



Klimawandel-taugliche Kompensationsmaßnahmen

Überprüfung der Funktionstüchtigkeit von
Kompensationsmaßnahmen unter klimatisch
veränderten Bedingungen am Beispiel der Stadt Kiel

REPORT 32



Titelbild: © Fotolia / Dagmar Breu

Zitierhinweis: Bender, S., Brune, M., Cortekar, J., Groth, M. & Remke, T. (2017): Klimawandeltaugliche Kompensationsmaßnahmen – Überprüfung der Funktionstüchtigkeit von Kompensationsmaßnahmen unter klimatisch veränderten Bedingungen am Beispiel der Stadt Kiel. – Report 32, Climate Service Center Germany, Hamburg

Erscheinungsdatum: Oktober 2017

Dieser Report ist auch online unter www.climate-service-center.de erhältlich

Klimawandeltaugliche Kompensationsmaßnahmen

Überprüfung der Funktionstüchtigkeit von Kompensationsmaßnahmen unter klimatisch veränderten Bedingungen am Beispiel der Stadt Kiel

Autoren: Steffen Bender, Miriam Brune, Jörg Cortekar,
Markus Groth, Thomas Remke

Oktober 2017

Inhaltsverzeichnis

0. Vorwort	5
1. Einleitung	6
2. Grundlagen	9
2.1. Rechtliche Grundlagen zu Kompensationsmaßnahmen	9
2.2. Geoökologische Zielsetzungen.....	11
2.3. Bewertung der Klimaveränderungen (Klimaänderungsszenarien)	12
2.3.1. Methodischer Ansatz	13
2.3.2. Modellierte historische Klimabedingungen	16
2.3.3. Niedriges Emissionsszenario (RCP2.6).....	18
2.3.4. Moderates Emissionsszenario (RCP4.5).....	19
2.3.5. Hohes Emissionsszenario (RCP8.5)	21
2.3.6. Zusammenfassung	23
2.4. Auswahl der Fallstudien.....	25
3. Methodik	26
4. Erstaufforstung in Mielkendorf	28
4.1. Geoökologische Zielsetzung.....	28
4.2. Ausgangssituation und Maßnahmen	28
4.3. Erfassung der Standortfaktoren.....	30
4.4. Überprüfung und Einschätzung der zukünftigen Zielerreichung	34
4.4.1. Mögliche klimatische Auswirkungen auf das lokale Ökosystem	34
4.4.2. Einzelbetrachtung „Erstaufforstung“	36
4.4.3. Einzelbetrachtung „Feuchtbiotop/Kleingewässer“	38
4.4.4. Zusammenfassende Einschätzung.....	39
4.5. Maßnahmenkatalog zur Unterstützung oder Realisierung der Zielsetzungen unter klimatisch veränderten Bedingungen	40
4.5.1. Pflegemaßnahmen für Erstaufforstung/Laubbaumarreal.....	40
4.5.2. Pflegemaßnahmen für Feuchtbiotop/Kleingewässer	42
5. Maßnahmen aus dem südlichen Stadtgebiet Kiels	44
5.1. Geoökologische Zielsetzungen.....	45
5.2. Ausgangssituation und Maßnahmen	46
5.3. Erfassung von Standortfaktoren im Kompensationsgebiet.....	49
5.4. Überprüfung und Einschätzung der zukünftigen Zielerreichung	51
5.4.1. Mögliche klimatische Auswirkungen auf das lokale Ökosystem	51
5.4.2. Einzelbetrachtung Kompensationsmaßnahme „Großer Wiesenberg“	52
5.4.3. Einzelbetrachtung Kompensationsmaßnahme „Meinersdorfer Moor“	55
5.4.4. Einzelbetrachtung Kompensationsmaßnahme „Wellsau“	57
5.4.5. Zusammenfassende Einschätzung.....	58
5.5. Maßnahmenkatalog zur Unterstützung oder Realisierung der Zielsetzungen unter klimatisch veränderten Bedingungen	60
5.5.1. Pflegemaßnahmen für Halboffenes Weideland mit Gehölzstrukturen und Waldausgleichflächen	60

5.5.2. Pflegemaßnahmen für Fließgewässer, Kleingewässer, Niedermoor, Röhricht und Seggenried	61
6. Wiedervernässung der „Seekamper Seewiesen“	63
6.1. Geoökologische Zielsetzung.....	63
6.2. Ausgangssituation und Maßnahme	63
6.3. Überprüfung und Einschätzung der zukünftigen Zielerreichung	65
6.3.1. Mögliche zukünftige Auswirkungen auf das lokale Ökosystem	65
6.3.2. Einzelbetrachtung Kompensationsmaßnahme „Seekamper Seewiesen“	65
6.3.3. Zusammenfassende Einschätzung.....	67
6.4. Maßnahmenkatalog zur Unterstützung oder Realisierung der Zielsetzungen unter klimatisch veränderten Bedingungen	68
7. Zusammenfassendes Fazit	70
8. Literatur	72

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Lage der Kompensationsgebiete.....	8
Abb. 2 Projizierte Veränderungen des jährlichen mittleren Niederschlags (links) und der jährlichen mittleren Temperatur (rechts) für 2071 – 2100 (im Vergleich zu 1971 – 2000) für RCP4.5.....	14
Abb. 3 Gegenüberstellung der EURO-CORDEX-Ensembleergebnisse für den Zeitraum 1976 – 2005 und 2021 – 2050 (RCP2.6, 4.5 und 8.5)	24
Abb. 4 Schematische Darstellung des methodischen Ansatzes.....	26
Abb. 5 Erstaufforstung (links) sowie mit Abgrabung/Senke in Mielkendorf	28
Abb. 6 Darstellung der Kompensationsfläche für die Erstaufforstung in Mielkendorf.....	29
Abb. 7 Standorttypenkarte für den Standort Mielkendorf.....	32
Abb. 8 Erstaufforstung (Jungbäume) in Mielkendorf	41
Abb. 9 Übersichtskarte der Maßnahmen südlich von Kiel	44
Abb. 10 Halboffene Weidelandschaft „Großer Wiesenberg“ (links) und „Großer Wiesenberg“: Feuchtbiotop (rechts).....	45
Abb. 11 Naturnahe Umgestaltung der „Schlüsбек“ (links) und Kompensationsgebiet „Wellsau“ (rechts).....	46
Abb. 12 Halboffene Weidelandschaft: Reaktivierung eines Niedermoorbereiches (links) und „Meimersdorfer Moor“: vorne reliktsches Feuchtgebiet.....	47
Abb. 13 „Kompensationsgebiet Wellsau“: Graben an der Schlüsбек	49
Abb. 14 Halboffene Weidelandschaft: Niedermoorbereich (links) und „Meimersdorfer Moor“ (rechts).....	54
Abb. 15 Naturnahe Umgestaltung der Schlüsбек.....	58
Abb. 16 Halboffene Weidelandschaft mit Kleingewässer	60
Abb. 17 Darstellung des Kompensationsgebietes – Seewiesen (blau schraffierte Fläche rechts)	63
Abb. 18 Seekamper Seewiesen Weiher südlicher (links) und nördlicher Bereich (rechts)...	64
Abb. 19 Südlicher Lauf der Schilkseer Au (links) und Ackerflächen westlich der Schwemmweise (rechts)	68

Tabellenverzeichnis

Tab. 1 Ausgesuchte Variablen und Indizes.....	12
Tab. 2 Überblick der verwendeten globalen und regionalen Klimamodelle sowie deren Realisierungen	15
Tab. 3 Vergleich der Beobachtungsdaten „Station Kiel-Holtenau“ mit den berechneten historischen Daten der REMO Simulation bzw. des EURO-CORDEX-Ensemble.	17
Tab. 4 Übersicht der berechneten Variablen und Indizes für den historischen Zeitraum (1975 – 2005) und das Zukunftsszenario RCP2.6 (2020 – 2050/REMO) bzw. (2021 – 2050/EURO-CORDEX-Ensemble).....	19
Tab. 5 Übersicht der berechneten Variablen und Indizes für den historischen Zeitraum (1975 – 2005) und das Zukunftsszenario RCP4.5 (2020 – 2050/REMO) bzw. (2021 – 2050/EURO-CORDEX-Ensemble).....	20
Tab. 6 Übersicht der berechneten Variablen und Indices für den Zeitraum (1975 – 2005) und (2020 – 2050/REMO) (2021 – 2050/EURO-CORDEX-Ensemble) für RCP8.5.....	22
Tab. 7 Bodentypen und -eigenschaften	31
Tab. 8 Standortfaktoren nach Ellenberg & Leuschner (2010) – Mielkendorf.	33
Tab. 9 Klimaänderungen und ihre Auswirkungen auf die Erstaufforstung.....	36
Tab. 10 Klimaänderungen und ihre Auswirkungen auf Feuchtbiotope und Kleingewässer ...	38
Tab. 11 Negative Auswirkungen auf die Zielerreichung im Ökosystem.....	40
Tab. 12 Standortfaktoren nach Ellenberg et al. (2001) – südliches Stadtgebiet Kiel.....	51
Tab. 13 Klimaänderungen und ihre Auswirkungen auf die Entwicklung von Feuchtbiotopen und Gehölzstrukturen	53
Tab. 14 Klimaänderungen und ihre Auswirkungen auf Kleingewässer, Waldareal, Röhricht und Seggenried.....	55
Tab. 15 Klimaänderungen und ihre Auswirkungen auf Klein- und Fließgewässer.....	57
Tab. 16 Übersicht der negativen Auswirkungen auf Zielerreichungen von Ökosystemen.....	59
Tab. 17 Klimaänderungen und ihre Auswirkungen auf Feuchtgebiete	66
Tab. 18 Übersicht der negativen Auswirkungen auf Zielerreichungen von Ökosystemen.....	67

Box-Verzeichnis

Box 1 Wichtige Begriffe im Überblick	9
Box 2 Die „Repräsentativen Konzentrationspfade“ (RCP).....	13
Box 3 EURO-CORDEX – Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment – European Domain	14
Box 4 Überblick der in der Anwendungsphase verwendeten Zeiträume	16
Box 5 Beispiel für die Ermittlung von Baum- und Pflanzenarten sowie Standortfaktoren:	27

0. Vorwort

Gemäß der naturschutzrechtlichen Gesetzgebung der Bundesrepublik Deutschland sind zur Sicherung der Leistungsfähigkeit des Naturhaushalts und des Landschaftsbildes alle Eingriffe zu unterlassen beziehungsweise auszugleichen, sofern der Eingriff aus wirtschaftlichen, gesellschaftlichen oder anderen Gründen unerlässlich ist. Darunter fallen auch Neubaugebiete. Dementsprechend ist es gesetzlich gefordert, bei der Bauleitplanung die Umweltbeeinflussung zu berücksichtigen. Als wichtiger Bestandteil der Landschaftsplanung wird hierzu unter anderem auch der Einsatz von Kompensationsmaßnahmen verwendet.

Dazu sollen grundsätzlich potenzielle Kompensationsflächen unter Berücksichtigung der Standorteigenschaften und des Kompensationsbeitrags ausgewählt werden. Dabei gilt es zu berücksichtigen, dass das Kompensationsziel – insbesondere bei Maßnahmen mit längerer Entwicklungsdauer oder jungen Maßnahmen – zu Beginn noch nicht erreicht wird. Aus diesem Grund muss viel mehr eine Entwicklungsprognose erstellt werden, um die Wahrscheinlichkeit der Erreichung des Maßnahmenziels zu prognostizieren und um notwendige Maßnahmen für die Entwicklungspflege abzuleiten. Derzeit findet eine Einschätzung der Funktionstüchtigkeit von Kompensationsmaßnahmen ohne die Berücksichtigung des Klimawandels statt. Für viele Maßnahmen stellen das vermehrte Auftreten von Extremereignissen oder Veränderungen im hydrologischen Wasserkreislauf Risiken für ein Verfehlen des Kompensationsziels dar. Daher ist es notwendig auf regionale Klimainformationen zurückzugreifen, um zukünftige klimatische Entwicklungen abschätzen zu können. Zur Entwicklung passender Managementstrategien zeigt sich, dass der Einsatz eines Klimamodellensembles dringend empfohlen wird, um die gesamte Bandbreite möglicher Veränderungen und somit das gesamte Handlungsspektrum abbilden zu können.

Der nachfolgende Report beschreibt am Beispiel von drei Fallstudien die Entwicklung einer Methodik für ein Modul – „Klimawandeltaugliche Kompensationsmaßnahmen“ – des GERICS-Stadtbaukastens.

Dank

Vielen Dank an Bettina Steuri und Peer Seipold für den internen Review und ihre zahlreichen Anmerkungen, die substantiell zur Verbesserung des Inhalts beigetragen haben.

1. Einleitung

Der Klimawandel und die fortschreitende Urbanisierung sind eng miteinander verknüpft. Bereits heute sind Städte für den Großteil des weltweiten Energieverbrauchs und der damit verbundenen CO₂-Emissionen verantwortlich. Somit weisen Städte ein großes Klimaschutzpotential auf. Auf der anderen Seite besitzen Städte durch die hohe Konzentration wirtschaftlicher Wertschöpfung, Menschen und Infrastruktur eine hohe Vulnerabilität in Bezug auf die Folgen des Klimawandels. Somit kommt auch den Anstrengungen zur Anpassung an diese Folgen eine verstärkte Bedeutung zu. Die Umsetzung ist hierbei jedoch nicht trivial, da Städte sehr komplexe Systeme sind, bei deren Management klimatische und nicht-klimatische Treiber sowie deren Wechselwirkungen beachtet werden müssen (Bender et al. 2016).

