgerechte Laubbäume können, wenn ausreichend Wasser verfügbar ist, während der Sommermonate mehr Wasser als Nadelbäume verdunsten und weisen deshalb ein ausgeglicheneres, kühleres Bestandesinnenklima auf (L. ZIMMERMANN et al., 2008).

### ► Synergieeffekte

Laub- und Mischbestände haben gegenüber Kiefern-Reinbeständen eine geringere Interzeptionsverdunstung und eine höhere Tiefensickerung (FRITZ, 2006). Sie leisten daher im Jahresverlauf einen höheren Beitrag zur Grundwasserneubildung (ELLISON et al., 2017; MÜLLER, 2019; GUTSCH et al., 2011; NATKHIN et al., 2012). Laub- und Mischbestände reduzieren aufgrund ihres feuchteren Waldinnenklimas die Gefahr von Waldbränden (SCHELHAAS, NABUURS & SCHUCK, 2003). Laubwälder gelten auf den allermeisten Lokalbodenformen als weniger anfällig gegenüber Windwürfen als Nadelwälder (SCHELHAAS, NABUURS & SCHUCK, 2003; HANEWINKEL, ALBRECHT & SCHMIDT, 2015). Die Mischung von Kiefern und Eichen in Laubmischwäldern kann dazu beitragen, die Anfälligkeit des Waldes gegenüber Kalamitäten in Dürrephasen zu verringern (STECKEL et al., 2020).

### ► Hemmnisse

Eine Abkehr von Monokulturen der Kiefer erfordert ein generelles Umdenken. Ein Waldumbau in der



Pflege- sowie frühen Verjüngungsphase (Alter des Oberstandes < 80 Jahre) ist mit wirtschaftlichen Einbußen verbunden. Problematisch sind häufig die zersplitterten Besitzverhältnisse von Wäldern.

► **Akteure**

---

Waldbesitzer.

► **Verortung – Wo ist die Maßnahme vorgesehen?**

---

Naturferne Nadelbaumreinbestände.



## 2.3 Maßnahmen im Bereich Siedlung



### 2.3.1 S-I-1: Baumreihen außerorts (Alleen und Baumreihen)

#### ► Ziel der Maßnahme

Das Ziel dieser Maßnahme ist die Beschattung und eine höhere Verdunstung durch Bäume an Straßen außerhalb von Ortschaften.

#### ► Beschreibung

Die Bäume werden als Baumreihe entweder entlang einer Straßenseite oder an beiden Straßenseiten gepflanzt. Als Alleebaum wird mit Hinblick auf die klimatischen Veränderungen die Winterlinde (*Tilia cordata*) empfohlen. Jeder Baum benötigt ein Pflanzgrube von 12 m<sup>3</sup>. Die Bäume werden in einem Abstand von 10 Meter zueinander und 4 Meter von der Straße entfernt gepflanzt. Zwischen der Baumreihe und Straße kann ein Graben mit bindigem Material das ablaufende Wasser aufnehmen und langsam versickern lassen.

Nach der Pflanzung sind zunächst ein Erziehungsschnitt und später weitere Pflegemaßnahmen erforderlich, damit die Verkehrssicherheit gewährt ist. Im Sommer ist ggf. eine Bewässerung, vor allem in den ersten Jahren nach der Pflanzung, erforderlich.



Baumreihen tragen auch zur Gliederung der Landschaft bei und bremsen den Wind ab.

#### ► Wirksamkeit

Siehe Maßnahme Baumreihen innerorts, S. 27.

#### ► Synergieeffekte

Eine Baumreihe zwischen Straße und Rad- bzw. Fußweg spendet Fußgängern und Radfahrern Schatten. Die Baumreihen sind ein gliederndes Landschaftselement, die den Wind bremsen und so Winderosion und Schneeverwehungen mindern. Sie verbessern die Orientierung bei Nebel und Dämmerung. Insbesondere für Insekten und Vögel bieten Baumreihen Nahrungs- und Bruthabitate.

#### ► Hemmnisse

Platzmangel kann das Anlegen einer Allee bzw. einer Baumreihe verhindern. Gegebenenfalls entstehen Nutzungskonflikte mit der angrenzenden Landnutzung.

#### ► Akteure

Straßenmeistereien (Landkreise, Kommunen).

#### ► Verortung – Wo ist die Maßnahme vorgesehen?

Bereits bestehende Baumreihen können entweder verlängert oder Lücken, die durch Ausfall von Bäumen entstanden sind, gefüllt werden. An Straßen ohne bestehende Baumreihe kann diese neu angelegt werden.



## 2.3.2 S-I-2: Baumreihen innerorts

### ► Ziel der Maßnahme

Das Ziel der Maßnahme ist es, durch die Schattenwirkung und das Verdunstungspotenzial von Bäumen entlang von Straßen und Wegen im Siedlungsraum für eine lokale Absenkung der Lufttemperatur und Erhöhung der Luftfeuchtigkeit zu sorgen.

### ► Beschreibung

Am Straßenrand oder auf Grünflächen können Bäume entweder auf einer oder auf beiden Seiten von Straßen oder Wegen im Abstand von 8 m gepflanzt werden. Nach Möglichkeit sollte eine Baumscheibe hergestellt werden. Gepflanzt werden kann z. B. Ahorn (*Acer platanoides* Globosum, Kugelhorn). Zur Stabilisierung in der Anwuchsphase werden die Bäume mit je drei Pflanzpfählen gestützt. Eine Bewässerung z. B. mithilfe eines wöchentlich zu befüllenden Bewässerungssacks (60 Liter) ist insbesondere für neu gepflanzte Bäume erforderlich.



Vor allem großkronige Bäume leisten innerorts einen Beitrag zur Kühlung.

### ► Wirksamkeit

Die Wirksamkeit ist abhängig von der Größe (Höhe, Alter) und Dichte der ausgebildeten Laubkrone (Blattflächenindex), der Baumart und der Trockenstresstoleranz. Zum Beispiel hat eine Winterlinde einen 35 % größeren Blattflächenindex (LAI) als eine Robinie und so eine größere Temperaturreduzierung (2,8 K vs. 1,9 K) (RAHMAN, HARTMANN et al., 2020). Baumreihen mit einer geschlossenen Krone kühlen besser (RAHMAN, HARTMANN et al., 2020). Die Verdunstung der Bäume ist zudem über einer Grasfläche deutlich höher als über einer versiegelten Fläche (RAHMAN, STRATOPOULOS et al., 2020). An besonders heißen Sommertagen kann eine Kühlung um 8,5 (über Gras) bis 16,4 K (über Asphalt) erreicht werden (SPEAK et al., 2020). Auch GILLNER et al., 2015 zeigen einen Temperaturunterschied von 15,2 K zwischen der Asphaltfläche mit und ohne Beschattung durch Bäume.

### ► Synergieeffekte

Mehr Stadtgrün verbessert die Wohn- und Lebensqualität der Menschen in der Stadt. Insbesondere für Insekten und Vögel bieten Baumreihen Nahrungs- und Bruthabitate.

### ► Hemmnisse

Hemmnisse sind fehlender Platz bzw. Nutzungskonkurrenz mit Fuß- und Radwegen, der Aufwand zur Umgestaltung bestehender Straßen, sowie die Pflege und die unter Klimawandel phasenweise auch für ältere Bäume notwendige Bewässerung.

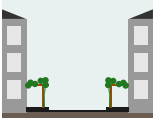
### ► Akteure

Umsetzung durch den Baulastträger der jeweiligen Straße (Gemeinde, Landkreis, Bund).

### ► Verortung – Wo ist die Maßnahme vorgesehen?

Baumreihen können entlang der Straßen und Wege innerorts gepflanzt werden, wenn der Platzbedarf zur nächstgelegenen Bebauung ausreicht.

### 2.3.3 S-I-3: Pergola



#### ► Ziel der Maßnahme

Die Überdachung von Gehwegen mit einer Pergola hat die Kühlung eines Bereichs zum Ziel, der von Menschen in der Stadt häufig genutzt wird. Gehwege sind meist versiegelt, selten im Schatten und damit stark aufgeheizt.

#### ► Beschreibung

Die Pergola („Green Cocoon“) besteht aus einem länglichen Rankgestell, welches in großen Bögen oder als ebenes Dach auf Pfeilern eine versiegelte Fläche, wie z. B. einen Gehweg oder einen Parkplatz, überspannt. Das „Dach“ der Pergola besteht aus rankenden Pflanzen, z. B. *Wisteria* (Blauregen). Die Pflanzen werden in einem Abstand von 3 Metern neben den Pfeilern in den Boden gepflanzt. Im Sommer müssen die Pflanzen bei Bedarf bewässert werden.



Beispiel für eine Pergola im Siedlungsgebiet.

#### ► Wirksamkeit

Beschattete Gehwege sind vor allem in heißen und trockenen Regionen der Welt verbreitet, wobei der Einsatz von Pergolen nur selten zu finden ist (z. B. in Bangkok, Expo 2020 in Dubai). Dabei ist der positive Effekt einer Pergola nachgewiesen: Die Lufttemperatur unter ihr kann im Durchschnitt 8,1 K geringer sein als über einem Betondach (ALEXANDRI & JONES, 2006).

#### ► Synergieeffekte

Mehr Stadtgrün verbessert die Wohn- und Lebensqualität der Menschen in der Stadt. Zudem leistet sie einen Beitrag zur menschlichen Gesundheit und verhindert, dass Menschen, die zu Fuß unterwegs sind, zu stark durch direkte und langandauernde Sonneneinstrahlung belastet werden.

#### ► Hemmnisse

Auch eine Pergola benötigt etwas Platz, regelmäßige Pflege und eine ausreichende Bewässerung. Die nachträgliche Installation ist aufwendiger (z. B. Pflanzlöcher in Gehwegen, Berücksichtigung des Leitungsnetzes) als die planerische Einbeziehung der Pergola bei der Sanierung und Neuanlage von Wegen und Plätzen.

#### ► Akteure

Besitzer öffentlicher Grundstücke.

#### ► Verortung – Wo ist die Maßnahme vorgesehen?

Gehwege und versiegelte Bereiche.



## 2.3.4 S-II-1: Baumgruppen im Siedlungsraum

### ► Ziel der Maßnahme

Durch Verdunstung und Schattenwirkung senken Baumgruppen die Lufttemperatur und erhöhen die Luftfeuchtigkeit in ihrer unmittelbaren Umgebung.

### ► Beschreibung

Oftmals ist trotz der vorteilhaften Wirkung nur ein kleiner Teil von Freiflächen mit Bäumen bestanden. Wir schlagen vor, 60 % der Freiflächen mit Bäumen zu bepflanzen (Bezug: Kronendach). Ggf. müssen hierfür auch Flächen entsiegelt werden. Die verbleibenden Bereiche ohne Baumbestand dienen verschiedenen Nutzungen wie Spielrasen und Wäscheplätzen und tragen zum Luftaustausch mit der Umgebung bei.

Bei der Neuanlage werden Gruppen von jeweils drei heimischen Laubbäumen vorgeschlagen, wie Eichen, Ahorn und Linden, die später ein geschlossenes Kronendach bilden sollen. Auf größeren Flächen können mehrere Baumgruppen angelegt werden (eine Baumgruppe benötigt 250 m<sup>2</sup> Platz). Sind bereits einige Bäume auf der Fläche vorhanden, die jedoch weniger als 60 % der Fläche über-schirmen, kann der vorhandene Baumbestand verdichtet werden.



Baumgruppen im Siedlungsraum können das Kleinklima ausgleichen.

### ► Wirksamkeit

Bäume können eine erheblich größere Kühlleistung als Klimaanlage erreichen (KRAVČÍK et al., 2007). Aber nicht alle Bäume kühlen in gleicher Weise. Zum Beispiel hat eine Winterlinde einen 35 % größeren Blattflächenindex (LAI) als eine Robinie – was zu einem Unterschied in der Temperaturreduzierung von 2,8 K vs. 1,9 K führt (RAHMAN, HARTMANN et al., 2020). Bäume über einer Grasfläche kühlen besser als auf versiegelten Standorten (RAHMAN, STRATOPOULOS et al., 2020) und Baumgruppen besser als Solitärbäume (RAHMAN, HARTMANN et al., 2020) oder zerstreut stehende Bäume (ZHAO, SAILOR & WENTZ, 2018; FAN, MYINT & ZHENG, 2015; MYINT et al., 2015; GREENE & KEDRON, 2018).

### ► Synergieeffekte

Mehr Stadtgrün verbessert die Wohn- und Lebensqualität der Menschen in der Stadt. Insbesondere für Insekten und Vögel bieten Baumgruppen Nahrungs- und Bruthabitate.

### ► Hemmnisse

Bäume müssen gepflegt werden. Vor allem in der Anwuchsphase nach der Pflanzung ist eine ausreichende Bewässerung erforderlich. Das herabgefallene Laub muss ggf. eingesammelt werden.

### ► Akteure

Grundeigentümer.

### ► Verortung – Wo ist die Maßnahme vorgesehen?

Grünflächen (Kleingärten ausgenommen) im Siedlungsbereich, bei denen weniger als 60 % ihrer

Gesamtfläche (ohne Gebäude) mit Baumkronen überschirmt ist.

### 2.3.5 S-II-2: Aufforstung urbaner Brachflächen

#### ► Ziel der Maßnahme

Der Waldanteil in der Stadt soll durch Aufforstung von Brachflächen mit verdunstungsstarken und klimaangepassten Bäumen erhöht werden.

#### ► Beschreibung

Auf der Brachfläche werden verschiedene Laubbaumarten gepflanzt. Wir empfehlen eine Mischung aus 2-3-jährigen Traubeneichen, Rotbuchen und Hainbuchen zu gleichen Teilen mit mindestens 6000 Pflanzen pro ha. Die Schonung wird mit einem Wildzaun zum Schutz vor Wildverbiss umzäunt. Bis die jungen Bäume die Begleitvegetation (Adlerfarn, Gräser, Brombeeren) überragen, muss diese im Sommer und vor dem Winter gemäht werden. Der Waldrand sollte mit gebietsheimischen Baum- und Straucharten wie Gemeine Hasel, Felsenbirne, Weißdorn, Hartriegel, Heckenkirsche, Heckenrose, Himbeere, Holunder und Pfaffenhütchen gestaltet werden.



Aufforstung einer Brachfläche im urbanen Raum.

Bei versiegelten Brachen muss das wasserundurchlässige Material entfernt und im Anschluss neuer Boden aufgetragen werden, bevor die Pflanzung erfolgen kann.

#### ► Wirksamkeit

Die Wirkung dieser Maßnahme, d. h. die Verdunstungsleistung der Fläche, hängt von der Dichte des Bewuchses und deren Wasserversorgung ab. Der Effekt ändert sich über die Zeit.

#### ► Synergieeffekte

Die Fläche ist ein neuer Lebensraum für Pflanzen und Tiere, ggf. auch eine Verbindung zu angrenzenden Waldbiotopen. Das Landschaftsbild der Siedlung wird aufgewertet. Die Fläche kann auch zum Rückhalt bei Starkregen beitragen und Erosion verhindern.

#### ► Hemmnisse

Hemmnisse können ungeklärte Eigentumsverhältnisse sein sowie das Vorliegen (oder der Verdacht) einer Altlastenfläche, was zu erheblichen Kostensteigerungen führen kann. Auch besitzen manche Brachflächen bereits wieder einen Wert für den Naturschutz, wenn z. B. ungenutzte Gebäude durch Gebäudebrütende Vögel oder Fledermäuse besiedelt werden.

#### ► Akteure

Grundeigentümer.

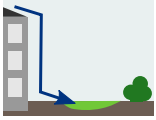
#### ► Verortung – Wo ist die Maßnahme vorgesehen?

Brachflächen, etwa Industrie- und Gewerbebrachen, landwirtschaftliche Brachen (v.a. ehemalige Stallungen etc.) sowie Gartenbrachen und Ruderalflächen mit ausreichender Flächengröße.

## 2.3.6 S-III-1: Versickerung von Niederschlagswasser über Mulden im Garten – Rain gardens

### ► Ziel der Maßnahme

Niederschlagswasser von Dächern soll direkt vor Ort versickern können. Über eine bepflanzte Mulde kann ein Teil des Wassers gleich wieder verdunsten.



### ► Beschreibung

Das Niederschlagswasser wird vom Dach in eine bewachsene Mulde geleitet. Um den Boden nicht mit Schwermetallen zu belasten, ist unter Umständen der Einbau einer Filteranlage unterhalb des Fallrohres erforderlich. Die Mulde sollte einen ausreichenden Abstand zum Gebäude haben ( $\geq 5$  m), damit am Gebäude keine Feuchtschäden auftreten. Die Größe der bewachsenen Mulde sollte 20 % des abflusswirksamen Daches betragen (BORTOLINI & ZANIN, 2018). Die Mulde selbst sollte an den Rändern mit abdichtendem Boden, nach unten mit einem Boden mit höherer Wasserspeicherfähigkeit ausgestattet sein. Die Mulde wird bepflanzt, entweder mit Gräsern und Kräutern, die gemäht werden können, oder mit an den Standort angepassten Stauden. Mit der Bepflanzung wird die Qualität des Sickerwassers verbessert, da die Pflanzen Nährstoffe aus dem Dachablaufwasser aufnehmen (DENMAN, MAY & MOORE, 2016).



Versickerungsmulden können mit heimischen Feuchtgebietspflanzen naturnah gestaltet werden.

### ► Wirksamkeit

Die Kühlwirkung ist durch die Größe der Struktur eher lokal, die Verdunstung kann aber durchaus 1,5 bis 9 mm/Tag bzw. zwischen 21 und 84 % des Niederschlags erreichen (EBRAHIMIAN, WADZUK & TRAVER, 2019).

### ► Synergieeffekte

Da der Boden in der Mulde die Wassermenge von der Dachfläche nicht vollständig speichern wird, trägt ein erheblicher Teil des Abflusswassers zur Grundwasserneubildung bei. Außerdem wird vor allem bei Starkregenereignissen das Kanalsystem entlastet. Für den Grundstücksbesitzer fallen ggf. keine Entwässerungsgebühren mehr an.

### ► Hemmnisse

Hemmnisse können der benötigte Platz und der Eingriff in die Gartengestaltung sein.

### ► Akteure

Alle privaten und öffentlichen Grundstückseigentümer mit einem Gebäude und einer zugehörigen Gartenfläche.

### ► Verortung – Wo ist die Maßnahme vorgesehen?

Die Maßnahme wird in Wohn- und Mischgebieten mit Einzel- und Reihenhausbebauung sowie für Gemeindebedarfsflächen (z. B. Krankenhäuser) vorgeschlagen.



### 2.3.7 S-III-2: Mulden an Straßen

#### ► Ziel der Maßnahme

Von Verkehrsflächen ablaufendes Niederschlagswasser soll ortsnahe in bewachsenen Mulden versickern bzw. verdunsten und so zum Kühleffekt der Umgebung beitragen.

#### ► Beschreibung

Das Niederschlagswasser fließt von Verkehrsflächen wie Parkplätzen, Parktaschen und Straßen in eine parallel verlaufende Versickerungsmulde, die aus Bodenmaterial besteht. Die Vegetation der Mulde besteht entweder aus Gras oder aus Gras und Bäumen. Die Mulden mit Gras beanspruchen etwa 20 % der abflusswirksamen Verkehrsfläche. Unter einem humosen Oberboden (etwa  $0,2 \text{ m}^3/\text{lfm}$ ) wird ein Feinsand-Schluff-Gemisch mit einer Wasserdurchlässigkeit von  $10^{-5} \text{ m/s}$  (etwa  $1,7 \text{ m}^3/\text{lfm}$ ) eingebracht. Der Pflegeaufwand ist gering. Angesammeltes Sediment und andere Partikel sollten von Zeit zu Zeit entfernt werden. Bäume erhöhen die Verdunstungsleistung (SZOTA et al., 2018). Sie müssen gepflegt werden. Ein typischer Muldenabschnitt mit einem Baum ist 2 m breit, 6 m lang und wird 1,8 m tief ausgehoben – es verbleiben 0,30 cm Sohlentiefe als Stauraum. Als Baumart ist die Stieleiche *Quercus robur* zu empfehlen. Das Bodenmaterial des Pflanzloches sollte einen  $k_f$ -Wert von  $10^{-6} \text{ m/s}$  haben.



Vorhandene Strassengräben können in Versickerungsmulden umgestaltet werden.