Nahezu alle kommunalen Handlungsfelder sind durch den Klimawandel betroffen, wenngleich in unterschiedlichem Maße. Klimawandeltaugliche Maßnahmen für die Anpassung an die Folgen des Klimawandels sollten deshalb zwingend zukünftige klimatische Veränderungen bei deren Entwicklung und Umsetzung berücksichtigen. Dies ist insbesondere dann von Bedeutung, wenn Pflanzen eine Komponente der Anpassungsmaßnahme darstellen, da das Pflanzenwachstum und die Artenvielfalt im urbanen Bereich maßgeblich von klimatischen Faktoren, wie beispielsweise Temperatur und Niederschlag, beeinflusst wird.

Klimawandelbedingte Veränderungen der durchschnittlichen Temperatur und deren jahreszeitlichen Verlaufs, beeinflussen die Länge der Vegetationsperiode und können sich auf die (pflanzliche) Artenvielfalt auswirken. Langfristig wird aber nicht nur das Pflanzenwachstum beeinflusst (Wu et al. 2015) sondern ganze Ökosysteme werden vor neue Herausforderungen gestellt. Dabei können Ökosystemdienstleistungen verändert und pflanzliche Populationen und/oder Arten reduziert (Bowler et al. 2015) und Pflanzenschädlinge begünstigt werden. Vegetationsentwicklungen zeigen bereits heute, dass durch Wassermangel, Hitze oder schwere Niederschlagsereignisse geschwächte Bäume leichter von Krankheiten befallen werden (Brune 2016, Hickler et al. 2012). Vor diesem Hintergrund besteht das Risiko, dass ökologische Zielsetzungen von geplanten Kompensationsmaßnahmen in der Zukunft nicht erreicht beziehungsweise eingehalten werden. Deshalb sollten sich Städte, Kommunen, Verbände und Institutionen rechtzeitig auf derartige Veränderungen einstellen und Kompensationsmaßnahmen erarbeiten, die den Klimawandel und die zu erwartenden Auswirkungen berücksichtigen. Den rechtlichen Rahmen zur Ausgleichspflicht von Beeinträchtigungen von Natur und Landschaft bildet das Bundesnaturschutzgesetz. Mit dem Ziel des Schutzes der Natur- und Artenvielfalt ist dort geregelt, dass bei nicht vermeidbaren Beeinträchtigungen des Naturhaushalts und des Landschaftsbildes Ausgleichsflächen oder Ersatzmaßnahmen geschaffen werden müssen, welche unter dem Oberbegriff der Kompensation behandelt werden.

Mit dem Klimawandel und seinen Folgen kommen neue Komponenten hinzu, die zu berücksichtigen sind, da die gewählten Kompensationsmaßnahmen nicht nur den heutigen, sondern auch den zukünftigen Klimabedingungen standhalten sollen. Da diese Thematik für wachsende Städte und Gemeinden – vor allem bei der Ausweisung von Neubaugebieten – eine große Bedeutung besitzt, entwickelt das Climate Service Center Germany (GERICS) das prototypische Modul „Klimawandelgerechte Kompensationsmaßnahmen“. Dieses Modul ist eine Komponente des modularen, sektor-übergreifenden Beratungsangebots „GERICS-Stadtbaukasten“¹, um Städte, Gemeinden und Kommunen hinsichtlich der auf Grund des Klimawandels zu erwartenden Chancen und Risiken zu informieren und bei der Anpassung an die Folgen des Klimawandels zu unterstützen (Bender et al. 2017).

Der GERICS-Stadtbaukasten startete 2013 mit der ersten Entwicklungsphase, wobei die Modulgruppen „Klimaangepasste Stadtentwicklung“ und „Thermisches Wohlbefinden und Wohnumfeld“ in Kooperation mit der Landeshauptstadt Kiel an ausgewählten Quartieren und Stadtvierteln getestet und auf ihre Funktionalität überprüft wurden. Der vorliegende Report basiert auf einem Bericht von Lendner & Weber (2015), die im Auftrag von GERICS eine Methode zur Überprüfung der Funktionstüchtigkeit von Kompensationsmaßnahmen unter klimatisch veränderten Bedingungen erarbeitet hat. Der ursprüngliche Report wurde um aktuelles Klimawissen ergänzt und an einigen Stellen inhaltlich zusammengefasst.

Um einem möglichen Verfehlen der Zielsetzungen von Kompensationsmaßnahmen entgegenzuwirken, werden im Rahmen der vorliegenden Begutachtung mögliche Auswirkungen durch klimawandelbedingte Veränderungen auf ausgewählte Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen in der Stadt Kiel für die erste Hälfte des 21. Jahrhunderts untersucht (Abb.1).

Dabei werden die ursprünglichen, im Rahmen eines Planfeststellungsverfahrens getroffenen Aussagen sowie die Möglichkeiten hinsichtlich des Erreichens oder Scheiterns der Zielsetzungen unter der Randbedingung projizierter veränderter Klimabedingungen untersucht. Das Ziel dieser Begutachtung ist es, eine Vorgehensweise zu entwickeln, die die Identifizierung und Umsetzung klimawandeltauglicher Kompensationsmaßnahmen in der Praxis ermöglicht und gewährleistet.

Der nachfolgende Bericht verbindet hierfür aktuelle und für die Zukunft projizierte Klimainformationen mit der Analyse und Bewertung von fünf Kompensationsmaßnahmen. Modellhaft wird dargestellt, ob deren Funktion auch unter klimatisch veränderten Bedingungen bestehen bleiben würde.

¹ Weitere Informationen zum „GERICS-Stadtbaukasten“ finden sich online: www.stadtbaukasten.org

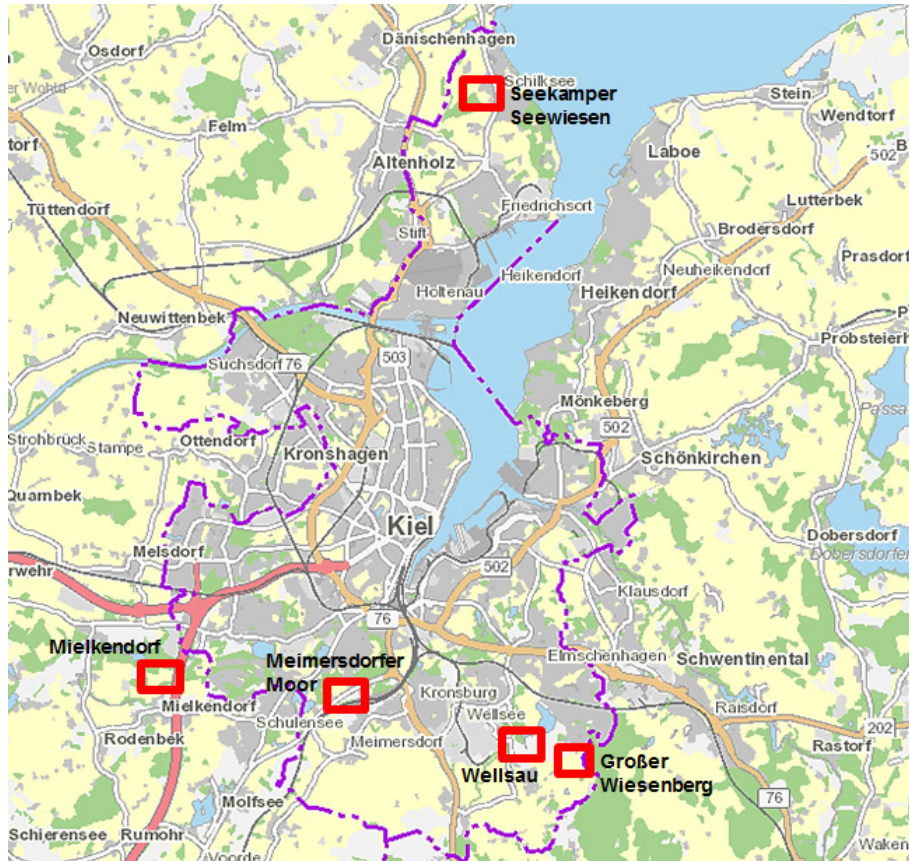


Abb. 1 Lage der Kompensationsgebiete (Quelle: Kartendienst der Landeshauptstadt Kiel).

Die zentralen Fragestellungen dieser Studie sind:

- Wie können sich klimatisch veränderte Bedingungen auf geplante und bereits umgesetzte Kompensationsmaßnahmen auswirken?
- Wie können Kompensationsmaßnahmen ihre ursprünglich angedachte Funktion auch unter klimatisch veränderten Bedingungen erreichen und bewahren?

Die beispielhaft ausgewählten Kompensationsmaßnahmen liegen einerseits innerhalb des Gebietes der Landeshauptstadt Kiel (in Randlage), andererseits in einer Umlandkommune.

2. Grundlagen

2.1. Rechtliche Grundlagen zu Kompensationsmaßnahmen

Nach § 14 Abs. 1 BNatSchG liegt ein Eingriff in die Natur vor, wenn „[...] Veränderungen der Gestalt oder Nutzung von Grundflächen oder Veränderungen des mit der belebten Bodenschicht in Verbindung stehenden Grundwasserspiegels, die Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushaltes oder das Landschaftsbild erheblich beeinträchtigen können.“

Sofern eine Beeinträchtigung beziehungsweise eine erhebliche Beeinträchtigung nach § 14 Abs. 1 BNatSchG vorliegt, ist der Verursacher nach § 15 Abs. 2 BNatSchG dazu verpflichtet, Maßnahmen des Naturschutzes oder der Landschaftspflege durchzuführen, um damit unvermeidbare Beeinträchtigungen auszugleichen (Ausgleichsmaßnahmen) oder zu ersetzen (Ersatzmaßnahmen) (Box 1). Eine Beeinträchtigung ist dann als ausgeglichen anzusehen, „[...] wenn und sobald die beeinträchtigten Funktionen des Naturhaushaltes in gleichartiger Weise wiederhergestellt sind und das Landschaftsbild landschaftsgerecht wiederhergestellt oder neu gestaltet ist.“ (BNatSchG § 15 Abs. 2). Als ersetzt ist eine Beeinträchtigung demgegenüber dann anzusehen, „[...] wenn und sobald die beeinträchtigten Funktionen des Naturhaushalts in dem betroffenen Naturraum in gleichwertiger Weise hergestellt sind und das Landschaftsbild landschaftsgerecht neu gestaltet ist.“ (BNatSchG § 15 Abs. 2).

Box 1 Wichtige Begriffe im Überblick.

Kompensationsmaßnahme: Sammelbegriff für Maßnahmen, die erforderlich werden, wenn trotz festgesetzter Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen erhebliche Beeinträchtigungen von Natur und Landschaft durch den Eingriff verbleiben. Häufig werden Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen als Kompensationsmaßnahmen zusammengefasst.

Ausgleichsmaßnahme: Unter Ausgleich versteht man eine Maßnahme, durch die die beeinträchtigten Funktionen des Naturhaushalts in gleichartiger Weise wieder hergestellt werden.

Ersatzmaßnahme: Ersetzt ist ein Eingriff, sobald die beeinträchtigten Funktionen des Naturhaushalts in gleichwertiger Weise hergestellt sind.

Gleichwertig: Von „gleichwertig“ wird gesprochen, wenn Ersatzmaßnahmen einen gelockerten räumlichen und funktionalen Bezug zum Eingriff aufweisen (andere Schutzgüter/andere Funktionen des Naturhaushaltes).

Gleichartigkeit: Von „gleichartig“ wird gesprochen, wenn Ausgleichsmaßnahmen einen engen räumlichen und funktionellen Bezug zum Eingriff aufweisen (dasselbe Schutzgut/dieselbe Funktion des Schutzgutes).

Der Unterschied zwischen Ausgleich und Ersatz besteht somit darin, dass Ersatzflächen nicht am Ort der Beeinträchtigung umgesetzt werden müssen. Der strikte Vorrang des Ausgleichs vor dem Ersatz wurde nach 2002 dahingehend gelockert, dass nunmehr im Einzelfall zu entscheiden ist ob die Durchführung einer Maßnahme zur Kompensation die unmittelbare Nähe zum Eingriffsort (Ausgleich) erfordert oder im gelockerten räumlichen Zusammenhang des Naturraumes erfolgen kann (Schumacher & Fischer-Hüftle 2011). Um einen Ausgleich in gleichartiger Weise zu ermöglichen, bedarf es zunächst der Ermittlung der Funktionen des Naturhaushalts am Eingriffsort sowie dessen Nutzen für die Umgebung (Erbs & Kohlhaas 2016). Bei einem Ausgleich kommt es letztlich nicht darauf an, ein genaues Abbild des früheren Zustandes zu schaffen, sondern, eine Wiedergutmachung der verursachten Beeinträchtigungen zu erreichen. Der Ausgleich fordert einen Funktionszusammenhang zwischen der Beeinträchtigung und der Kompensation. Dieser Zusammenhang muss sowohl eine inhaltliche als auch eine räumliche Komponente aufweisen. Ergänzend dazu muss die Ausgleichsmaßnahme so umgesetzt werden, dass in dem betroffenen Eingriffsgebiet ein Zustand erreicht wird, der zu einer gleichen Wirkung führt und von gleicher Art ist (Schumacher & Fischer-Hüftle 2011). Daher sind nur solche Maßnahmen als Ausgleich anzuerkennen, die tatsächlich zu einer Kompensation der ökologischen Funktionen des Naturhaushalts führen. So wäre die Versiegelung des Bodens durch den Bau einer Straße ausschließlich durch die Entsiegelung an einer anderen Stelle auszugleichen, nicht aber durch das Pflanzen von Büschen oder Bäumen. Auch könnte die Rodung von Bäumen nicht durch das Anlegen einer Wildblumenwiese ausgeglichen werden. Obwohl solche Maßnahmen als ökologisch wertvoll eingestuft werden, dienen diese nicht der Wiederherstellung von eingriffsbedingt gestörten Funktionen des Naturhaushaltes (Möller 2013).