#### ► Wirksamkeit

Versickerungsmulden mit Bäumen wirken sich positiver auf die Abflussreduzierung aus als andere Mulden- bzw. Rückhaltesysteme (BIXLER et al., 2020). Die Verdunstungsmenge ist größer als auf einer Grasfläche (TIRPAK, HATHAWAY & FRANKLIN, 2019). Sie ist u. a. von der Baumart, dem Bedeckungsgrad und der Bodenbedeckung abhängig (ZARDO et al., 2017).

#### ► Synergieeffekte

Bei Starkregenereignissen wird die Überschwemmung der Verkehrsfläche und Überlastung des Kanalsystems vermieden. Sickerwasser trägt zur Grundwasserneubildung bei (BONNEAU et al., 2017). Die Filterwirkung des Bodens reinigt das Sickerwasser von Schadstoffen (GAVRIĆ et al., 2019) und verringert die Stickstofffrachten (DAGENAIS, BRISSON & FLETCHER, 2018). Das Wasser in den Mulden versorgt zugleich die Bäume, wobei Staunässe vermieden werden soll (GREY et al., 2018).

#### ► Hemmnisse

Der für die Mulden benötigte Platz kann begrenzend sein. Bei bereits vorhandenen Verkehrsflächen, vor allem bei Parkplätzen, müsste ein Teil der versiegelten Fläche entfernt und damit die Fläche verkleinert werden. Zudem ist ein gewisser Pflegeaufwand erforderlich.

#### ► Akteure

Grundeigentümer, Straßenmeistereien.

#### ► Verortung – Wo ist die Maßnahme vorgesehen?

Am Rand von versiegelten Straßen, Plätzen, Promenaden und Parkplätzen.

### 2.3.8 S-IV-1: Fassadenbegrünung

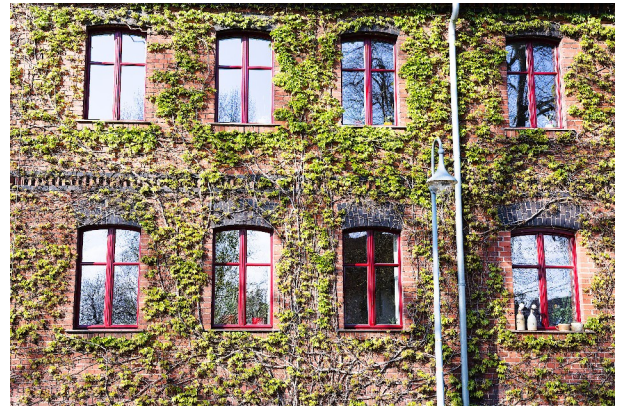


#### ► Ziel der Maßnahme

An der Hausfassade rankende Pflanzen kühlen über ihre Verdunstung die unmittelbare Umgebung und beschatten die Hauswand. Damit wird auch das Aufheizen von Gebäuden in Hitzeperioden abgemildert.

#### ► Beschreibung

Es werden Rankhilfen an den Gebäuden angebracht und die Rankpflanzen in den Boden gesetzt. Rankhilfen können z. B. aus gespannten Drahtseilen bestehen. Je nach Standort und gewünschter Rankhöhe kommen verschiedene Rankpflanzen in Frage, z. B. Clematis-Arten. Bei Bedarf müssen die Pflanzen bewässert werden. Es wird mit einem Bedarf von 3 L/Pflanze und Tag gerechnet. Dafür kann ggf. Wasser vom Dachablauf in einer Zisterne gesammelt werden.



Fassadenbegrünung mit Wildem Wein beim Austrieb im Frühjahr.

#### ► Wirksamkeit

Die Verdunstungsleistung der Pflanzen erhöht die Luftfeuchtigkeit und reduziert die Lufttemperatur um bis zu 8,7 K (SHAFIEE et al., 2020; LEI et al., 2019) in Außenbereichen, sowie 0,8 bis 4,8 K in Innenräumen (LEI et al., 2019). Der Temperaturunterschied zwischen einer begrünten und einer unbegrünten Fassade liegt zwischen 1 und 31,9 K (BESIR & CUCE, 2018) bzw. 12 bis 20 K (MAZZALI et al., 2013).

#### ► Synergieeffekte

Die Fassadenbegrünung kann als zusätzlich Dämmschicht zum Energiesparen (Kühlung, Heizung) beitragen. Die Pflanzen schützen die Bausubstanz vor mechanischen und chemischen Umwelteinflüssen, z. B. durch Immobilisierung von Schadstoffpartikeln aus dem angrenzenden Straßenverkehr (YSEBAERT et al., 2021). Bestimmte Obstgehölze können als Spalier gepflanzt werden. Durch das Geflecht der Pflanzen und dem Einsatz bestimmter Pflanzenarten entstehen neue Habitate für Tiere. Fassadenbegrünung kann Wände gestalterisch aufwerten und damit die Lebensqualität der Anwohner verbessern.

#### ► Hemmnisse

Die Pflanzen müssen gepflegt und bewässert werden. Die Verankerung der Rankhilfe greift ins Mauerwerk ein. Dies ist entweder nicht gewünscht oder die Fassade ist dafür nicht geeignet. Rankhilfen und ggf. eine Zisterne müssen unterhalten werden.

#### ► Akteure

Jeder Eigentümer von Gebäuden. Dazu zählen sowohl Wohn- als auch Geschäfts- und Bürogebäude sowie Lager- und Produktionshallen. Auch Parkhäuser können eine Fassadenbegrünung erhalten.

#### ► Verortung – Wo ist die Maßnahme vorgesehen?

Gebäudebestand.

### 2.3.9 S-IV-2: Dachbegrünung

#### ► Ziel der Maßnahme

Durch die Vegetation auf den Dächern kann Wasser verdunsten, sodass die Dächer und ihre direkte Umgebung gekühlt werden.

#### ► Beschreibung

Begrünt werden vor allem Flachdächer. Auf diesen wird ein Unterbau aus Abdichtungsschicht, Wurzelschutz, Wasserspeicher, Dränschicht, Filtervlies und Bodensubstrat installiert. Je nach Ziel und möglicher Dachlast (und damit unterschiedlich mächtigem Boden) können dann Gräser oder niedrige Stauden, aber auch üppigere Stauden bis hin zu Sträuchern und kleinen Bäumen wachsen. Ihnen steht ein Teil des Niederschlagswassers zur Verfügung, ein Überschuss etwa in längeren Regenphasen wird über die Dachentwässerung abgeführt. Der Pflegeaufwand ist gering; eine Bewässerung kann vor allem im ersten Jahr als Anwachspflege notwendig sein. Später kann ein Schnitt notwendig werden.



Ein intensiv begrüntes Dach.

#### ► Wirksamkeit

Wenn sich die Vegetationsdecke geschlossen hat, kann die Umgebungstemperatur um 0,3 bis 3,0 K reduziert werden. Im Sommer kann durch die Dachbegrünung die Oberflächentemperatur um 12K reduziert werden (BESIR & CUCE, 2018). In den Innenräumen der Gebäude konnten 0,3 bis 0,7 K niedrigere Temperaturen gemessen werden (MORAKINYO, DAHANAYAKE & NG, 2017).

#### ► Synergieeffekte

Gründächer puffern Niederschlagsspitzen ab, verbessern das Raumklima im Gebäude (Dämmwirkung) und bieten zusätzliche Blühflächen für Insekten.

#### ► Hemmnisse

Viele bestehende Dächer sind ungeeignet, da sie zu stark geneigt sind oder die zusätzliche Dachlast (ca. 150 kg/m<sup>2</sup> bei wassergesättigtem Zustand) statisch nicht tragen können. Dazu kommen die Investitionskosten und der Pflegeaufwand.

#### ► Akteure

Eigentümer von Gebäuden mit flachen oder nur leicht geneigten Dächern.

#### ► Verortung – Wo ist die Maßnahme vorgesehen?

Wohn- und Mischgebiete, aber auch Garagenkomplexe, Kleingartenanlagen, Wochenendhäuser und landwirtschaftliche Stallungen.



## 2.3.10 S-V-1: Entsiegelung und Begrünung

### ► Ziel der Maßnahme

Nicht mehr genutzte, aber versiegelte Flächen sollen wieder in den aktiven Wasserkreislauf eingebunden werden. Das Niederschlagswasser kann wieder an Ort und Stelle versickern und steht einer sich neu ausbildenden Vegetation zur Verfügung.

### ► Beschreibung

Auf versiegelten Brachflächen sind die Asphalt- oder Betonschichten einschließlich des Unterbaus zu entfernen. Anschließend muss neuer Boden aufgetragen werden. Danach kann eine Gras-Kräuter-Mischung eingesät oder, je nach angedachter Funktion der Fläche, eine andere Vegetation etabliert werden.

### ► Wirksamkeit

Die Wirkung dieser Maßnahme, d. h. die Verdunstungsleistung der Fläche, hängt von der Dichte des Bewuchses und deren Wasserversorgung ab. Der Effekt sollte nach Etablierung der neuen Vegetationsdecke mit dem vorhandener Grünflächen vergleichbar sein.



Eine noch versiegelte, aber schon lange nicht mehr genutzte Fläche, die von der Maßnahme profitieren könnte.

### ► Synergieeffekte

Die wieder erlangte Versickerungsfähigkeit der Flächen trägt zur Grundwasserneubildung und ggf. zur Kappung von Niederschlagsspitzen bei. Die Lebensraumfunktion für Pflanzen und Tiere wird wiederhergestellt und ggf. können Lücken im Biotopverbund geschlossen werden. Die Entsiegelung wertet die Fläche auch ästhetisch auf und verbessert das Wohnumfeld.

### ► Hemmnisse

Gegebenenfalls ist mit Altlasten zu rechnen. Leerstehende Gebäude können Gebäudebrütende Vögel und Fledermäuse beherbergen.

### ► Akteure

Grundeigentümer.

### ► Verortung – Wo ist die Maßnahme vorgesehen?

Brachflächen von Industrie und Gewerbe ebenso wie landwirtschaftliche Brachen (Stallungen) sowie Gemeinbedarfsflächen mit geringem Grünflächenanteil.



### 2.3.11 S-V-2: Rasengittersteine

#### ► Ziel der Maßnahme

Rasengittersteine sind ein Kompromiss zwischen einer befestigten Fläche und dezentraler Versickerung. In den offenen Zwischenräumen der Rasensteine kann sich eine niedrige Grasvegetation etablieren, die einen Teil des Wassers verdunstet und so zur Kühlwirkung beiträgt.