Auch bei der Kompensation in Form des Ersatzes in gleichwertiger Weise gilt das Ziel, keine erhebliche Beeinträchtigung zurückzulassen. Im Gegensatz zum Ausgleich ist der Ersatz jedoch als weniger streng im Hinblick auf Ort und Inhalt anzusehen. So müssen bei einem Ersatz keine Rückwirkung zum Eingriffsort und keine Gleichartigkeit bestehen. Da die Nachteile eines Eingriffs in einer gesamt-bilanzierenden Betrachtungsweise kompensiert werden können, wird lediglich eine Gleichwertigkeit gefordert (Schumacher & Fischer-Hüftle 2011). Ebenso wie beim Ausgleich ist auch beim Ersatz die Definition und Bestimmung von Gleichwertigkeit eine Rechtsfrage, die jedoch auf einer wissenschaftlich fundierten Bewertung basieren muss. Sofern unterschiedliche Maßnahmen zum gleichwertigen Ersatz zur Verfügung stehen, muss immer diejenige gewählt werden, die der beeinträchtigten Funktion am nächsten kommt.

Durch eine Kompensationsmaßnahme kann durchaus ein Ergebnis erzielt werden, welches nicht zwingend den Anspruch der Gleichartigkeit erfüllen muss, sondern die Gleichwertigkeit ein hinreichendes Kriterium darstellt. Wird zudem noch die

Klimawandelkomponente ergänzt, so muss gleichwertig auch die Gewährleistung der Funktionalität unter Klimawandelbedingungen und die Anfälligkeit des Standorts in Hinblick auf die Folgen des Klimawandels in die abschließende Analyse miteinbezogen werden. Darüber hinaus sind die Wechselwirkungen zwischen klimatischen und nicht-klimatischen Treibern ebenfalls zu berücksichtigen.

2.2. Geoökologische Zielsetzungen

Um die potentiellen klimatischen Auswirkungen auf Kompensationsmaßnahmen überprüfen zu können, müssen zuvor die Zielsetzungen der Maßnahmen betrachtet werden. Als Basis dafür dienen die Zielformulierungen aus vorliegenden Projektunterlagen sowie übergeordnete, planerische Vorgaben.

Die Stadt Kiel hat bereits frühzeitig ökologische Ansätze in ihren Arbeitsprozessen etabliert. Aufbauend auf dem Freiräumlichen Leitbild Kiel und Umland (2007) und den Erläuterungen zum Landschaftsrahmenplan für den Planungsraum III (2000) lauten die angestrebten geoökologischen Zielsetzungen wie folgt:

- Verdichtung des Biotopverbundnetzes
- Sicherung und Entwicklung ausreichend großer, natürlicher Lebensräume
- Renaturierung durch Neuwaldbildung und Entwicklung von Kleingewässerbiotopen zur qualitativen Verbesserung der ostseetypischen Lebensräume beziehungsweise Landschaftsausschnitte
- Schaffung naturnaher und standortgerechter Waldflächen durch Erstaufforstung ehemaligen Ackerlandes
- Verhinderung von Bodenerosion durch standortgerechte Gehölzarten
- Errichtung neuer Waldflächen zur Verbesserung der Luftqualität
- Erhöhung der ökologischen Funktion der Landschaft
- Aufbau eines Biotopverbundes
- Entwicklung naturnaher Feuchtbiotope zur Unterstützung eines funktionsfähigen Ökosystems und um dem Artenrückgang entgegen zu wirken
- Entwicklung naturbetonter Erholungsräume – Sicherung der naturverträglichen Erholung gemäß §6a Abs. 1 Nr. 4b LNatSchG

2.3. Bewertung der Klimaveränderungen (Klimaänderungsszenarien)

Als Grundlage zur Beurteilung möglicher zukünftiger Klimaveränderungen und zur weiterführenden Bewertung von Kompensationsmaßnahmen kamen ausgesuchte Klimaindizes mit Bezug zu Temperatur und Niederschlag zum Einsatz (Tab. 1), die aus Klimamodellsimulationen abgeleitet wurden.

Tab. 1 Ausgesuchte Variablen und Indizes.

Variable/Index	Erläuterung
Variable der REMO-Simulation	
Langjähriges Mittel der Temperatur sowie langjähriger saisonaler Mittelwert für Winter (DJF), Frühling (MAM), Sommer (JJA) und Herbst (SON)	in 2 m Höhe (Meteorologisches Jahr)
Taupunkttemperatur	in 2 m Höhe
Langjähriges Mittel der Niederschlagssumme sowie langjähriger saisonaler Mittelwert (DJF, MAM, JJA, SON)	Gesamtniederschlag (Summe aus konvektivem und stratiformem Niederschlag)
Langjähriges Mittel der Windstärke	in 10 m
Langjähriges Mittel der Windrichtung	in 10 m Höhe
Abgeleitete Indizes auf Basis von Variablen der REMO-Simulation	
Anzahl der Sommertage bzw. sommerliche Tage	Gesamtzahl der Tage mit einem Tagesmaximum von $\geq 25^{\circ}\text{C}$ (in 2 m Höhe)
Anzahl der Hitzetage	Gesamtzahl der Tage mit einem Tagesmaximum von $\geq 30^{\circ}\text{C}$ (in 2 m Höhe)
Anzahl der Starkregenereignisse	Gesamtzahl der Tage mit Niederschlagssumme $\geq 25,0$ mm
Anzahl der Trockenperioden	Periode mit mehr als 5 aufeinanderfolgenden Tagen mit Niederschlagssumme < 1 mm
Länge der Trockenperiode	Maximale Länge der Periode mit mehr als 5 aufeinanderfolgenden Tagen mit Niederschlagssumme < 1 mm
Mittlere Länge der Vegetationsperiode	Länge in Tagen zwischen dem ersten Auftreten von sechs oder mehr aufeinanderfolgenden Tagen mit einer Tagesmitteltemperatur von $> 5^{\circ}\text{C}$ und dem ersten Auftreten von 6 oder mehr aufeinanderfolgenden Tagen mit einer Tagesmitteltemperatur $< 5^{\circ}\text{C}$ innerhalb eines Kalenderjahres
Mittlerer Beginn der Vegetationsperiode	Mittel aller Termine mit erstem Auftreten von mindestens 6 aufeinanderfolgenden Tagen mit einer Tagesmitteltemperatur $> 5^{\circ}\text{C}$ (i.e. Beginn der Vegetationsperiode)

2.3.1. Methodischer Ansatz

Die Simulationen für das historische Klima (1950 – 2005) und die Projektionen für zukünftiges Klima (2005 – 2100) wurden mit dem regionalen Klimamodell REMO (Jacob & Podzun 1997) berechnet. Die Klimaprojektionen für die Zukunft umfassen die Klimaänderungsszenarien RCP2.6, 4.5 und 8.5 (Box 2). Nachfolgend werden zwei Vorgehensweisen gegenübergestellt. In der **ersten Variante** wurden die Klimavariablen ausschließlich mit dem regionalen Klimamodell REMO berechnet (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5), angetrieben mit dem Globalmodell MPI-ESM, mit einer räumlichen Auflösung von $0,11^\circ$ ($\sim 12,5$ km) sowie einer zeitlicher Auflösung von einer Stunde. Diese Variante musste zu Beginn der Entwicklungsphase der Stadtbaukastenmodule gewählt werden, da zu diesem Zeitpunkt noch kein Ensemble regionaler Klimaprojektionen für das ausgewählte Untersuchungsgebiet frei verfügbar war.

Box 2 Die „Repräsentativen Konzentrationspfade“ (RCP)

Die globalen sozio-ökonomischen Szenarien RCP (sogenannte "Repräsentative Konzentrationspfade") wurden für den 5. Sachstandsbericht des IPCC ausgewählt und berücksichtigen unter anderem die Bevölkerungszunahme, das Bruttosozialprodukt und den Energieverbrauch. RCP2.6 schließt sehr ambitionierte Maßnahmen zur Verringerung von Treibhausgasemissionen ein, führt zum Strahlungsantrieb von ca. 3 W pro m^2 um 2040 und geht dann zum Ende des 21. Jahrhunderts auf einen Wert von 2.6 W pro m^2 zurück. Mit RCP8.5 wird ein kontinuierlicher Anstieg der Treibhausgasemissionen beschrieben, der zum Ende des 21. Jahrhunderts einen Strahlungsantrieb von 8.5 W pro m^2 erreicht. RCP4.5 bewegt sich im mittleren Bereich

(siehe z.B. <http://www.klimanavigator.de/dossier/artikel/012038/index.php> und <http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/RCP-Szenarien>, Stand: 04/2017).

In der **zweiten Variante** wurden regionale Klimaprojektionen der EURO-CORDEX-Initiative (<http://www.euro-cordex.net>) herangezogen (Box 3), die durch „Dynamisches Downscaling“ erzeugt wurden (Jacob et al. 2014). Dabei wurden 34 Klimaprojektionen analysiert, aufgeteilt in vier Projektionen basierend auf Szenario RCP2.6, sowie jeweils 15 Projektionen basierend auf Szenario RCP4.5 beziehungsweise RCP8.5. Das Ensemble beinhaltet Simulationen von sechs unterschiedlichen regionalen Klimamodellen (RCM), die von acht verschiedenen globalen Klimamodellen (GCM) beziehungsweise GCM-Realisierungen angetrieben werden (Tab. 2). Die in der ersten Variante genutzten REMO-Simulationen sind Bestandteil des in der zweiten Variante verwendeten EURO-CORDEX-Ensembles.

EURO-CORDEX ist der europäische Zweig der internationalen CORDEX Initiative. Sie wird durch das World Climate Research Programme (WRCP) gefördert, um einen international koordinierten Rahmen zu schaffen, mit dem Ziel, verbesserte regionale Klimaprojektionen für alle Länderregionen weltweit zu produzieren.

Jacob et al. (2014) nutzten den ersten Satz von EURO-CORDEX Simulationen mit einer horizontalen Auflösung von 12,5 km für die Emissionsszenarien RCP4.5 und RCP8.5, um u.a. die Ergebnisse denen der SRES A1B Simulationen des ENSEMBLES-Projektes gegenüber zu stellen. Während sich die großflächigen Änderungsmuster für die mittlere Temperatur und den Niederschlag bei allen Szenarien ähnlich ausprägen, zeigen sich aufgrund der höheren räumlichen Auflösung der EURO-CORDEX Simulationen regionale Unterschiede. Darüber hinaus wurde der Ensemble-Ansatz dazu genutzt, um Aussagen über Robustheit und Signifikanz der Ergebnisse zu erlangen. Ein Ergebnis kann als robust bezeichnet werden, wenn es durch veränderte Modellansätze möglichst wenig beeinflusst wird (Pfeifer et al. 2015).

Die Ergebnisse von Jacob et al. (2014) zeigen für die Periode 2071 – 2100 (verglichen mit 1971 – 2000) einen robusten und signifikanten Anstieg der **mittleren jährlichen Temperatur** (+1,6° bis +3,2°C für RCP 4.5 bzw. +3,7° bis +5,2°C für RCP 8.5). Die **mittleren jährlichen Niederschlagssummen** zeigen sich bei RCP8.5 für weite Teile Deutschlands erhöht (signifikant und robust), mit Ausnahme von Norddeutschland, bzw. bei RCP4.5 variieren die Veränderungen zwischen -5% und +25% (signifikant und robust). Bei den **Starkregenereignissen** zeigen die Ergebnisse deutliche saisonale Unterschiede. Für RCP8.5 ergeben sich deutschlandweit im Winter robuste und signifikante Zunahmen der Anzahl (15 bis 35%), wohingegen im Sommer – bis auf Teilen Bayerns – keine signifikanten Veränderungen simuliert wurden. Für RCP4.5 zeigen die Ergebnisse nur wenige signifikante, robuste Veränderungen. Ausnahmen bilden die Zunahme der Ereignisanzahl von 5% bis 25% für den Winter in Ostdeutschland, den nördlichen Teil Nordrhein-Westfalens und für Teile Südost-Bayerns.