#### ► Beschreibung

Rasensteine können zur Befestigung von Parkplätzen und Zufahrten eingesetzt werden. Die versiegelten Flächen müssen zunächst entsiegelt und dann mit einem Unterbau aus Schotter und Sand versehen werden, bevor die Rasensteine verlegt werden können.

#### ► Wirksamkeit

Die Verdunstung ist abhängig von der Vegetation in den Zwischenräumen und vor allem vom Fugen-Anteil. Erfolgt nur wenig Abfluss, kann mit einer Verdunstungsrate von ca. 26-35 % gerechnet werden (TIMM, KLUGE & WESSOLEK, 2018; GÖBEL et al., 2013). Bewachsene Rasengittersteine können um 10 K kühler als vollständig versiegelte Flächen sein (37 °C vs. 47 °C, (SCHAFFITEL, SCHUETZ & WEILER, 2020)).



Rasengittersteine lassen Wasser versickern und ermöglichen eine niedrige Vegetation - sie haben viele Vorteile gegenüber versiegelten Flächen.

#### ► Synergieeffekte

Nicht verdunstetes Wasser trägt zur Grundwasserneubildung bei. Für den Abfluss des Wassers wird kein Gefälle benötigt. Kosten für die Kanalisation entfallen.

#### ► Hemmnisse

Der Aufwand, versiegelte Flächen umzugestalten, ist nicht unerheblich. Der Pflegeaufwand wird als marginal eingestuft.

#### ► Akteure

Grundeigentümer.

#### ► Verortung – Wo ist die Maßnahme vorgesehen?

Versiegelte Parkplätze.

## 2.4 Maßnahmen im Bereich Wasserwirtschaft





## 2.4.1 W-I-1: Grabenverbau im Wald

### ► Ziel der Maßnahme

Viele Wälder wurden mithilfe von Grabensystemen entwässert. Entwässerungsgräben im Wald sollten abschnittsweise verschlossen werden, um den schnellen Abfluss zu unterbinden, das Wasser in der Fläche zurückzuhalten und so ein weitgehend naturnahes Wasserregime wieder herzustellen.

### ► Beschreibung

Zur Wiederherstellung naturnaher Wasserstände innerhalb von Waldflächen wird ein kaskadenartiger Anstau der vorhandenen Entwässerungsgräben durchgeführt. Dafür werden mittels Minibagger Grabenstau durch abschnittsweise Verfüllung und Verplombung angelegt, deren Anzahl vom Gefälle abhängt. Somit wird das Wasser möglichst gleichmäßig innerhalb der Waldfläche angestaut (BIEKER et al., 2018). Als Verschlussmaterial kommt gebietseigenes Material oder sandiger Lehm infrage. Zur Stabilisierung können Holzbalken oder Schalbretter verwendet werden. Bei einer Geländeneigung über 2 % ist eine komplette Verfüllung des Grabens notwendig.



Durch das Verschließen von Gräben im Wald steht das Wasser den Bäumen länger zur Verfügung.

### ► Wirksamkeit

Durch den Rückhalt kann der Grundwasserflurabstand verringert werden, sodass der angrenzenden Vegetation mehr Wasser für die Verdunstung und damit die Kühlung zur Verfügung steht.

### ► Synergieeffekte

Das Waldwachstum kann durch verringerten Trockenstress in den Sommermonaten von der Maßnahme profitieren (BIEKER et al., 2018) und Oberflächenabflusses verlangsamen, womit auch ein Beitrag zum Hochwasserschutz erfolgt. Unterhalb liegende Fischteiche profitieren von einem erhöhten Grundwasserstand. Durch die Maßnahme wird das Landschaftsbild aufgewertet.

Feuchtwälder, d. h. stark vom Wasser beeinflusste Waldbiotope wie Bruch- und Moorwälder, sind in ihrem Bestand gefährdet und in ihrer Funktionsfähigkeit häufig erheblich beeinträchtigt (RIECKEN et al., 2006). Sie weisen eine hohe Artenvielfalt auf (z. B. Ringelnatter, Waldschnecke, Kranich und Schwarzstorch).

### ► Hemmnisse

Konflikte treten mit der Forstwirtschaft auf, wenn die vorhandenen Baumarten nicht an flurnahe Grundwasserstände bzw. periodische Überflutungen angepasst sind. Um die Wiedervernässung echter Feuchtwälder durchführen zu können, ist ggf. der Flächenerwerb notwendig.

### ► Akteure

Waldbesitzer, Naturschutzverbände, Gewässerunterhaltungsverbände.

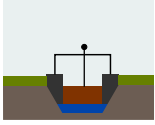
### ► Verortung – Wo ist die Maßnahme vorgesehen?

In Wäldern mit Entwässerungsgräben und hohen Grundwasserständen.



## 2.4.2 W-I-2: Rekonstruktion von Kulturstauen

### ► Ziel der Maßnahme



Durch die Rekonstruktion und den Neubau von Kulturstauen in Binnengräben und landwirtschaftlichen Vorflutern wird Niederschlagswasser sowie Abflusswasser aus Unterflurdrainagen zurückgehalten. Damit einher geht eine höhere Verdunstung der Kulturpflanzen und damit eine bessere Kühlung der Landschaft.

### ► Beschreibung

Abnehmende Niederschläge und Häufigkeiten führen bereits im Frühjahr/Vorsommer zu einer raschen Austrocknung der oberen Bodenschichten. Häufige Trockenperioden bei gleichzeitig steigenden Temperaturen vergrößern das Wasserdefizit für landwirtschaftliche Kulturen und verringern deren Transpirationsrate. Durch den Wasserrückhalt in Gräben und Vorflutern wird der Grundwasserstand erhöht und die verfügbare Wassermenge erhöht. Dazu sind die vorhandenen Kulturstau zu reaktivieren oder neue Stau zu errichten. Die Steuerung sollte unter Berücksichtigung der Nutzungsinteressen auf den größtmöglichen Wasserrückhalt ausgerichtet sein.



Viele Kulturstau müssen rekonstruiert und fachgerecht gesteuert werden, um ihre positive Wirkung zu entfalten.

### ► Wirksamkeit

Die Wirksamkeit ergibt sich durch eine Verringerung des Grundwasserflurabstandes, womit die Pflanzenwasserversorgung in Trockenperioden verbessert werden kann.

### ► Synergieeffekte

Durch die Verringerung bzw. Verzögerung von Trockenstress werden landwirtschaftliche Erträge gesichert. Bei ausreichender Wasserqualität bieten die Gräben Lebensraum für Tiere und Pflanzen, insbesondere wenn sie von Bäumen oder Büschen gesäumt werden.

### ► Hemmnisse

Die Steuerung der Stau erfordert die Abstimmung unter den betroffenen Anliegern. Die eigenmächtige Betätigung der Stau durch Landbewirtschafter kann dem Ziel eines größtmöglichen Wasserrückhaltes zuwider laufen.

### ► Akteure

Landwirtschaftsbetriebe, Gewässerunterhaltungsverbände.

### ► Verortung – Wo ist die Maßnahme vorgesehen?

Die Maßnahme ist ausschließlich in sehr reliefarmen Niederungsgebieten wirksam, welche durch Meliorationen entwässert wurden und über ein weitreichendes Netzwerk von Binnengräben verfügen.

### 2.4.3 W-I-3: Stützswellen

#### ► Ziel der Maßnahme

Mithilfe von Stützswellen wird der Abfluss in künstlichen Fließgewässern gebremst, womit ein Absinken der Grundwasserstände auf benachbarten Flächen verlangsamt wird. Davon profitiert die angrenzende Vegetation, der in trockenen Perioden länger Wasser zur Verfügung steht, sodass auch ihre kühlende Funktion über einen längeren Zeitraum aufrechterhalten werden kann.

#### ► Beschreibung

Bedingt durch den Klimawandel führen viele der künstlichen, tief eingeschnittenen Binnengräben das Niederschlagswasser der Wintermonate zu schnell ab. Daher tragen Binnengräben heute maßgeblich zur Austrocknung der Flächen und damit zum Trockenstress der Kulturen bei.

Indem quer zum Graben eine Schwelle eingebaut wird, verringert sich die effektive Tiefe des Grabens (PATT & GONSOWSKI, 2011; LANDGRAF et al., 2004; LANGE et al., 1993),.

Mit den Stützswellen wird die entwässernde Wirkung des Grabens somit ganzjährig reduziert. Der Graben behält jedoch seine Funktion, Überschusswasser aus der Fläche abzuführen. Die Anzahl der Stützswellen richtet sich nach dem vorhandenen Relief (jeweils nach 20 cm Gefälle). Hinter den Schwellen sammelt sich Sediment an, das im Sinne einer gewollten Aufhöhung der Sohle vor Ort belassen werden kann. Der Einbau von Stützswellen stellt keinen Gewässerausbau dar und bedarf nach §87 BbgWG als Teil der Gewässerunterhaltung auch keiner Genehmigung (MINISTERIUM FÜR LÄNDLICHE ENTWICKLUNG, UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT DES LANDES BRANDENBURG, 2019).



Bei niedrigerem Wasserstand sichtbare Sohlschwelle in einem Abzugsgraben.

#### ► Wirksamkeit

Die Maßnahme entfaltet ihre Wirkung vor allem in den reliefarmen Niederungsgebieten, wo mit wenigen Schwellen bereits ein flächiger Rückstau bzw. eine Anhebung des Grundwasserspiegels erreicht werden kann.

#### ► Synergieeffekte

Die Maßnahme trägt zur landwirtschaftlichen Ertragssicherung bei. Im Einzugsgebiet der Binnengräben gelegene Feuchtbiotope sind durch den geringeren Grabenwasserabfluss und die sich einstellenden höheren Grundwasserstände länger vor Austrocknung in Dürreperioden geschützt.

#### ► Hemmnisse

Bei unsachgemäßer Umsetzung können Vernässungen angrenzender Flächen auftreten, weshalb eine Detailplanung vor Ort unter Beteiligung aller betroffenen Flächennutzer unbedingt erforderlich ist. Stützswellen können nur in Binnengräben eingebracht werden, in die keine Unterflurdrainagen einmünden.

#### ► Akteure

Gewässerunterhaltungsverbände, Landwirtschaftsbetriebe.

► **Verortung – Wo ist die Maßnahme vorgesehen?**

In Binnengraben.