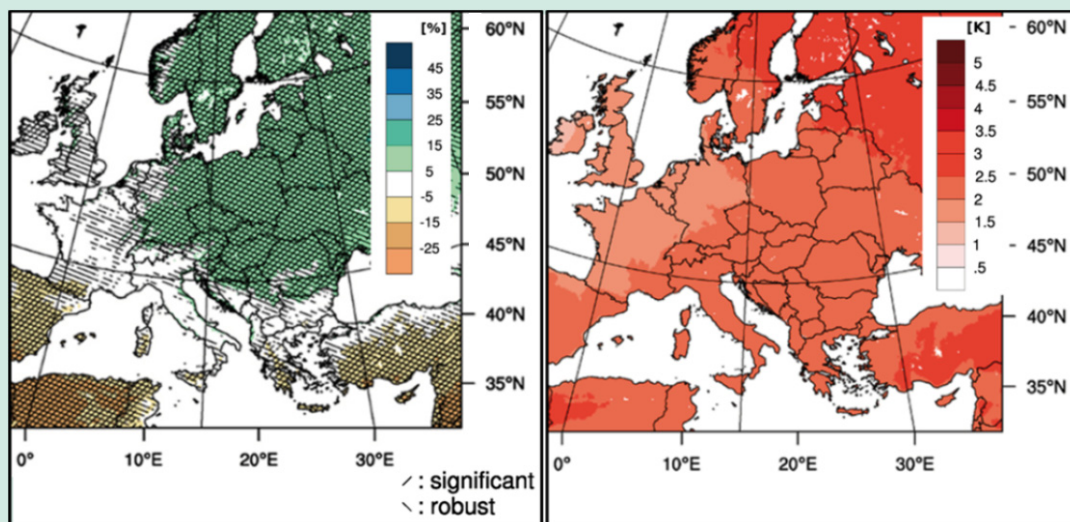


Abb. 2 Projizierte Veränderungen des jährlichen mittleren Niederschlags (links) und der jährlichen mittleren Temperatur (rechts) für 2071 – 2100 (im Vergleich zu 1971 – 2000) für RCP4.5. (entnommen aus Jacob et al. 2014, S.567, verändert).

Als regionale Klimainformationen für einen bestimmten Standort werden die Messdaten der nächstgelegenen Messstation (beispielsweise des Deutschen Wetterdienstes) verwendet, sowie simulierten Zeitreihen (sowohl des vergangenen Klimas als auch Projektionen für das künftige Klima) derjenigen Simulationsgitterbox², die sich nahe einer Messstation befindet und das mittlere Klima eines Gebiets von etwa 12,5 km mal 12,5 km repräsentiert.

Tab. 2 Überblick der verwendeten globalen und regionalen Klimamodelle sowie deren Realisierungen.

Niedriges Emissionsszenario (RCP2.6)		Moderates Emissionsszenario (RCP4.5)		Hohes Emissionsszenario (RCP8.5)	
Name des RCM	Name und Realisierung des antreibenden GCM	Name des RCM	Name und Realisierung des antreibenden GCM	Name des RCM	Name und Realisierung des antreibenden GCM
REMO	MPI-ESM; r1	REMO	MPI-ESM; r1	REMO	MPI-ESM; r1
REMO	MPI-ESM; r2	REMO	MPI-ESM; r2	REMO	MPI-ESM; r2
-	-	CCLM4.8	MPI-ESM; r1	CCLM4.8	MPI-ESM; r1
-	-	RCA4	MPI-ESM; r1	RCA4	MPI-ESM; r1
-	-	CCLM4.8	CNRM-CM5; r1	CCLM4.8	CNRM-CM5; r1
-	-	RCA4	CNRM-CM5; r1	RCA4	CNRM-CM5; r1
-	-	CCLM4.8	EC-EARTH; r12	CCLM4.8	EC-EARTH; r12
RCA4	EC-EARTH; r12	RCA4	EC-EARTH; r12	RCA4	EC-EARTH; r12
RACMO2.2	EC-EARTH; r1	RACMO2.2	EC-EARTH; r1	RACMO2.2	EC-EARTH; r1
-	-	HIRHAM5	EC-EARTH; r3	HIRHAM5	EC-EARTH; r3
-	-	WRF3.3.1	IPSL-CM5A; r1	WRF3.3.1	IPSL-CM5A; r1
-	-	RCA4	IPSL-CM5A; r1	RCA4	IPSL-CM5A; r1
-	-	CCLM4.8	HadGEM2; r1	CCLM4.8	HadGEM2; r1
-	-	RACMO2.2	HadGEM2; r1	RACMO2.2	HadGEM2; r1
-	-	RCA4	HadGEM2; r1	RCA4	HadGEM2; r1

² Ein numerisches Klimamodell besteht aus einem 3-dimensionalen Gitter, das den Globus umspannt. Für jeden Gitterpunkt wird eine Vielzahl von Klimaparametern (z.B. Temperatur, Druck und Niederschlag) berechnet (siehe z.B. <http://www.klimanavigator.de/dossier/dossiers/011976/index.php>, Stand 04/2017).

Box 4 Überblick der in der Anwendungsphase verwendeten Zeiträume.

- Gesamter Simulationszeitraum der historischen Modellsimulation: 1950 – 2005
- Gesamter Simulationszeitraum für zukünftige Entwicklungen: 2005 – 2100
- Beobachtungsdaten Messstation (Temperatur): 01.01.2002 – 31.12.2012
- Beobachtungsdaten Messstation (Wind): 01.06.1986 – 21.12.2007
- Beobachtungsdaten Messstation (relative Feuchte): 01.01.2002 – 31.12.2012

2.3.2. Modellerte historische Klimabedingungen

Zur Einschätzung der Klimaveränderungen werden die simulierten Ergebnisse der Periode 1975 – 2005 mit denen des Zeitraums 2020 – 2050 verglichen. Wie ein Abgleich der modellierten historischen Werte (EURO-CORDEX-Ensemble) mit den Beobachtungsdaten der Station Kiel-Holtenau zeigt, treten größere Abweichungen bei der mittleren Temperatur und bei Angaben zur Vegetationsperiode auf (Tab. 3). Alle anderen Abweichungen liegen innerhalb tolerierbarer Größenordnungen. Bei der Beurteilung ist zu beachten, dass die Referenzzeiträume der Messstation und der Modellsimulation nicht deckungsgleich sind, da an diesem Standort erst seit Mitte 1987 aufgezeichnet wurde. Indizes, die auf der Tagesmaximumtemperatur basieren, wurden lediglich für den Zeitraum von 1989 bis 2000 berechnet, da die Jahre 2001 bis 2008 erhebliche Datenlücken aufwiesen.

Ein Vergleich der gemessenen und modellierten Temperaturwerte zeigt, dass die Beobachtungen höhere Werte als die Statistik des EURO-CORDEX-Ensembles aufweisen. Im Vergleich der Windgeschwindigkeiten weisen dagegen die Simulationen höhere Werte auf. Trotzdem bewegen sich die Modellwerte in einer vertretbaren Größenordnung, vor allem da es sich bei den Beobachtungsdaten um Punktinformationen und bei den Modellergebnissen um mittlere Flächenergebnisse handelt. Wie Sensitivitätsstudien im Rahmen einer GERICS-Produktentwicklung für ein vergleichbares Gebiet gezeigt haben, können zwei Messstationen innerhalb einer Gitterbox durchaus Unterschiede von über einem Grad Celsius aufweisen. Bei Niederschlagswerten können aufgrund der heterogenen Verteilung der Niederschläge – insbesondere bei kleinräumigen Ereignissen wie Starkregen – Unterschiede bei Tageswerten von 100% und mehr auftreten. Für alle nachfolgenden Vergleiche zwischen dem Ergebnis der REMO-Klimaprojektionen und den Ensemble-Ergebnissen ist zu beachten, dass die Zeitperiode des Ensembles um ein Jahr verkürzt ist.

Tab. 3 Vergleich der Beobachtungsdaten „Station Kiel-Holtenau“ mit den berechneten historischen Daten der REMO Simulation bzw. des EURO-CORDEX-Ensemble (likely range 17. bis 83. Perzentil (P17, P83) und Ensemble Median (P50)).

Variable/Index	Beobachtungsdaten (vgl. Box 4)	Modellierte Historische Daten REMO (1975 – 2005)	Modellierte Historische Daten (EURO-CORDEX- Ensemble) (1976 –2005)		
			P17	P50	P83
Mittlere Temperatur [°C]	9,2	9,5	7,5	8,0	8,8
Mittlere Windstärke [m/s]	3,8	4,7	4,7	5,1	5,3
Anzahl Sommertage [#a]	9,7	4,3	2,2	5,4	12,2
Anzahl heiße Tage [#a]	1,3	0,03	0,0	0,5	1,5
Mittlerer Niederschlag [mm/d]	2,1	2,7	1,9	2,5	2,9
Mittl. Nds./ Winter (DJF) [mm/d]	2,1	2,6	2,2	2,4	2,9
Mittl. Nds./ Frühling (MAM) [mm/d]	1,5	1,8	1,7	1,9	2,4
Mittl. Nds./ Sommer (JJA) [mm/d]	2,5	3,0	1,9	2,6	3,2
Mittl. Nds./Herbst (SON) [mm/d]	2,2	3,4	2,0	2,6	3,4
Anzahl Starkregenereignisse [#a]	2,2	1,8	0,8	1,8	2,2
Dauer längste Trockenperiode [d]	39	33	28	33	40
Anzahl Trockenperioden [#a]	14,1	9,2	7,8	9,7	11,6
Start der Vegetationsperiode [d]	55,5	70,7	74,7	91,0	109,3
Mittlere Länge Vegetationsperiode [d]	277,4	265,2	215,2	232,5	258,5

Zu beachten: Für die REMO-Simulation und das EURO-CORDEX-Ensemble wurden unterschiedliche Betrachtungszeiträume verwendet. Indizes, die auf der Tagesmaximumtemperatur basieren, wurden lediglich für den Zeitraum von 1989 bis 2000 berechnet, da die Jahre 2001 bis 2008 erhebliche Datenlücken aufwiesen.

Die historische REMO-Klimaprojektion zeigt für das gegenwärtige Klima der subatlantische geprägten Landeshauptstadt Kiel eine jährliche mittlere Temperatur von 9,5°C für den Bezugszeitraum von 1975 bis 2005. Der tägliche mittlere Niederschlag beträgt 2,7 mm/d, daraus ergibt sich eine jährliche mittlere Niederschlagssumme von etwa 980 mm/a für denselben Zeitraum. Der durchschnittliche, mittlere saisonale Niederschlag über diese Periode beträgt im Winter 2,6 mm/d; im Frühling 1,8 mm/d; im Sommer 3,0 mm/d und im Herbst 3,4 mm/d (Tab. 3). Für den oben genannten Zeitraum werden im Mittel 1,8 Starkregenereignisse (Tage mit Niederschlagsmengen ≥ 25 mm) und 9,2 Trockenperioden (mehr als fünf aufeinanderfolgende Tage mit Niederschlagssummen unter 1 mm) pro Jahr simuliert. Die Dauer der längsten Trockenperiode beträgt 33 Tage. Im Mittel werden 4,3 Sommer-

tage (Tage mit Maximaltemperatur $\geq 25^{\circ}\text{C}$) sowie 0,03 heiße Tage (Tage mit Maximaltemperatur $\geq 30^{\circ}\text{C}$) pro Jahr über diesen Zeitraum simuliert. Die mittlere Länge der Vegetationsperiode (Anzahl der Tage zwischen erstem Auftreten von mindestens sechs aufeinanderfolgenden Tagen mit Tagesmitteltemperatur $T_M > 5^{\circ}\text{C}$ und erstem Auftreten von sechs aufeinanderfolgenden Tagen mit $T_M < 5^{\circ}\text{C}$) beträgt 265,2 Tage.

Im Vergleich zu den simulierten Werten des **EURO-CORDEX-Ensembles** liegt die mittlere Temperatur der REMO-Klimaprojektion über dem 83. Perzentil des EURO-CORDEX-Ensembles. Dieses Modell projiziert also eine leicht wärmere Mitteltemperatur als das Gesamtensemble, während gleiches für die Beobachtung gilt. Bei den simulierten Niederschlagsmengen der REMO-Klimaprojektion bewegen sich diese im Winter und Frühling im Bereich des Medianwertes und im Sommer und Herbst im Bereich des 83. Perzentils des EURO-CORDEX-Ensembles. Bei der Anzahl ausgesuchter Extremereignisse (Starkregen und Trockenperioden) liegen die REMO-Klimaprojektionen in der Größenordnung des Medians des EURO-CORDEX-Ensembles. Temperaturextreme wie die Anzahl der Sommertage und heißen Tage zeigen sich im EURO-CORDEX-Ensemble leicht ausgeprägter.

2.3.3. Niedriges Emissionsszenario (RCP2.6)

Die **REMO-Klimaprojektion** unter Annahme eines niedrigen Emissionsszenarios (RCP2.6) simuliert für den Bezugszeitraum von 2020 bis 2050 eine Temperaturzunahme um $0,7^{\circ}\text{C}$ auf etwa $10,2^{\circ}\text{C}$ im Mittel. Eine Zunahme zeigt sich ebenfalls für die Anzahl der Sommertage auf jährlich im Mittel 6,9 (+2,6) Tage, der heißen Tage auf jährlich im Mittel 0,2 (+0,17) Tage sowie der Starkregenereignisse auf jährlich im Mittel 2,4 (+0,6) Ereignisse. Der mittlere Niederschlag erhöht sich leicht um $0,2\text{ mm/d}$ auf ungefähr $2,9\text{ mm/d}$. Der Jahresgang prägt sich für den mittleren Niederschlag wie folgt aus: Winter $2,9 (+0,3)\text{ mm/d}$, Frühling $2,0 (+0,2)\text{ mm/d}$, Sommer $3,0 (\pm 0,0)\text{ mm/d}$, Herbst $3,6\text{ mm/d} (+0,2\text{ mm/d})$. Die Anzahl der Trockenperioden verringert sich leicht auf im Mittel 8,5 Ereignisse pro Jahr. Die mittlere Länge der Vegetationsperiode verlängert sich ebenfalls um etwa 38,4 auf insgesamt 303,6 Tage (Tab.4).