## 2.5 Maßnahmen im Bereich Naturschutz



## 2.5.1 N-I-1: Wiedervernässung von Feuchtwiesen

### ► Ziel der Maßnahme

Feuchtwiesen sind feuchte bis nasse, weitgehend gehölzfreie Biotope. Durch die permanente Vegetation bei guter Wasserversorgung weisen sie hohe Verdunstungsraten auf und tragen so zur Kühlung der Oberfläche bei.

### ► Beschreibung

In der Vergangenheit wurden viele Feuchtwiesen entwässert. Zur Wiederherstellung naturnaher Wasserstände innerhalb von entwässertem Grünland wird ein Verschluss bzw. Anstau der Entwässerungsgräben durchgeführt. Hierzu ist eine ortsspezifische Detailplanung notwendig. Bei kleineren Gräben wird eine komplette oder abschnittsweise Verfüllung (Stau alle 20-50 m) durchgeführt. Alternativ können an größeren Gräben auch steuerbare Grabenstau errichtet oder die Sohle erhöht werden. In der Folge können standortgerechte Pflanzen (Seggen, Binsen u. a.) die Fläche wiederbesiedeln. Um die Fläche von Gehölzen freizuhalten, eignen sich extensive Mahd, Beweidung oder Entbuschung.



Feuchtwiesen wirken sich positiv auf das Kleinklima aus.

### ► Wirksamkeit

Der Kühlungseffekt der Feuchtgebiete kann bis 400 m ins Umland reichen (SIMSEK & ÖDÜL, 2018). Intakte Feuchtgebiete können 34 % mehr Wasser verdunsten als stark entwässerte Flächen (WU, SHUKLA & SHRESTHA, 2016).

### ► Synergieeffekte

Feuchtwiesen dienen als Rückhaltezone für Hochwasserereignisse (verzögerte Abgabe von Wasser an Bäche und Flüsse). Durch den Rückhalt wird auch die Grundwasserneubildung gefördert. Es finden deutlich geringere Nährstoffausträge als bei anderen Kulturformen statt (Trinkwasserschutz). Sie sind Teil der traditionellen Kulturlandschaft und ein schützenswertes Habitat.

### ► Hemmnisse

Die Bewirtschaftung ist aufgrund des verringerten Grundwasserflurabstandes aufwendiger. Die Erträge sind geringer und die Qualität schlechter. Eventuell ist eine Änderung der Bewirtschaftungsweise erforderlich.

### ► Akteure

Landwirte, Grundeigentümer, Landschaftspflegeverbände.

### ► Verortung – Wo ist die Maßnahme vorgesehen?

Die Maßnahme kann auf entwässerten Grünlandflächen mit verschließbaren bzw. anstaubaren Gräben durchgeführt werden.



## 2.5.2 N-I-2: Wiedervernässung von Moorflächen

### ► Ziel der Maßnahme

Wachsende, torfakkumulierende Moore besitzen in Deutschland nur noch 1 % ihrer ehemaligen Fläche (COUWENBERG & JOOSTEN, 2001) und stellen hauptsächlich kleinflächige Moore oder Teilbereiche ehemals großflächiger Moore dar. Degradierete Niedermoorflächen können durch eine Erhöhung des Grundwasserstandes wiedervernässt werden. Damit wird der Wasserrückhalt gesteigert und die Fläche eines verdunstungsstarken Ökosystems vergrößert.

### ► Beschreibung

Eine Moorrestaurierung (Moorrevitalisierung) verlangt eine Vielzahl an Maßnahmen zur Wiederherstellung wachsender, vitaler Moore (SUC-COW, 2001). Die beschriebene Maßnahme fokussiert auf der Wiederherstellung des natürlichen Wasserhaushaltes. Jedes Moor verlangt eine differenzierte Maßnahmenplanung. Wesentlich ist der Wasserrückhalt über das Schließen von Entwässerungsgräben. Dazu kann gebietseigenes oder gebietsfremdes Material (sandiger Lehm) verwendet werden. Eine Alternative dazu ist Sägemehl (GROSVERNIER & STAUBLI, 2009). Je nach Geländeneigung werden Holzpfähle in Abständen von 2 bis 15 Metern in den Gräben eingesetzt und die Grabenabschnitte verfüllt (GROSVERNIER & STAUBLI, 2009). Alternativ können auch (steuerbare) Stauanlagen errichtet werden (EDOM et al., 2007; BROOKS & STONEMAN, 1997; DIETRICH et al., 2001; SCHUCH, 1994).



Für den Erhalt der Niedermoores müssen die vorhandenen Drainagegräben wieder verschlossen werden.

### ► Wirksamkeit

Es wurde nachgewiesen, dass renaturierte Moorflächen als kühle, feuchte Inseln innerhalb der Landschaft dienen und diese somit vor Überwärmung schützen können (WORRALL et al., 2019).

### ► Synergieeffekte

Moore erfüllen eine wichtige Wasserrückhaltefunktion bei Hochwasserereignissen. Sie sind Lebensraum für seltene und geschützte Tier- und Pflanzenarten. Zudem wird die klimaschädliche Wirkung entwässerter Moore (Freisetzung von CO<sub>2</sub>) unterbunden und im Idealfall erneut Kohlenstoff akkumuliert. Intakte Moore entziehen der Atmosphäre weltweit jedes Jahr 150 – 250 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub> (Kohlenstoffsenke und Kohlenstoffspeicher).

### ► Hemmnisse

Durch die Wiedervernässung können auch angrenzende Flächen betroffen sein.

### ► Akteure

Naturschutzorganisationen, Land- und Forstwirte, Grundeigentümer, Landschaftspflegeverbände.

### ► Verortung – Wo ist die Maßnahme vorgesehen?

Auf Moorstandorten, die durch Gräben entwässert werden.



### 2.5.3 N-II-1: Schaffung von Kleingewässern

#### ► Ziel der Maßnahme

Über die neu geschaffene Wasserfläche und die Ufervegetation wird die Verdunstung gesteigert und damit die Kühlung der Landoberfläche verbessert.

#### ► Beschreibung

Seit Ende des 19. Jahrhunderts sind Kleingewässer stark zurückgegangen (DREWS & ZIEMEK, 1995). Mit ihrer Neuanlage wird Wasser zurückgehalten. Der Standort ist gut zu wählen, so dass möglichst Wasser oberflächlich zufließen kann. Mit einem Bagger wird eine bis zu 2 m tiefe (Mitte) und 200 m<sup>2</sup> große Abgrabung geschaffen. Eine Abdichtung erfolgt durch den Einbau einer 50 cm mächtigen Lehm- und 10 cm dicken Waschschlammschicht. Bei lehmigen bzw. tonigen Böden ist dies nicht erforderlich. Eine ufer-typische Sukzession stellt sich schnell von alleine ein (STOLZ & RIEDEL, 2014). Je nach Wasserzufuhr kann das Kleingewässer im Sommer austrocknen. Der Aushub kann zur Biotopgestaltung genutzt werden (Zauneidechse, Wildbienen).



Ein neu angelegtes Kleingewässer mit flachen Ufern für Amphibien.

#### ► Wirksamkeit

Erhöhung der Verdunstungsleistung durch die neu geschaffene Wasserfläche und Ufervegetation.

#### ► Synergieeffekte

Es werden Lebensräume für bedrohte Arten geschaffen. Sie dienen als Trittsteine bei der Amphibienwanderung und sind Lebensraum für rund 1000 Tier- und 200 Pflanzenarten (DREWS & ZIEMEK, 1995). Sie sichern die Wasserversorgung für in der Umgebung lebende Tiere und erhöhen den ästhetischen Reiz der Landschaft.

#### ► Hemmnisse

Es ergeben sich Nutzungskonflikte durch die beanspruchte Fläche. Im Siedlungsbereich werden störende Gerüche und Stechmückenpopulationen angeführt (STOLZ & RIEDEL, 2014). Kleingewässer benötigen durch die langsame Verlandung eine regelmäßige Pflege (etwa alle 5 Jahre).

#### ► Akteure

Naturschutzverbände, Landwirte, Forstwirte, Grundeigentümer, Landschaftspflegeverbände.

#### ► Verortung – Wo ist die Maßnahme vorgesehen?

Kleingewässer können auf einer Vielzahl weniger intensiv genutzter Flächen angelegt werden. Ideal sind vorhandene Senken und Mulden. Der Zufluss von stark mit Nährstoffen befrachteten Wassers sollte vermieden werden.

### 3 Literatur

- ALEXANDRI, E. & JONES, P. (2006): Ponds, Green Roofs, Pergolas and High Albedo Materials; Which Cooling Technique for Urban Spaces? In: *PLEA2006 - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture*. Geneva, Switzerland.
- BARTHOLY, J. (2012): Regional climate change impacts on wild animals' living territory in central Europe. In: *Applied Ecology and Environmental Research* **10**: 107–120. ISSN: 1589-1623. DOI: [10.15666/aeer/1002\\_107120](https://doi.org/10.15666/aeer/1002_107120).
- BARTSCH, N., LÜPKE, B. VON & RÖHRIG, E. (2020): *Waldbau auf ökologischer Grundlage*. 8., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer. ISBN: 978-3-8252-8754-2. DOI: [10.36198/9783825287542](https://doi.org/10.36198/9783825287542).
- BENKENSTEIN, H., KÖHN, W., PAGEL, H. & KRÜGER, W. (2008): Einfluss organischer und mineralischer Düngung auf Erträge und Bodenkennwerte im internationalen organischen Stickstoffdauerdüngungsversuch (IOSDV) in Berlin-Dahlem nach 12 Versuchsjahren. In: *Arch. Agron. Soil Sci.* DOI: <https://doi.org/10.1080/03650349909366101>.
- BESIR, A. & CUCE, E. (2018): Green roofs and facades: A comprehensive review. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **82**: 915–939.
- BIEKER, D., ELMER, M., WITTJEN, K. & LINNEMANN, B. (2018): Mehr Wasser für feuchte Wälder und Moore. In: *AFZ-Der Wald* **2**: 13–15.
- BIXLER, T., HOULE, J., BALLESTERO, T. & MO, W. (2020): A spatial life cycle cost assessment of stormwater management systems. In: *Science of the Total Environment* **728**: 138787. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138787>.
- BLEVINS, R. L., SMITH, M. S., THOMAS, G. W. & FRYE, W. W. (1983): Influence of conservation tillage on soil properties. In: *Journal of Soil and Water Conservation* **38**:3, 301–305. URL: <https://www.jswnonline.org/content/38/3/301.short>.
- BLUME, H.-P., BRÜMMER, G. W., HORN, R., KANDELER, E., KÖGEL-KNABNER, I., KRETZSCHMAR, R., STAHR, K. & WILKE, B.-M. (2010): Böden als Pflanzenstandorte. In: *Scheffer/Schachtschabel: Lehrbuch der Bodenkunde*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 379–448. ISBN: 978-3-662-49960-3. DOI: [10.1007/978-3-662-49960-3\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-662-49960-3_9). URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-662-49960-3\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-662-49960-3_9).
- BONNEAU, J., FLETCHER, T., COSTELLOE, J. & BURNS, M. (2017): Stormwater infiltration and the 'urban karst' - A Review. In: *Journal of Hydrology* **552**: 141–150.
- BORTOLINI, L. & ZANIN, G. (2018): Reprint of: Hydrological behaviour of rain gardens and plant suitability: A study in the Veneto plain (north-eastern Italy) conditions. In: *Urban Forestry and Urban Greening* **37**: 74–86.
- BRANDLE, J. R., JOHNSON, B. B. & DEARMONT, D. D. (1984): Windbreak economics: The case of winter wheat production in eastern Nebraska. In: *Journal of Soil and Water Conservation* **39**:5, 339–343. URL: <https://www.jswnonline.org/content/39/5/339>.
- BREVIK, E. (2013): The Potential Impact of Climate Change on Soil Properties and Processes and Corresponding Influence on Food Security. In: *Agriculture* **3**: 398–417. ISSN: 2077-0472. DOI: [10.3390/agriculture3030398](https://doi.org/10.3390/agriculture3030398).
- BROOKS, S. & STONEMAN, R. (1997): *Conserving bogs: the management handbook*. Hrsg. von S. BROOKS & R. STONEMAN. Stationary Office Books. ISBN: 011495836X.
- BRUNOTTE, J. et al. (2016): *Gute fachliche Praxis - Bodenfruchtbarkeit*. Bonn: aid Infodienst Ernährung, Landwirtschaft, Verbraucherschutz e.V. ISBN: 978-3-8308-1222-7.
- BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (2020): *Wälder im Klimawandel: Steigerung von Anpassungsfähigkeit und Resilienz durch mehr Vielfalt und Heterogenität*. Positionspapier.
- CHERVET, A., RAMSEIER, L., STURNY, W. G., WEISSKOPF, P., ZIHLMANN, U., MÜLLER, M. & SCHAFFLÜTZEL, R. (2006): Bodenwasser bei Direktsaat und Pflug. In: *Agrarforschung* **13**:4, 162–169.
- CLASSEN, A. T., SUNDQVIST, M. K., HENNING, J. A., NEWMAN, G. S., MOORE, J. A. M., CREGGER, M. A., MOORHEAD, L. C. & PATTERSON, C. M. (2015): Direct and indirect effects of climate change on soil microbial and soil microbial-plant interactions: What lies ahead? In: *Ecosphere* **6**: art130. ISSN: 2150-8925. DOI: [10.1890/es15-00217.1](https://doi.org/10.1890/es15-00217.1).

- CLEUGH, H. (1998): Effects of windbreaks on airflow, microclimates and crop yields. In: *Agroforestry Systems* **41**: 55–84. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1006019805109>. URL: [https://www.statelibrary.gov.au/\\_\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0003/255324/Effects\\_of\\_windbreaks\\_on\\_airflow,\\_microclimates\\_and\\_crop\\_yields.pdf](https://www.statelibrary.gov.au/___data/assets/pdf_file/0003/255324/Effects_of_windbreaks_on_airflow,_microclimates_and_crop_yields.pdf).
- COPEC, K., FILIPOVIC, D., HUSNJAK, S., KOVACEV, I. & KOSUTIC, S. (2015): Effects of tillage systems on soil water content and yield in maize and winter wheat production. In: *Plant Soil Environ.* **61**:5, 213–219.
- COUWENBERG, J. & JOOSTEN, H. (2001): Landschaftsökologische Moorkunde. In: Hrsg. von M. SUC-COW & H. JOOSTEN. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. Kap. Bilanzen zum Moorverlust. Das Beispiel Deutschland. 409–411. URL: [https://www.schweizerbart.de/publications/detail/isbn/9783510651986/Landschaftsökologische\\_Moorkunde\\_Hrsg](https://www.schweizerbart.de/publications/detail/isbn/9783510651986/Landschaftsökologische_Moorkunde_Hrsg).
- DAGENAIS, D., BRISSON, J. & FLETCHER, T. (2018): The role of plants in bioretention systems; does the sciences underpin current guidance? In: *Ecological Engineering* **120**: 532–545.
- DENMAN, E., MAY, P. & MOORE, G. (2016): The potential role of urban forests in removing nutrients from stormwater. In: *Journal of Environmental Quality* **45**: 207–214.
- DIESTEL, H. (2018): Hydrologische und biologische Vielfalt in der Agrarlandschaft – vernachlässigte Aspekte und Lösungsansätze. In: *Bewässerung in der Landwirtschaft - Tagungsband zur Fachtagung am 11./12.09.2017 in Suderburg*. Hrsg. von S. SCHIMMELPFENNIG. Thünen Working Paper 85. Johann Heinrich von Thünen Institute, Federal Research Institute for Rural Areas, Forestry and Fisheries, 23–34.
- DIETRICH, O., BLANKENBURG, J., DANNOWSKI, R. & HENNINGS, H. (2001): Ökosystemmanagement für Niedermoore. Strategien und Verfahren zur Renaturierung. In: Hrsg. von R. KRATZ & J. PFADENHAUER. Ulmer Verlag. Kap. Vernässungsstrategien für verschiedene Standortverhältnisse, 53–73. ISBN: 3-8001-3169-2.
- DREWS, R. & ZIEMEK, H. (1995): Kleingewässerkunde. Eine praktische Einführung. Quelle & Meyer.
- DREYMANN, S., LOGES, R. & TAUBE, F. (2003): Einfluss der Klee-grasnutzung auf die N-Versorgung und Ertragsleistung marktfähiger Folgefrüchte unter Berücksichtigung einer variierten organischen Düngung. In: *Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau "Ökologischer Landbau der Zukunft"*. Universität für Bodenkultur Wien, Institut für ökologischen Landbau, 89–92. URL: <https://orgprints.org/1767/>.
- EBRAHIMIAN, A., WADZUK, B. & TRAVER, R. (2019): Evapotranspiration in green stormwater infrastructure systems. In: *Science of the Total Environment* **688**: 797–810.
- EDOM, F., DITTRICH, I., GOLDACKER, S. & KEßLER, K. (2007): Praktischer Moorschutz im Naturpark Erzgebirge/Vogtland und Beispielen aus anderen Gebirgsregionen: Methoden, Probleme, Ausblick. In: Hrsg. von SÄCHSISCHE LANDESSTIFTUNG NATUR UND UMWELT. Dresden. Kap. Die hydromorphologisch begründete Planung der Moorrevitalisierung im Erzgebirge, 19–32.
- ELLISON, D. et al. (2017): Trees, forests and water: Cool insights for a hot world. In: *Global Environmental Change* **43**: 51–61. ISSN: 0959-3780. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.01.002>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378017300134>.
- FAN, C., MYINT, S. & ZHENG, B. (2015): Measuring the spatial arrangement of urban vegetation and its impacts on seasonal surface temperature. In: *Process in Physical Geography* **39**: 199–219.
- FRTZ, P., Hrsg. (2006): Ökologischer Waldumbau in Deutschland. Oekom Verlag.
- FUCHS, J. G., BIERI, M. & CHARDONNENS, M. (2004): Auswirkungen von Komposten und von Gärgut auf die Umwelt, die Bodenfruchtbarkeit sowie die Pflanzengesundheit. Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL).
- GAVRIĆ, S., LEONHARDT, G., MARSALIK, J. & VIKLANDER, M. (2019): Processes improving urban stormwater quality in grass swales and filter strips: A review of research findings. In: *Science of the Total Environment* **669**: 431–447.
- GELYBÓ, G., TÓTH, E., FARKAS, C., HOREL, Á., KÁSA, I. & BAKACSI, Z. (2018): Potential impacts of climate change on soil properties. In: *Agrochemistry and Soil Science* **67**: 121–141. ISSN: 0002-1873. DOI: [10.1556/0088.2018.67.1.9](https://doi.org/10.1556/0088.2018.67.1.9).
- GILLNER, S., VOGT, J., THARANG, A., DETTMANN, S. & ROLOFF, A. (2015): Role of street trees in mitigating effects of heat and drought at highly sealed urban sites. In: *Landscape and Urban Planning* **143**: 33–42.