Da das **RCP2.6-Ensemble** nur aus vier Klimaprojektionen besteht, wurde zur Beschreibung der Ergebnisse der minimale Wert (MIN) und maximale Wert (MAX) sowie der Median (P50) angegeben. Im Vergleich zu der einzelnen REMO-Simulation sind die Ergebnisse des RCP2.6-Ensembles deutlich differenzierter, wobei die Ergebnisbandbreiten, mit Ausnahme von Start und Länge der Vegetationsperiode, für keine Variable beziehungsweise keinen Index einen klaren Trend zeigen. Generell ist hier von geringfügigen Veränderungen sowohl bei der Temperatur wie auch bei den mittleren Niederschlägen auszugehen.

Tab. 4 Übersicht der berechneten Variablen und Indizes für den historischen Zeitraum (1975 – 2005) und das Zukunftsszenario RCP2.6 (2020 – 2050/REMO) bzw. (2021 – 2050/EURO-CORDEX-Ensemble).

Variable/Index	Modellierte Historische Daten REMO (1975 – 2005)	Modellierte Historische Daten (EURO-CORDEX-Ensemble) (1976 – 2005)			RCP2.6 REMO (2020 – 2050)	RCP2.6 (EURO-CORDEX-Ensemble) (2021 – 2050)		
		P17	P50	P83		MIN	P50	MAX
Mittlere Temperatur [°C]	9,5	7,5	8,0	8,8	10,2	8,6	9,5	10,2
Mittlere Windstärke [m/s]	4,7	4,7	5,1	5,3	4,7	4,7	4,7	5,5
Anzahl Sommertage [#a]	4,3	2,2	5,4	12,2	6,9	5,6	5,8	13,6
Anzahl heiße Tage [#a]	0,03	0,0	0,5	1,5	0,2	0,07	0,2	2,0
Mittlerer Niederschlag [mm/d]	2,7	1,9	2,5	2,9	2,9	2,3	2,8	2,9
Mittl. Nds./ Winter (DJF) [mm/d]	2,6	2,2	2,4	2,9	2,9	2,5	2,7	2,9
Mittl. Nds./ Frühling (MAM) [mm/d]	1,8	1,7	1,9	2,4	2,0	1,9	2,0	2,4
Mittl. Nds./ Sommer (JJA) [mm/d]	3,0	1,9	2,6	3,2	3,0	2,4	2,9	3,0
Mittl. Nds./Herbst (SON) [mm/d]	3,4	2,0	2,6	3,4	3,6	2,4	3,0	3,8
Anzahl Starkregenereignisse [#a]	1,8	0,8	1,8	2,2	2,4	1,0	2,2	2,5
Dauer längste Trockenperiode [d]	33	28	33	40	39	22	27	39
Anzahl Trockenperioden [#a]	9,2	7,8	9,7	11,6	8,5	8,8	9,0	10,0
Start Vegetationsperiode [d]	70,7	74,7	91,0	109,3	42,8	42,8	50,2	70,4
Mittlere Länge Vegetationsperiode [d]	265,2	215,2	232,5	258,5	303,6	264,8	270,1	303,6

Zu beachten: Für die REMO-Simulation und das EURO-CORDEX-Ensemble wurden unterschiedliche Betrachtungszeiträume verwendet.

2.3.4. Moderates Emissionsszenario (RCP4.5)

Die Ergebnisse der **REMO-Klimaprojektion** unter Annahme eines moderaten Emissionsszenarios (RCP4.5) simuliert für den Bezugszeitraum von 2020 bis 2050 eine Temperaturzunahme um 0,7°C auf etwa 10,2°C im Mittel (Tab. 5). Eine Zunahme zeigt sich ebenfalls für die Anzahl der Sommertage auf jährlich im Mittel 7,9 (+3,6) Tage, der heißen Tage auf jährlich im Mittel 0,1 (+0,07) Tage sowie der Starkregenereignisse auf jährlich im Mittel 2,6 (+0,8) Ereignisse. Der mittlere Niederschlag erhöht sich leicht um jährlichen 0,1 mm/d, während sich die saisonale Ausprägung des mittleren Niederschlags wie folgt darstellt: Winter 2,7 (+0,1) mm/d,

Frühling 2,1 (+0,3) mm/d, Sommer 2,8 (-0,2) mm/d und Herbst 3,5 (+0,1) mm/d. Die Anzahl der Trockenperioden verringert sich leicht auf im Mittel 8,1 Ereignisse pro Jahr. Die mittlere Länge der Vegetationsperiode verlängert sich um 21,5 Tage auf insgesamt 286,7 Tage.

Tab. 5 Übersicht der berechneten Variablen und Indizes für den historischen Zeitraum (1975 – 2005) und das Zukunftsszenario RCP4.5 (2020 – 2050/REMO) bzw. (2021 – 2050/EURO-CORDEX-Ensemble).

Parameter	Modellierte Historische Daten REMO (1975 – 2005)	Modellierte Historische Daten (EURO-CORDEX-Ensemble (1976 – 2005))			RCP4.5 REMO (2020 – 2050)	RCP4.5 (EURO-CORDEX-Ensemble) (2021 – 2050)		
		P17	P50	P83		P17	P50	P85
Mittlere Temperatur [°C]	9,5	7,5	8,0	8,8	10,2	8,6	8,9	10,1
Mittlere Windstärke [m/s]	4,7	4,7	5,1	5,3	4,6	4,7	5,0	5,4
Anzahl Sommertage [#a]	4,3	2,2	5,4	12,2	7,9	5,4	9,0	13,1
Anzahl heiße Tage [#a]	0,03	0,0	0,5	1,5	0,1	0,3	0,8	2,0
Mittlerer Niederschlag [mm/d]	2,7	1,9	2,5	2,9	2,8	2,0	2,7	2,9
Mittl. Nds./ Winter (DJF) [mm/d]	2,6	2,2	2,4	2,9	2,7	2,4	2,7	3,3
Mittl. Nds./ Frühling (MAM) [mm/d]	1,8	1,7	1,9	2,4	2,1	1,7	2,1	2,7
Mittl. Nds./ Sommer (JJA) [mm/d]	3,0	1,9	2,6	3,2	2,8	2,3	2,8	3,3
Mittl. Nds./Herbst (SON) [mm/d]	3,4	2,0	2,6	3,4	3,5	2,0	2,7	3,5
Anzahl Starkregenereignisse [#a]	1,8	0,8	1,8	2,2	2,6	1,6	2,0	2,5
Dauer längste Trockenperiode [d]	33	28	33	40	33	25	30	40
Anzahl Trockenperioden [#a]	9,2	7,8	9,7	11,6	8,1	8,4	9,0	10,9
Start Vegetationsperiode [d]	70,7	74,7	91,0	109,3	60,7	60,1	70,5	85,1
Mittlere Länge Vegetationsperiode [d]	265,2	215,2	232,5	258,5	286,7	244,9	265,8	286,7

Zu beachten: Für die REMO-Simulation und das EURO-CORDEX-Ensemble wurden unterschiedliche Betrachtungszeiträume verwendet.

Die Ergebnisse des **RCP4.5-Ensembles** zeigen aufgrund der großen Ergebnisbandbreiten nur geringe Veränderungen im Vergleich zur Referenzperiode (1976 – 2005). Die Bandbreiten für die mittlere Temperatur, die Anzahl der Sommertage sowie die Anzahl der heißen Tage zeigen insgesamt eine Verschiebung zu höheren Temperaturen sowie zu einer Zunahme der Tage mit Temperaturextremen. Bei der Niederschlagsentwicklung werden weniger eindeutige Veränderungen simuliert. Die

mittleren Niederschläge im Winter und Sommer sowie die Anzahl der Starkregenereignisse nehmen tendenziell leicht zu. Für die Vegetationsperiode zeigt sich eine tendenzielle Entwicklung hin zu einem früheren Beginn sowie zu einem Anstieg der mittleren Länge.

Der Vergleich der beiden Betrachtungsansätze zeigt, dass sich bei der ausschließlichen Betrachtung der **REMO-Klimaprojektion**, eine ungleichmäßige Verteilung der Niederschläge andeutet mit einem proportional stärkeren Anstieg im Frühling, einem leichten Anstieg im Herbst und Winter sowie einem stärkeren Rückgang im Sommer. Die mittlere Temperatur und die mittlere Länge der Vegetationsperiode steigen geringfügig an. Der zeitlich verlängerten Vegetationsphase steht eine verstärkte saisonale Ungleichverteilung des Niederschlags sowie eine mögliche Temperaturerhöhung – die saisonal unterschiedlich stark ausgeprägt sein kann – gegenüber. Diese klimatischen Bedingungen begünstigen insbesondere im Sommer den Trockenstress bei Pflanzen, da in diesem Zeitraum weniger Wasser zur Verfügung steht. Diese Aussagen können auf Basis der Bandbreiten des **RCP4.5-Ensembles** nicht eindeutig bestätigt werden. Aufgrund einer möglichen Temperaturerhöhung und den damit verbundenen höheren Verdunstungsraten ist eine Tendenz zu einer Verringerung des tatsächlich verfügbaren Wasserdargebots gegeben.

2.3.5. Hohes Emissionsszenario (RCP8.5)

Die Ergebnisse der **REMO-Klimaprojektion** unter Annahme eines hohen Emissionsszenarios (RCP8.5) (business-as-usual) simuliert für den Bezugszeitraum von 2020 bis 2050 eine Temperaturzunahme von 0,7°C auf etwa 10,2°C im Mittel (Tab. 6). Eine Zunahme zeigt sich ebenfalls für die Anzahl der Sommertage auf jährlich im Mittel 7,8 (+3,5) Tage, der heißen Tage auf jährlich im Mittel 0,4 (+0,37) Tage sowie der Starkregenereignisse auf jährlich im Mittel 2,0 (+0,2) Ereignisse. Der mittlere Niederschlag erhöht sich leicht um jährlich 0,1 mm/d, während sich die saisonale Ausprägung des mittleren Niederschlags wie folgt darstellt: Winter 2,7 (+0,1) mm/d, Frühling 1,9 (+0,1) mm/d, Sommer 2,9 (-0,1) mm/d und Herbst 3,6 (+0,2) mm/d. Die Anzahl der Trockenperioden verringert sich leicht auf im Mittel 8,1 (-1,1) Ereignisse pro Jahr. Die mittlere Länge der Vegetationsperiode verlängert sich um 40,9 Tage auf insgesamt 306,1 Tage.

Die Ergebnisse des **RCP8.5-Ensembles** weisen ähnliche Ergebnisbandbreiten wie das RCP4.5-Ensemble auf. Dadurch ergeben sich auch bei diesem Emissionsszenario nur geringe Veränderungen im Vergleich zur Referenzperiode (1976 – 2005). Die Bandbreiten für die mittlere Temperatur, die Anzahl der Sommertage sowie die Anzahl der heißen Tage zeigen insgesamt eine Verschiebung zu höheren Temperaturen. Bei der Niederschlagsentwicklung werden weniger eindeutige Veränderungen simuliert. Die mittleren Niederschläge im Winter und Sommer sowie die Anzahl der Starkregenereignisse nehmen tendenziell leicht zu, für den Frühling

und Herbst sowie im langjährigen Mittel ist jedoch kein eindeutiger Trend ableitbar. Für die Vegetationsperiode zeigt sich eine tendenzielle Entwicklung hin zu einem früheren Beginn sowie zu einem Anstieg der mittleren Länge.

Die zeitliche Verlängerung der Vegetationsphase in Kombination mit einer möglicher Temperaturerhöhung – die saisonal unterschiedlich stark ausgeprägt sein kann – und der damit verbundenen höheren Verdunstungsrate, begünstigen insbesondere im Sommer den Trockenstress bei Pflanzen, da in diesem Zeitraum das verfügbare Wasserdargebot verringert wird.

Tab. 6 Übersicht der berechneten Variablen und Indices für den Zeitraum (1975 – 2005) und (2020 – 2050/REMO) (2021 – 2050/EURO-CORDEX-Ensemble) für RCP8.5.

Variable/Index	Modellierte Historische Daten REMO (1975 – 2005)	Modellierte Historische Daten (EURO-CORDEX-Ensemble (1976 – 2005))			RCP8.5 REMO (2020 – 2050)	RCP8.5 (EURO-CORDEX-Ensemble) (2021 – 2050)		
		P17	P50	P83		P17	P50	P85
Mittlere Temperatur [°C]	9,5	7,5	8,0	8,8	10,2	8,6	9,1	10,3
Mittlere Windstärke [m/s]	4,7	4,7	5,1	5,3	4,7	4,8	5,0	5,4
Anzahl Sommertage [#a]	4,3	2,2	5,4	12,2	7,8	5,0	7,8	16
Anzahl heiße Tage [#a]	0,03	0,0	0,5	1,5	0,4	0,3	0,9	2,3
Mittlerer Niederschlag [mm/d]	2,7	1,9	2,5	2,9	2,8	2,0	2,8	3,0
Mittl. Nds./ Winter (DJF) [mm/d]	2,6	2,2	2,4	2,9	2,7	2,2	2,7	3,1
Mittl. Nds./ Frühling (MAM) [mm/d]	1,8	1,7	1,9	2,4	1,9	1,7	2,1	2,8
Mittl. Nds./ Sommer (JJA) [mm/d]	3,0	1,9	2,6	3,2	2,9	2,1	2,7	3,4
Mittl. Nds./Herbst (SON) [mm/d]	3,4	2,0	2,6	3,4	3,6	2,0	2,7	3,6
Anzahl Starkregenereignisse [#a]	1,8	0,8	1,8	2,2	2,0	1,1	2,0	2,5
Dauer längste Trockenperiode [d]	33	28	33	40	32	23	32	45
Anzahl Trockenperioden [#a]	9,2	7,8	9,7	11,6	8,1	8,1	9,9	11,5
Start Vegetationsperiode [d]	70,7	74,7	91,0	109,3	44,3	49,4	72,0	85,8
Mittlere Länge Vegetationsperiode [d]	265,2	215,2	232,5	258,5	306,1	241,1	262,8	293,7

Zu beachten: Für die REMO-Simulation und das EURO-CORDEX-Ensemble wurden unterschiedliche Betrachtungszeiträume verwendet.