- GÖBEL, P., STARKE, P., VOSS, A. & COLDEWEY, W. (2013): Field measurements of evapotranspiration rates on seven pervious concrete pavement systems. In: *NOVATECH*. Bd. 8th International Conference on planning and technologies for sustainable management of Water in the City. Lyon: Brelot, E.
- GREENE, C. & KEDRON, P. (2018): Beyond fractional coverage: A multilevel approach to analyzing the impact of urban tree canopy structure on surface urban heat islands. In: *Applied Geography* **95**: 45–53.
- GREY, V., LIVESLEY, S., FLETCHER, T. & SZOTA, C. (2018): Establishing street trees in stormwater control measures can double tree growth when extended waterlogging is avoided. In: *Landscape and Urban Planning* **178**: 122–129.
- GROSVERNIER, P. & STAUBLI, P. (2009): Regeneration von Hochmooren.
- GRÜNEWALD, H., BÖHM, C., BÄRWOLFF, M., WÖLLECKE, J., QUINKENSTEIN, A. & HOFFMANN, J. (2009): Ökologische Aspekte von Agroforstsysteme. In: 2. *Symposium Energiepflanzen 2009*. Bd. Band 34. Gölzower Fachgespräche. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR). URL: <https://mediathek.fnr.de/band-34-2-symposium-energiepflanzen-2009.html>.
- GUTSCH, M., LASCH, P., SUCKOW, F. & REYER, C. (2011): Waldumbau in Brandenburg: Grundwasserneubildung unter Klimawandel. Poster.
- HANEWINKEL, M., ALBRECHT, A. & SCHMIDT, M. (2015): Können Windwurf Schäden vermindert werden? Eine Analyse von Einflussgrößen. In: *Schweiz Z Forstwes* **166**: 118–128. ISSN: 0036-7818. DOI: [10.3188/szf.2015.0118](https://doi.org/10.3188/szf.2015.0118).
- HILDMANN, C. (2009): Kleinräumiger Wasserkreislauf und Klimawandel: Richtungssichere Maßnahmen für Stadt und Land. In: *Anderes Klima. Andere Räume!* Hrsg. von F. MÖRSDORF, J. RINGEL & C. STRAUß. Leipzig, 295–304.
- HILDMANN, C. et al. (Juli 2022): Measures for adaptation to climate change through water retention and cooling by transpiration: A catalogue of measures for a drought-prone area in eastern Germany. Version 1. In: DOI: [10.5281/zenodo.6811079](https://doi.org/10.5281/zenodo.6811079). URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.6811079>.
- JANSSON, J. K. & HOFMOCKEL, K. S. (2020): Soil microbiomes and climate change. In: *Nature Reviews Microbiology* **18**: 35–46. ISSN: 1740-1526. DOI: [10.1038/s41579-019-0265-7](https://doi.org/10.1038/s41579-019-0265-7).
- KAESER, A., PALMER, J. & SEREKE, F. (2010): Umweltleistung von Agroforstwirtschaft. ART-Bericht.
- KEESSTRA, S., NUNES, J., NOVARA, A., FINGER, D., AVELAR, D., KALANTARI, Z. & CERDÀ, A. (2018): The superior effect of nature based solutions in land management for enhancing ecosystem services. In: *Science of the Total Environment* **610-611**: 997–1009. ISSN: 0048-9697. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2017.08.077](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.077).
- KOLBE, H. (2012): Zusammenführende Untersuchungen zur Genauigkeit und Anwendung von Methoden der Humusbilanzierung im konventionellen und ökologischen Landbau. Techn. Ber. 19. Schriftenreihe des LfULG. Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Sachsen.
- KÖRSCHENS, M. (1997): Abhängigkeit der organischen Bodensubstanz (OBS) von Standort und Bewirtschaftung sowie ihr Einfluss auf Ertrag und Bodeneigenschaften. In: *Archives of Agronomy and Soil Science*. DOI: <https://doi.org/10.1080/03650349709366015>.
- KRAVČÍK, M., POKORNÝ, J., KOHUTIAR, J., KOVÁČ, M. & TÓTH, E. (2007): Water for the Recovery of the Climate – A New Water Paradigm.
- LANDGRAF, L., ROWINSKY, V., KOCH-LEHKER, A., MEISEL, S., HOTH, D., SCHÖNEMANN, C., MARSCHALL, K. & GOTTWALD, P. (2004): Leitfaden zur Renaturierung von Feuchtgebieten in Brandenburg. Bd. 50. Studien und Tagungsberichte. Potsdam: Landesumweltamt Brandenburg. ISBN: ISSN 0948-0838.
- LANGE, G., LECHER, K., GRUBINGER, H., SCHLÜPETER, U. & SCHWORBEL, J. (1993): Gewässerregulierung, Gewässerpflege: Naturnaher Ausbau und Unterhaltung von Fließgewässern. 3., neubearb. und erw. Aufl. Hamburg, Berlin: Parey. ISBN: 978-3-322-91580-1. DOI: [10.1007/978-3-322-91580-1](https://doi.org/10.1007/978-3-322-91580-1).
- LEI, Z., ZHICHAO, D., LISHA, L., YU, Z., QINGLIN, M., JUNSONG, W. & SANTAMOURIS, M. (2019): Thermal behavior of a vertical green facade and its impact on the indoor and outdoor thermal environment. In: *Energy and Buildings* **204**: 109502.
- LUTHARDT, M. (2006): Bestandeszieltypen für die Wälder des Landes Brandenburg. Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg Abteilung Forst und Naturschutz. Potsdam. URL: [https://mlul.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.4595.de/bzt\\_brdb.pdf](https://mlul.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.4595.de/bzt_brdb.pdf).

- MAKARIEVA, A. M., NEFIODOV, A. V., NOBRE, A. D., BARDI, U., SHEIL, D., BAUDENA, M., SALESKA, S. R. & RAMMIG, A. (2022): How transpiration by forests and other vegetation determines alternate moisture regimes. In: *arXiv*. DOI: [10.48550/ARXIV.2204.07409](https://doi.org/10.48550/ARXIV.2204.07409). URL: <https://arxiv.org/abs/2204.07409>.
- MAKARIEVA, A. M., NEFIODOV, A. V., NOBRE, A. D., BARDI, U., SHEIL, D., BAUDENA, M., SALESKA, S. R., MOLINA, R. D. & RAMMIG, A. (2022): The role of ecosystem transpiration in creating alternate moisture regimes by influencing atmospheric moisture convergence. In: *arXiv*. DOI: [10.48550/ARXIV.2205.14646](https://doi.org/10.48550/ARXIV.2205.14646). URL: <https://arxiv.org/abs/2205.14646>.
- MAKARIEVA, A. M., NEFIODOV, A. V., NOBRE, A. D., SHEIL, D., NOBRE, P., POKORNÝ, J., HESSLEROVÁ, P. & LI, B.-L. (2021): Vegetation Impact on Atmospheric Moisture Transport under Increasing Land-Ocean Temperature Contrasts. In: *arXiv*. DOI: [10.48550/ARXIV.2112.12880](https://doi.org/10.48550/ARXIV.2112.12880). URL: <https://arxiv.org/abs/2112.12880>.
- MAZZALI, U., PERON, F., ROMAGNONI, P., PULSELLI, R. & BASTIANONI, S. (2013): Experimental investigation on the energy performance of Living Walls in a temperate climate. In: *Building and Environment*.
- MCCOLLIN, D. (1998): Forest Edges and Habitat Selection of Birds: A Functional Approach. In: *Ecography* **21**:3, 247–260.
- MINISTERIUM FÜR LANDLICHE ENTWICKLUNG, UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT DES LANDES BRANDENBURG (2019): Richtlinie für die Unterhaltung von Fließgewässern im Land Brandenburg. Techn. Ber. Potsdam: Ministerium für Landliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft des Landes Brandenburg.
- MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, UMWELT UND KLIMASCHUTZ (2019): Verwendung gebietseigener Gehölze bei der Pflanzung in der freien Natur. URL: [https://bravors.brandenburg.de/verwaltungsvorschriften/gehoelze\\_2020](https://bravors.brandenburg.de/verwaltungsvorschriften/gehoelze_2020).
- (2020): Richtlinie zum Erhalt und zur Anlage von Waldrändern im Land Brandenburg. Potsdam.
- MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, UMWELTSCHUTZ UND RAUMORDNUNG DES LANDES BRANDENBURG (2004): Waldbau-Richtlinie 2004 „Grüner Ordner“ der Landesforstverwaltung Brandenburg. Potsdam.
- MINISTERIUM FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT, NATUR- UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN (2021): Waldbaukonzept Nordrhein-Westfalen: Empfehlungen für eine nachhaltige Waldbewirtschaftung. Techn. Ber. Düsseldorf: Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen.
- MORAKINYO, T., DAHANAYAKE, K. & NG, E. (2017): Temperature and cooling demand reduction by green-roof types in different climates and urban densities: A co-simulation parametric study. In: *Energy and Buildings* **145**: 226–237.
- MUBAREKA, S., ESTREGUIL, C., BARANZELLI, C., GOMES, C. R., LAVALLE, C. & HOFER, B. (2013): A land-use-based modelling chain to assess the impacts of Natural Water Retention Measures on Europe's Green's Infrastructure. In: *International Journal of Geographical Information Science* **27**:9, 1740–1763. ISSN: 1365-8816. DOI: [10.1080/13658816.2013.782408](https://doi.org/10.1080/13658816.2013.782408).
- MÜLLER, J. (2019): Die forsthydrologische Forschung im Nordostdeutschen Tiefland: Veranlassung, Methoden, Ergebnisse und Perspektiven. Diss. Univ. Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät. URL: [https://www.openagrar.de/receive/openagrar\\_mods\\_00055651](https://www.openagrar.de/receive/openagrar_mods_00055651).
- MYINT, S., ZHENG, B., TALEN, E., FAN, C., KAPLAN, S., MIDDEL, A., SMITH, M., HUANG, H.-P. & BRAZEL, A. (2015): Does the spatial arrangement of urban landscape matter? Examples of urban warming and cooling in Phoenix and Las Vegas. In: *Ecosystems Health and Sustainability* **1**:4.
- NATKHIN, M., STEIDL, J., DIETRICH, O., DANNOWSKI, R. & LISCHIED, G. (2012): Differentiating between climate effects and forest growth dynamics effects on decreasing groundwater recharge in a lowland region in Northeast Germany. In: *Journal of Hydrology* **448-449**: 245–254. ISSN: 0022-1694. DOI: [10.1016/j.jhydrol.2012.05.005](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.05.005).
- PATT, H. & GONSOWSKI, P. (2011): Wasserbau: Grundlagen, Gestaltung von wasserbaulichen Bauwerken und Anlagen. 7., aktualisierte Aufl. Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer. ISBN: 978-3-642-11963-7. DOI: [10.1007/978-3-642-11963-7](https://doi.org/10.1007/978-3-642-11963-7).
- PFEIFER, S., BATHIANY, S. & RECHID, D. (2021): Klima- ausblick Elbe-Elster. Techn. Ber. Climate Service Center Germany (GERICS). URL: <https://www.gerics.de/klimaausblick-landkreise>.