2.3.6. Zusammenfassung

Beim Vergleich der Ergebnisse zwischen den REMO-Klimaprojektionen und dem EURO-CORDEX-Ensemble zeigt sich deutlich, wie wichtig der Einsatz aller verfügbarer Klimaprojektionen ist. Nur auf diese Weise ist es möglich die Bandbreite möglicher Entwicklungen abzuschätzen. Auch wenn das Ausarbeiten von Kompensationsmaßnahmen basierend auf den Ergebnisbandbreiten auf den ersten Blick komplizierter erscheint, so ist dies jedoch der einzige gangbare Weg, um den Folgen von unzureichenden oder in die Irre führenden Trends entgegen wirken zu können. Ausgehend von den für den Großraum Kiel ermittelten Ergebnisbandbreiten der klimatischen Entwicklung für die „Nahe Zukunft“ (2020 bis 2050) unter Annahme verschiedener Klimaänderungsszenarien lassen sich folgende zukünftigen Veränderungen formulieren (Abb. 3):

Die Zunahme der mittleren **Temperatur** kann – insbesondere nach Berücksichtigung der Robustheits- und Signifikanztests von Jacob et al. (2014) – als gesichert angesehen werden. Dadurch steigt auch die Wahrscheinlichkeit einer höheren Anzahl an Sommertagen und heißen Tagen, wobei die Zunahme jedoch als moderat anzunehmen ist. Bei den saisonalen **Niederschlagsmengen** sind zwar tendenziell leichte Zunahmen – jedoch keine größeren Veränderungen bei den Durchschnittswerten – zu erwarten. Allerdings werden die Niederschlagsmengen nicht gleichmäßig über die angegebenen Zeiträume fallen, so dass lokal periodisch sowohl ein Überangebot (Überschwemmung nach einem Starkregen) als auch ein Wassermangel (während Trockenperioden, die unter Umständen länger dauern können) auftreten kann. Aufgrund der mit hoher Wahrscheinlichkeit zu erwartenden Verlängerung der **Vegetationsperiode**, wird der pflanzenbezogene Wasserbedarf ansteigen. Dies kann sich bereits unter Berücksichtigung gleichbleibender klimatischer Verhältnisse negativ auf das lokale Wasserdargebot auswirken und den Trockenstress bei Pflanzen begünstigen.

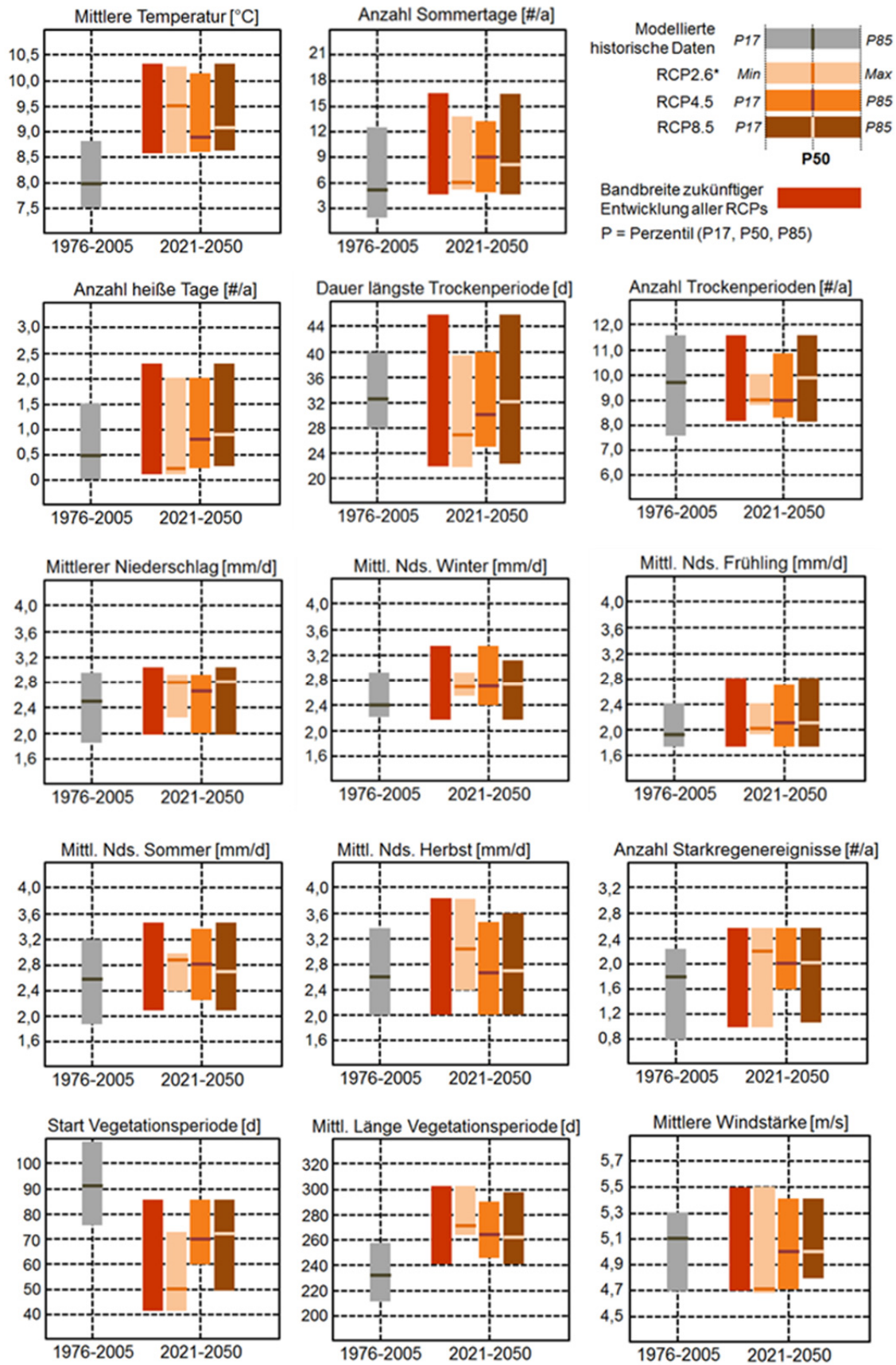


Abb. 3 Gegenüberstellung der EURO-CORDEX-Ensembleergebnisse für den Zeitraum 1976 – 2005 und 2021 – 2050 (RCP2.6, 4.5 und 8.5).

2.4. Auswahl der Fallstudien

Die Möglichkeiten der Kompensation sind sehr vielfältig – Maßnahmen zur Sicherung des Zusammenhangs der europäischen Natura 2000 Schutzgebiete, Ausgleichsmaßnahmen und Ersatzmaßnahmen. Am Beispiel ausgewählter Maßnahmen wurde untersucht, wie sich die klimatischen Veränderungen auf deren Funktionstüchtigkeit auswirken. Der Schwerpunkt der Untersuchungen liegt hierbei auf den Bereichen, die am stärksten von den Folgen des Klimawandels betroffen werden – dem Wasserkreislauf und den Pflanzengesellschaften. Exemplarisch für terrestrische Wassersysteme wurden Feuchtbiotope und Kleingewässer gewählt. Zur Betrachtung der Flora, lag der Fokus dieser Studie auf Erstaufforstungen, Röhricht und Seggenried. Untersuchungsgegenstand waren die im Rahmen eines Planfeststellungsverfahrens vereinbarten Zielsetzungen unter den heutigen und zukünftigen klimatischen Bedingungen (Zeitraum bis 2050).

Nachfolgend werden die aktuellen und zukünftigen Klimabedingungen mit der Analyse und Bewertung ausgesuchter Kompensationsmaßnahmen verbunden. Modellhaft wird dargestellt, ob deren Funktion auch unter klimatisch veränderten Bedingungen bestehen bleibt. Außerdem werden Möglichkeiten aufgezeigt, wie durch Anpassungsmaßnahmen das Erreichen der geoökologischen Zielsetzungen begünstigt werden kann. Da dabei auch Standortfaktoren einen wichtigen Einfluss auf die Vulnerabilität der Maßnahmen haben, kann eine Übertragbarkeit auf andere Kompensationsgebiete nur nach individueller Prüfung erfolgen.

3. Methodik

Konzeptionelle Bearbeitung

Der Schwerpunkt der Betrachtung liegt auf der Überprüfung der Zielerreichung der Kompensationsmaßnahmen unter klimatisch veränderten Bedingungen. Die Vorgehensweise ist in vier Arbeitsschritte unterteilt (Abb. 4):

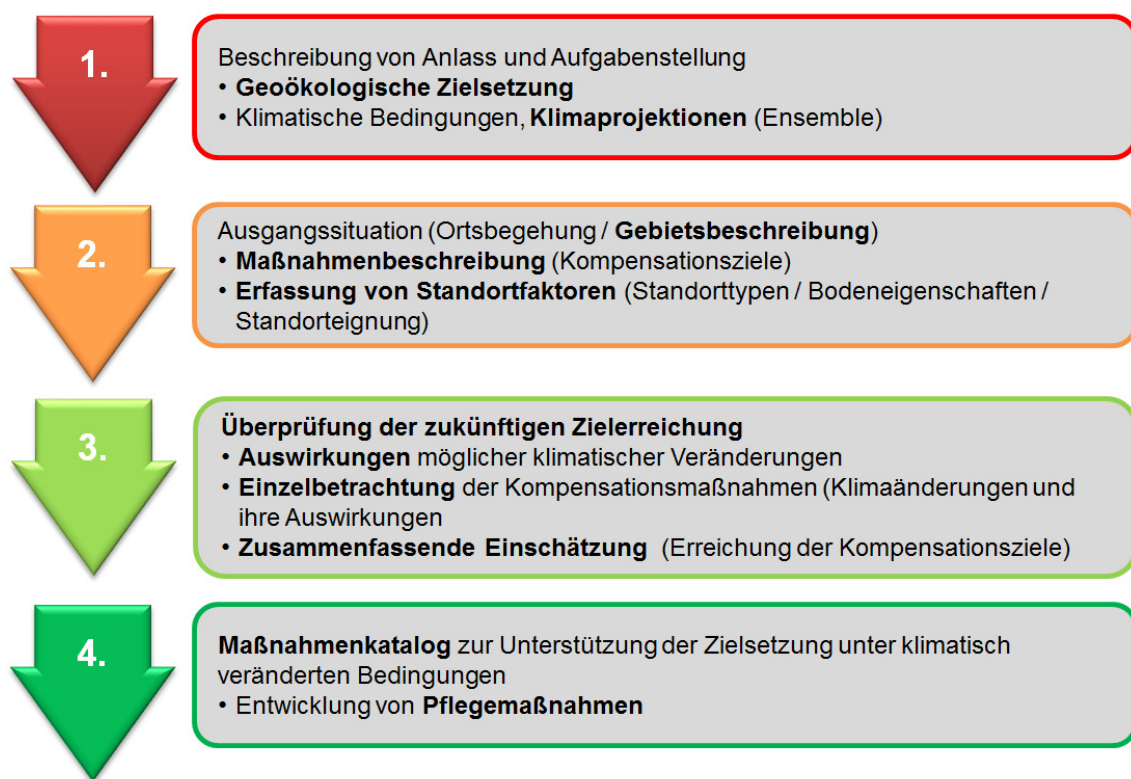


Abb. 4 Schematische Darstellung des methodischen Ansatzes (nach Lendner & Weber 2015).

Im **1. Arbeitsschritt** erfolgen die Beschreibung von Anlass und Aufgabenstellung sowie die Ermittlung der notwendigen Grundlagen. In diesem Fall werden aus den Erläuterungen des Landschaftsrahmenplans für den Planungsraum III (Ministerium für Umwelt, Natur und Forsten des Landes Schleswig-Holstein 2000) die übergeordneten **geoökologischen Zielformulierungen** entnommen und entsprechende Zielsetzungen für die Kompensationsmaßnahmen formuliert. Für die **zukünftigen klimatischen Verhältnisse** werden die EURO-CORDEX-Ensembles der Szenarien RCP2.6, RCP4.5 und RCP8.5 herangezogen.

Als **2. Arbeitsschritt** werden maßnahmenbezogene Ortsbegehungen durchgeführt, um Umsetzungen, Gestaltungen und Entwicklungsstände der Kompensationsmaßnahmen festhalten sowie das Untersuchungsgebiet und die **Maßnahmen beschreiben** zu können. Zusätzlich werden Unterlagen, wie Anträge oder kommunale Verfahrensbeschreibungen ausgewertet, um die Ausgangssituationen der Maßnahmen darzustellen. In enger Anlehnung an die Unterlagen und die übergeordneten

Zielsetzungen werden die jeweiligen Kompensationsziele der Maßnahmen ausformuliert sowie **Standortfaktoren** (wie Standorttypen und Bodeneigenschaften) einzelner Kompensationsgebiete identifiziert.

Box 5 Beispiel für die Ermittlung von Baum- und Pflanzenarten sowie Standortfaktoren.

Durch Ortsbegehungen sowie Dokumentenanalyse erfolgt die Ermittlung der Baum- und Pflanzenarten sowie Standortbodentypen. Unter Bezugnahme der Fachliteratur (z.B. Ellenberg & Leuschner 2010) werden Standortfaktoren für die jeweils gepflanzten sowie sich selbst entwickelten Arten ermittelt. Im nachfolgenden Bericht werden die Wärmezahl beziehungsweise Temperaturzahl (T) (Vorkommen in Wärmegefälle von der nivalen Stufe bis in die wärmsten Tieflagen) und die Kontinentalitätszahl (K) (Vorkommen im Kontinentalitätsgefälle von der Atlantikküste bis ins Innere Eurasiens) verwendet.

Der **3. Arbeitsschritt** beinhaltet eine Expertenanalyse. Zunächst werden in einer singulären analytischen Betrachtung der Klimaparameter Rückschlüsse zu den **Auswirkungen der klimatisch veränderten Bedingungen** auf die Kompensationsmaßnahmen gezogen. Die jeweiligen Zielsetzungen der Maßnahmen werden unter den ausgewählten klimatischen Bedingungen (heute und 2050) gutachterlich unter Bezugnahme von Fachliteratur, durch **Einzelfallbegutachtung**, Expertenwissen und/oder logische Ableitungen sachlich-argumentativ abgewogen. Als Klimaparameter werden in diesem Ansatz die mittlere Temperatur, die mittleren Niederschlagsmengen, die saisonale Verteilung des mittleren Niederschlags, die Anzahl der Starkregenereignisse und die mittlere Länge der Vegetationsperiode herangezogen. Es werden jeweils die möglichen Auswirkungen der Veränderungen einzelner Parameter sowie von Parametergruppen gutachterlich abgeschätzt, um weitere Folgen, wie Veränderungen bei den Grundwasserständen, aufzuzeigen. Dadurch wird eine **breit gefächerte Einschätzung** der ökologischen Auswirkungen durch die sich veränderten Parameter ermöglicht.

Im **4. Arbeitsschritt** wird ein **Maßnahmenkatalog** erarbeitet, der Vorschläge enthält, wie bei einer voraussichtlichen Nichterreichung beziehungsweise einer partiellen Erreichung der Ziele aufgrund der Folgen des Klimawandels, die Zielumsetzungen durch rechtzeitige Anpassungsmaßnahmen dennoch erfüllt werden können. Dies beinhaltet unter anderem die Entwicklung von Maßnahmen, die bei Bedarf zur **Stabilisierung und Förderung der Entwicklungen** der Kompensationsmaßnahmen beitragen. Die Maßnahmenvorschläge dienen, mit Blick auf die Erreichung der Zielsetzungen der Kompensationsmaßnahmen, ausschließlich der ökologischen Pflege und Unterstützung der Biotope. Die Kosten möglicher und gegebenenfalls zusätzlicher Pflegemaßnahmen bleiben hier unberücksichtigt.

4. Erstaufforstung in Mielkendorf

Die Kompensationsmaßnahme der Landeshauptstadt Kiel „Erstaufforstung in Mielkendorf“ (Abb. 5) betrifft ein ca. 15 ha großes Areal in der Gemeinde Mielkendorf im Kreis Rendsburg-Eckernförde (Schleswig-Holstein).



Abb. 5 Erstaufforstung (links) sowie mit Abgrabung/Senke in Mielkendorf (Fotos: Lendner & Weber 2015).

4.1. Geoökologische Zielsetzung

Die grundlegenden Absichten der Maßnahme spiegeln sich in den übergeordneten, geoökologischen Zielen wider: **„Entwicklung von Laubbaumarealen sowie von Feuchtbiotopen bzw. Kleingewässern“**. Das Entwicklungsziel ist die Erhöhung des Laubbaumanteils der Wälder durch Erstaufforstung (Laubbaumareale auf zum Teil ehemaligen Ackerböden) sowie die Entwicklung beziehungsweise Schaffung von zwei Feuchtbiotopen, die sich im Zuge der Sukzession möglichst eigenständig in Senken entfalten sollen. Formal wird dadurch das Netz von Biotopverbänden verdichtet, natürliche Lebensräume gesichert, Kleingewässerbiotope entwickelt, Neuwald gebildet sowie die ökologische Funktion der Landschaft erhöht.

4.2. Ausgangssituation und Maßnahmen

Das Kompensations- und zugleich Aufforstungsgebiet liegt in der Gemeinde Mielkendorf in den forstlichen Wuchsgebieten „Schleswig Holstein/Ost“ und „Mittleres Hügelland“. Es ist Teil der „Westensee-Moräne“ und damit als Landschaftstyp geologisch hochwertig. Nördlich sowie nordwestlich des Gebietes schließen sich Waldflächen und der Hansdorfer See an. Die östliche Grenze bildet die Bundesautobahn A 215, der Süden wird durch eine Ortsstraße begrenzt, hinter der sich der Fluss Eider sowie Siedlungsgebiete der Ortschaft Mielkendorf befinden. Westlich schließen Ackerflächen an. Nach Norden steigt das Gelände des Kompensationsgebietes in Richtung eines Endmoränenzugs leicht an. In der Vergangenheit wurde die Fläche intensiv landwirtschaftlich genutzt.

Das Areal weist mehrere als Erstaufforstungsgebiet ausgewiesene Flächen mit bereits gepflanzten Obstbäumen sowie zwei abgegrabenen Senken auf. Das gesamte Kompensationsgebiet ist mit einem ca. 1,80 m hohen Wildschutzzaun versehen. Außerhalb des Schutzzaunes befindet sich durch Freihaltung von Bepflanzung ein schmaler Reitweg. Innerhalb des Schutzzaunes gibt es eine Durchwegung für Fußgänger, die durch Freihaltung von Bepflanzung erreicht wird sowie einen 3 m breiten und 1.130 m langen Wanderweg am westlichen und nördlichen Rand mit wassergebundener Decke. Die Durchwegung und der Wanderweg sind durch schmale Tore im Wildschutzzaun zugänglich.

Die 15 ha große Fläche soll im Zuge einer Erstaufforstung durch standortgerechte Laubbaumarten, zwei sich entwickelnde Feuchtbiotope sowie Sukzessionsflächen zu einer sogenannten Ökokontofläche umgestaltet werden (Abb. 6).

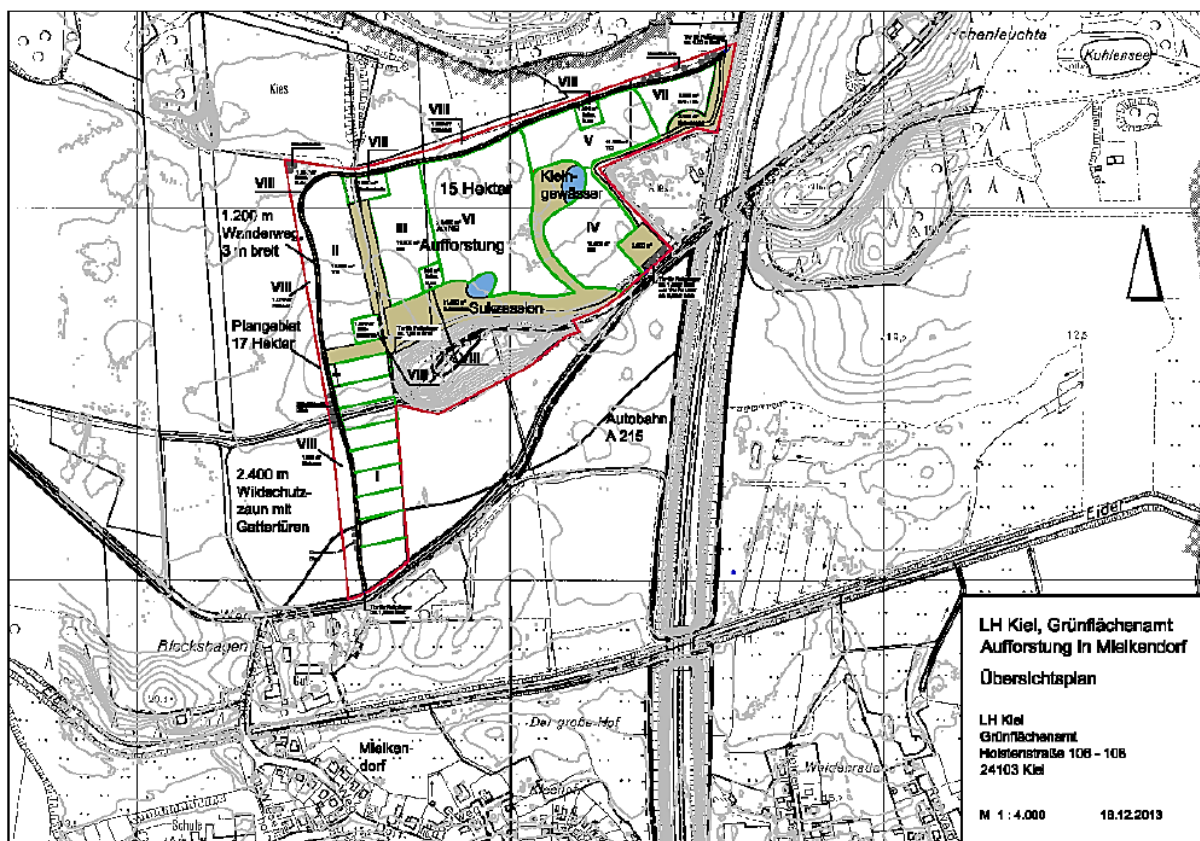


Abb. 6 Darstellung der Kompensationsfläche für die Erstaufforstung in Mielkendorf, (Quelle: Landeshauptstadt Kiel, Grünflächenamt 2013).

Im Sinne des Landschaftsrahmens für den Planungsraum III (Ministerium für Umwelt, Natur und Forsten des Landes Schleswig-Holstein 2000) wurden nur Laubbaumarten im Kompensationsgebiet gepflanzt. Die Erstaufforstung betrifft nicht die gesamte Fläche. Teile des Aufforstungsgebietes sind der Sukzession zu überlassen.

Die Bepflanzung am Standort soll in Abhängigkeit von der jeweiligen Bodenbeschaffung zukünftig ein Waldstück hervorbringen. Verwendet werden dazu besonders geeignete Baumarten wie **Bergahorn, Spitzahorn, Wildkirsche, Stieleiche, Hainbuche, Traubeneiche, Winterlinde, Esche, Bergulme und Roterle** (Landeshauptstadt Kiel, Grünflächenamt 2013).

Im Kompensationsgebiet wurden zwei ca. 1,75 bis 2,00 m tiefe Abgrabungen als Entwicklungsmöglichkeiten für Feuchtbiotope geschaffen. Die geplanten Feuchtbiotope werden der Sukzession überlassen, Initialbepflanzungen sind nicht vorgesehen. Die dauerhafte Wasserführung und Entwicklung der Feuchtbiotope ist von den Bodenverhältnissen abhängig. Zum Ausgleich für den Wanderweg wurden entlang seines Verlaufs über 20 Obstbäume als Hoch-/Halbstämme (mit Stammumfang von 10 bis 12 cm / 12 bis 14 cm) gepflanzt. Sie sollen dauerhaft gepflegt und erhalten werden.

4.3. Erfassung der Standortfaktoren

Standorttypen und Bodeneigenschaften

Für die Erfassung der Standorttypen wurden bereits im Vorfeld der Maßnahme zwölf Bohrungen und vier Bodeneinschläge durchgeführt. Die Bohrungen wurden entsprechend des niedersächsischen Standortkartierungsverfahrens beschrieben (Tab.7). Nach von Storch & Claussen 2011 eignen sich folgende Bepflanzungen für die jeweiligen Standorte:

- Bepflanzung von Standorten mit Geschiebemergel ohne Wasserüberschuss: besonders geeignet für Baumarten wie Spitz- und Bergahorn (ggf. auch Winterlinde und Bergulme) und Traubeneiche.
- Bepflanzung von Standorten mit Geschiebemergel mit Wasserüberschuss: besonders geeignet für Baumarten wie Spitz- und Bergahorn und wärmetolerante Arten wie Hainbuche, Stiel- und Traubeneiche sowie ggf. Winterlinde.
- Bepflanzung von Standorten mit reicheren Sanden (frisch bis mäßig frisch): besonders geeignet für Baumarten wie Traubeneiche, Hainbuche, Winterlinde, Spitz- und Bergahorn.
- Bepflanzung von grundwasserfernen Standorten mit reicheren Sanden: geeignet für Baumarten wie Steileiche, Hainbuche, Winterlinde, Spitz- und Bergahorn.

Tab. 7 Bodentypen und -eigenschaften (Quelle: Landeshauptstadt Kiel, Grünflächenamt 2013).