- RAHMAN, M., STRATOPOULOS, L., MOSER-REISCHL, A., ZÖLCH, T., HÄBERLE, K.-H., RÖTZER, T., PRETZSCH, H. & PAULEIT, S. (2020): Traits of trees for cooling urban heat island: A meta-analysis. In: *Building and Environment* **170**: 106606.
- RAHMAN, M., HARTMANN, C., MOSER-REISCHL, A., FREIFRAU VON STRACHWITZ, M., PAETH, H., PRETZSCH, H., PAULEIT, S. & RÖTZER, T. (2020): Tree cooling effects and human thermal comfort under contrasting species and sites. In: *Agricultural and Forest Meteorology* **287**: 107947.
- REIF, J., VOŘÍŠEK, P., ŠTASTNÝ, K., KOSCHOVÁ, M. & BEJČEK, V. (2008): The impact of climate change on long-term population trends of birds in a central European country. In: *Animal Conservation* **11**: 412–421. ISSN: 1367-9430. DOI: [10.1111/j.1469-1795.2008.00200.x](https://doi.org/10.1111/j.1469-1795.2008.00200.x).
- RIECKEN, U., FINCK, P., RATHS, U., SCHRÖDER, E. & SSYMANK, A. (2006): Rote Liste der gefährdeten Biotoptypen Deutschlands. Zweite fortgeschriebene Fassung 2006. Bundesamt für Naturschutz.
- ROLOFF, A. & GRUNDMANN, B. M. (2008): Waldbaumarten und ihre Verwendung im Klimawandel. In: *Archiv für Forstwesen und Landschaftsökologie* **42**:3, 3–15.
- ROLOFF, A. & MEYER, M. (2008): Eignung der heimischen und möglicher nichtheimischer Gehölze in der Landschaft und Konsequenzen für die Verwendung. In: *Grün ist Leben Sonderausgabe*: 4–29. URL: <https://docplayer.org/23258667-Klimawandel-und-gehoeelze.html>.
- RÖBLER, K., KÖNIG, N., SCHATTEN, R., WAGNER, R. & TERYTZE, K. (2015): Anwendung von Biokohle und Biokohlekomposten im Gartenbau – Ergebnisse aus dem Botanischen Garten Berlin-Dahlem. Techn. Ber. TerraBoGa - Workshop 2015, 23.-24. Juni 2015, Botanischer Garten Berlin-Dahlem 23.06.2015. Freie Universität Berlin, FB Geowissenschaften, AG Geoökologie. URL: <https://terraboga.de/wp-content/uploads/R%C3%B6C3%9Fler.pdf>.
- SCHAFFITEL, A., SCHUETZ, T. & WEILER, M. (2020): A distributed soil moisture, temperature and infiltrometer dataset for permeable pavements and green spaces. In: *Earth System Science Data* **12**: 501–517.
- SCHELHAAS, M.-J., NABUURS, G.-J. & SCHUCK, A. (2003): Natural disturbances in the European forests in the 19th and 20th centuries. In: *Global Change Biology* **9**: 1620–1633. DOI: [10.1046/j.1365-2486.2003.00684.x](https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2003.00684.x).
- SCHLEUNING, M. et al. (2016): Ecological networks are more sensitive to plant than to animal extinction under climate change. In: *Nature communications* **7**: ISSN: 2041-1723. DOI: [10.1038/ncomms13965](https://doi.org/10.1038/ncomms13965).
- SCHLINKERT, H., LUDWIG, M., BATÁTY, P., HOLZSCHUH, A., KOVÁCS-HOSTYÁNSZKI, A., TSCHARNTKE, T. & FISCHER, C. (2016): Forest specialist and generalist small mammals in forest edges and hedges. In: *Wildlife Biology* **22**: 86–94.
- SCHUCH, M. (1994): Ziele der Moorrenaturierung – Die wichtigsten Maßnahmen. In: *Telma* **24**: 245–252.
- SHAFIEE, E., FAIZI, M., YAZDANFAR, S.-A. & KHANMOHAMMADI, M.-A. (2020): Assessment of the effect of living wall systems on the improvement of the urban heat island phenomenon. In: *Building and Environment*. in press, 106923.
- SIEKER, F., WILCKE, D., REICH, M., RÜTER, S., JASPER, J., SALZMANN, M., SCHMIDT, W.-A., ZACHARIAS, S. & NITZSCHE, O. (2007): Vorbeugender Hochwasserschutz durch Wasserrückhalt in der Fläche unter besonderer Berücksichtigung naturschutzfachlicher Aspekte am Beispiel des Flusseinzugsgebietes der Mulde in Sachsen, Abschlussbericht. Techn. Ber. Gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt, AZ 21467. Hannover: Leibniz Universität Hannover.
- SIMSEK, C. K. & ÖDÜL, H. (2018): Investigation of the effects of wetlands on micro-climate. In: *Applied Geography* **97**: 48–60. ISSN: 0143-6228.
- SPEAK, A., MONTAGNANI, L., WELLSTEIN, C. & ZERBE, S. (2020): The influence of tree traits on urban ground surface shade cooling. In: *Landscape and Urban Planning* **197**: 103748.
- SPIECKER, H. et al. (2009): Neue Optionen für eine nachhaltige Landnutzung, Schlussbericht des Projektes agroforst, Projektlaufzeit April 2005 bis September 2008. Techn. Ber.
- STAATSBETRIEB SACHSENFORST (2016): Walderneuerung und Erstaufforstung: Hinweise für Waldbesitzer. Techn. Ber. Graupa: Staatsbetrieb Sachsenforst.
- STÄHR, F., KÖHLER, F. & ROSE, B. (2006): Neufassung der Bestandeszieltypen für das Land Brandenburg. In: *AFZ - Der Wald*.
- STECKEL, M. et al. (2020): Species mixing reduces drought susceptibility of Scots pine (*Pinus sylvestris*



- L.) and oak (*Quercus robur* L., *Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) – Site water supply and fertility modify the mixing effect. In: *Forest Ecology and Management* **461**: 117908. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.117908>.
- STOLZ, C. & RIEDEL, W. (2014): Die Anlage künstlicher Kleingewässer – Auswirkungen in Bezug auf Natur-, Landschafts- und Bodenschutz. In: *Naturschutz und Landschaftsplanung* **46**:12.
- SUCCOW, M. (2001): Landschaftsökologische Moorkunde. In: Hrsg. von M. SUCCOW & H. JOOSTEN. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. Kap. Revitalisierung von Moorökosystemen - Beispiele aus Nordostdeutschland, 496–497. URL: [https://www.schweizerbart.de/publications/detail/isbn/9783510651986/Landschaftsoekologische\\_Moorkunde\\_Hrsg](https://www.schweizerbart.de/publications/detail/isbn/9783510651986/Landschaftsoekologische_Moorkunde_Hrsg).
- SUŠNIK, J., MASIA, S., KRAVČÍK, M., POKORNÝ, J. & HESSLEROVÁ, P. (2022): Costs and benefits of landscape-based water retention measures as nature-based solutions to mitigating climate impacts in eastern Germany, Czech Republic, and Slovakia. In: *Land Degradation & Development*. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.4373>. eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/ldr.4373>. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ldr.4373>.
- SZOTA, C., MCCARTHY, M., SANDERS, G., FARRELL, C., FLETCHER, T., ARNDT, S. & LIVESLEY, S. (2018): Tree water-use strategies to improve stormwater retention performance of biofiltration systems. In: *Water Research* **144**: 285–295. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30048867/>.
- TERRAUBE, J., ARCHAUX, F., DECONCHAT, M., HALDER, I. VAN, JACTEL, H. & BARBARO, L. (2016): Forest edges have high conservation value for bird communities in mosaic landscapes. In: *Ecology and Evolution* **6**:15, 5178–5189.
- TIMM, A., KLUGE, B. & WESSOLEK, G. (2018): Hydrological balance of paved surfaces in moist mid-latitude climate - A review. In: *Landscape and Urban Planning* **175**: 80–91. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169204618300896>.
- TIRPAK, R., HATHAWAY, J. & FRANKLIN, J. (2019): Investigation the hydrologic and water quality performance of trees in bioretention mesocosms. In: *Journal of Hydrology* **576**: 65–71. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169419305906>.
- TÓTH, T. (2019): Application of Natural Water Retention Measures in Flood Management. In: *Műszaki Katonai Közlekedés* **29**: 139–152. ISSN: 1219-4166. DOI: [10.32562/mkk.2019.1.11](https://doi.org/10.32562/mkk.2019.1.11).
- WIESMEIER, M., BURMEISTER, J., TREISCH, M. & BRANDHUBER, R. (2017): Klimaschutz durch Humusaufbau – Umsetzungsmöglichkeiten der 4 Promille-Initiative in Bayern. In: *Landwirtschaft im Klimawandel. Lösungen, die Geld sparen*. 15. Kulturlandschaftstag. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft 5. Tagungsband. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL). Freising-Weißenstephan, 21–29.
- WORRALL, F., BOOTHROYD, I. M., GARDNER, R. L., HOWDEN, N. J. K., BURT, T. P., SMITH, R., MITCHELL, L., KOHLER, T. & GREGG, R. (2019): The Impact of Peatland Restoration on Local Climate: Restoration of a Cool Humid Island. In: *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* **124**:6, 1696–1713. DOI: [10.1029/2019jg005156](https://doi.org/10.1029/2019jg005156).
- WU, C.-L., SHUKLA, S. & SHRESTHA, N. K. (2016): Evapotranspiration from drained wetlands with different hydrologic regimes: Drivers, modeling, and storage functions. In: *Journal of Hydrology* **538**: 416–428. ISSN: 0022-1694. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169416302086>.
- YSEBAERT, T., KOCH, K., SAMSON, R. & DENYS, S. (2021): Green walls for mitigation urban particulate matter pollution - A Review. In: *Urban Forest & Urban Greening* **59**: 127014.
- ZARDO, L., GENELETTI, D., PÁEZ-SOBA, M. & VAN EUPEN, M. (2017): Estimating the cooling capacity of green infrastructures to support urban planning. In: *Ecosystem Services* **26 A**: green infrastructure canopy soil size, 225–235.
- ZHAO, Q., SAILOR, D. & WENTZ, E. (2018): Impact of tree locations and arrangements on outdoor microclimates and human thermal comfort in an urban residential environment. In: *Urban Forestry & Urban Greening* **32**: 81–91.
- ZIMMERMANN, B. & HILDMANN, C. (2021): Klimawandel im Landkreis Elbe-Elster ganz konkret: Eine Analyse von Daten aus der Wetterstation Doberlug-Kirchhain. In: *Kreisanzeiger Elbe-Elster* **26**:5, 18–19.

ZIMMERMANN, L., RASPE, S., SCHULZ, C. & GRIMM-EISEN, W. (2008): Wasserverbrauch von Wäldern. In: *LWF aktuell* **66**: 16–20. URL: <https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/boden-klima/dateien/a66-wasserverbrauch-von-waeldern.pdf>.

ZORN, W. & SCHRÖTER, H. (2015): Erträge, Nährstoffeffizienz und Entwicklung der Humusgehalte

im Dauerdüngungsversuch L28 in Bad Salzung (nach 50 Jahren). Techn. Ber. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft Jena, Referat Acker- und Pflanzenbau. URL: [https://www.landwirtschaft.sachsen.de/download/06\\_Endfassung\\_Zorn\\_081215\\_Nossen.pdf](https://www.landwirtschaft.sachsen.de/download/06_Endfassung_Zorn_081215_Nossen.pdf).