Standort	Standorttyp	Bodeneigenschaften	Größe [ha]
41.4+.81P	Geschiebemergel ohne Wasserüberschuss, reich, nachhaltig frisch bis frisch	frischer, ziemlich gut bis gut nährstoffversorgter Geschiebemergel über unverlehmtem Sand (Braunerden); Mergelböden (sandige, schwach tonige Lehm Böden mit kalkhaltigen Gesteinsresten); unverlehmte Sande (geschichtete Böden aus Feinsanden (mit gröberen kiesigen Schichten)); Oberboden mit ca. 30 cm mächtigem AP Horizont.	3,45
37.5.85P	Geschiebemergel mit Wasserüberschuss, reich, staufrisch	staufrische, gut nährstoffversorgte Geschiebelehme über Geschiebemergel (als Braunerde Pseudogley); Mergelböden (lehmige Tonböden); deckende Geschiebelehme (ca. 50 bis 70 cm mächtig) (sandig, tonige Lehm Böden); SD Horizont (in ca. 1,5 m Tiefe) staut etwa bis 60 cm unter GOK (kalkhaltige Gesteinsreste bereits in Oberboden vorhanden); im Oberboden auf gesamter Fläche ca. 30 cm mächtige AP Horizonte.	2,70
41.4.33PtCA	Reichere Sand, frisch bis mäßig frisch	frische bis mäßig frische, ziemlich gut nährstoffversorgte Geschiebedecksande (ca. 1 m Mächtigkeit über unverlehmten Sanden [Braunerden]); Geschiebedecksand (verlehmter Sand (mit kalkhaltigen Gesteinsresten); unverlehmte Sande im Unterboden (geschichtete Böden aus Feinsanden (mit gröberen kiesigen Schichten)); im Oberboden befinden sich auf gesamter Fläche ca. 30 cm mächtige AP Horizonte.	2,23
41.4+.33PgCA	Reichere Sand, frisch bis mäßig frisch	frische bis grundfrisch, ziemlich gut nährstoffversorgte Geschiebedecksande mit ca.1 m Mächtigkeit über unverlehmten Sanden (als Braunerden); Geschiebedecksand (verlehmter Sand (mit kalkhaltigen Gesteinsresten); unverlehmte Sande im Unterboden (geschichtete Böden aus Feinsanden (mit gröberen kiesigen Schichten)); Grundwasserstand in der VZ ist unter 1,5 m Tiefe; im Oberboden befinden sich auf gesamter Fläche ca. 30 cm mächtige AP Horizonte.	0,16
34.4+.33PtCA	Reichere Sande, grundwasserferne Standorte	grundfrisch, ziemlich gut bis gut nährstoffversorgte Geschiebedecksande (ca. 1 m Mächtigkeit über unverlehmten Sanden (Braunerde Gley); Geschiebedecksand (verlehmter Sand (mit kalkhaltigen Gesteinsresten); unverlehmten Sande im Unterboden (geschichtete Böden aus Feinsanden (mit gröberen kiesigen Schichten)); Grundwasserstand in der VZ ist unter 100 cm Tiefe (kann nach langen Trockenperioden deutlich weiter absinken); im Oberboden befinden sich auf der gesamten Fläche ca. 30 cm mächtige AP Horizonte.	1,17

Abkürzungen: AP-Horizont (Mutterboden, regelmäßig landwirtschaftlich bearbeitet); SD-Horizont (Stauwasser-sole); VZ (noch im Gesteinsverband befindliches, durch Mineralneubildung verändertes Gestein ohne Festgesteinseigenschaften); GOK (Geländeoberkante)

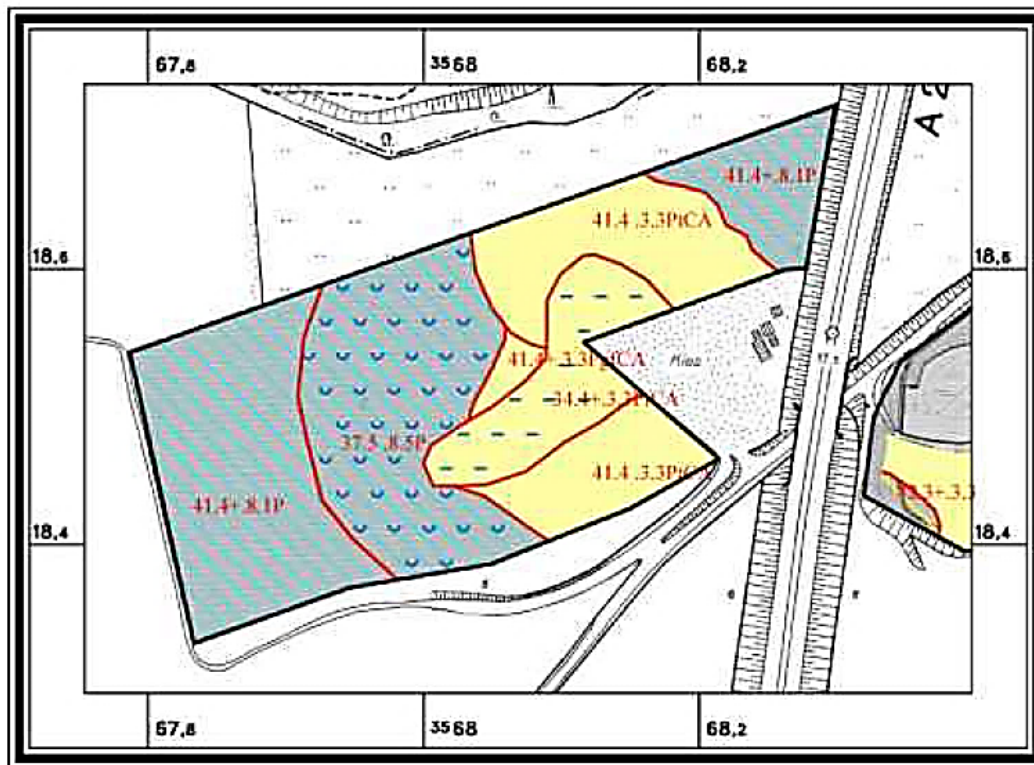


Abb. 7 Standorttypenkarte für den Standort Mielkendorf
(Quelle: Landeshauptstadt Kiel, Grünflächenamt 2013).

Standorteignung

Die Ermittlung der Eignung von Bäumen basiert auf der Verwendung der Wärme- bzw. Temperaturzahl (T), der Kontinentalitätszahl (K) und der Feuchtezahl (F). Damit werden das Vorkommen der Art im Wärmegefälle Europas, im Kontinentalitätsgefälle von der Atlantikküste bis ins Innere Eurasien (besonders im Hinblick auf die Temperaturschwankungen) und im Gefälle der Bodenfeuchtigkeit skizziert (Tab.8). Dieser Arbeitsschritt dient auch als Basis für die spätere Überprüfung der Zielsetzungen der Erstaufforstung unter klimatisch veränderten Bedingungen.

Der **Spitzahorn** und die **Hainbuche** (mittlere Wärmezahl $T = 6$) finden gute Standortvoraussetzungen in mäßig warmen (bis warmen), tiefen bis hügeligen Lagen. Im nördlichen Mitteleuropa finden diese Baumarten jedoch nur in relativ warmen Tiefenlagen beste Voraussetzungen. Bezogen auf das Kontinentalitätsgefälle ($K = 4$) finden sie gute Standortbedingungen in subozeanischen Lagen mit Schwerpunkt in Mitteleuropa. Für den Standortfaktor Bodenfeuchtigkeit ($F = x$) sind keine Trends erkennbar, da sich die Arten lokal sehr unterschiedlich Verhalten (Ellenberg & Leuschner 2010).

Der **Bergahorn** weist keinen klaren temperaturspezifischen Bezug auf ($T = x$). Seine Kontinentalitätszahl ($K = 4$) deutet auf eine bevorzugte Ansiedlung in subozeanischen Gebieten (Mitteleuropa gen Osten laufend) hin. Mit $F = 6$ benötigt er einen

mittelfeuchten bis gut durchfeuchteten Boden als optimale Lebensverhältnisse (Ellenberg & Leuschner 2010).

Die **Roterle** (T = 5) hat beste Standortbedingungen in mäßig warmen, d.h. tiefen bis montanen Lagen. Mit K = 3 ist sie ozeanisch bis subozeanisch ausgerichtet und größtenteils in Mitteleuropa anzutreffen. Mit einer Feuchtezahl von 9 benötigt sie möglichst durchnässte (luftarme) Böden mit mehr oder minder regelmäßig stattfindenden Überschwemmungen (Ellenberg & Leuschner 2010).

Tab. 8 Standortfaktoren nach Ellenberg & Leuschner (2010) – Mielkendorf.

Baumart (Name)	L	T	K	F	R	N	S	LF	LF_B
Spitzahorn (<i>Acer platanoides</i>)	4	6	4	X	X	X	0	P	S
Bergahorn (<i>Acer pseudoplatanus</i>)	4	X	4	6	X	7	0	P	S
Roterle (<i>Alnus glutinosa</i>)	5	5	3	9=	6	X	1	P	S
Hainbuche (<i>Carpinus betulus</i>)	4	6	4	X	X	X	0	P	S
Esche (<i>Fraxinus excelsior</i>)	4	5	3	X	7	7	0	P	S
Wildkirsche (<i>Prunus avium</i>)	4	5	4	5	7	5	0	P	S
Traubeneiche (<i>Quercus petraea</i>)	6	6	2	5	X	X	0	P	S
Stieleiche (<i>Quercus robur</i>)	7	6	6	X	X	X	0	P	S
Winterlinde (<i>Tilla platyphyllos</i>)	4	6	2	6	X	7	0	P	S
Bergulme (<i>Ulmus glabra</i>)	4	5	3	6	7	7	0	P	S

Lichtzahl (L): Vorkommen in Beziehung zur relativen Beleuchtungsstärke. Maßgebend ist für alle Arten die an dem Wuchsort z.Z. voller Belaubung der sommergrünen Pflanzen (ca. Jul bis Sep) bei diffuser Strahlung (d. h.: bei Nebel bzw. gleichmäßig bedecktem Himmel herrscht).

Wärmezahl/Temperaturzahl (T): Vorkommen in Wärmegefälle von der nivalen Stufe bis in die wärmsten Tieflagen) unter Berücksichtigung der Punktrasterkarten in den Verbreitungsatlantiden der mitteleuropäischen Flora).

Kontinentalzahl (K): Vorkommen im Kontinentalitätsgefälle von der Atlantikküste bis ins Innere Eurasiens, besonders im Hinblick auf die Temperaturschwankungen.

Feuchtezahl (F): Vorkommen im Gefälle der Bodenfeuchtigkeit von flachgründig-trockenen Felshang bis zum Sumpfboden sowie von seichtem bis zum tiefen Wasser.

= (Gleichzeichen): Überschwemmungsanzeiger (auf mehr oder minder regelmäßig überschwemmten Böden).

Reaktionszahl (R), Stickstoffzahl (N), Salzzahl (S)

Lebensform (LF): P = Phanerophyt (Baum, der mehr als 5 m hoch werden kann).

Blattausdauer (LF B): S = sommergrün (nur in der wärmeren Jahreszeit mit grünen Blättern).

X: indifferentes Verhalten (weite Amplitude / ungleiches Verhalten in verschiedenen Gegenden)

Die **Esche** findet optimale Standortvoraussetzungen in mäßig warmen (tiefen bis montanen) Lagen (T = 5). Ebenso wie die Roterle (K = 3) ist sie ozeanisch bis subozeanisch ausgerichtet, d.h. in großen Teilen Mitteleuropas beheimatet). Für den Standortfaktor Bodenfeuchtigkeit (F = x) sind keine eindeutigen Trends erkennbar (Ellenberg & Leuschner 2010).

Die **Wildkirsche** findet optimale Standortbedingungen in mäßig warmen, d.h. tiefen bis montanen Lagen (T = 5) bzw. gute Voraussetzungen in subozeanischen Lagen (mit Schwerpunkt in Mitteleuropa, ostwärts gerichtet) (K = 4). Darüber hinaus sind weitere gute Voraussetzungen mittelfeuchte Böden, jedoch nicht nasse sowie öfter austrocknende Böden (F = 5) (Ellenberg & Leuschner 2010).

Die **Traubeneiche** sowie die **Winterlinde** finden gute Standortbedingungen in mäßig warmen (bis warmen) tiefen bis hügeligen bzw. montanen Lagen (T = 6) und sind ozeanisch ausgerichtet (mit Schwerpunkt im westlichen Mitteleuropa) (K = 2). Die Traubeneiche (F = 5) und die Winterlinde (F = 6) weisen mittlere Feuchtezahlen auf und finden gute Standortbedingungen in mittelfeuchten Böden bzw. mittelfeuchten bis annähernd gut durchfeuchteten Böden vor (Ellenberg & Leuschner 2010).

Die **Stieleiche** findet optimale Standortbedingungen in mäßig warmen (bis warmen), tiefen bis hügeligen Gebieten (T = 6) bzw. in subkontinentalen Gefällen (mit Schwerpunkt im östlichen Mittel- und angrenzenden Osteuropa) (K = 6). Für den Standortfaktor Bodenfeuchtigkeit (F = x) sind dagegen keine Trends erkennbar, da sich die Art lokal sehr unterschiedlich verhält (Ellenberg & Leuschner 2010).

Die **Bergulme** findet hinsichtlich des Wärmegefälles (T = 5) optimale Standortvoraussetzungen in mäßig warmen (tiefen bis montanen) Gebieten vor. Sie ist ozeanisch bis subozeanisch ausgerichtet (d.h. in großen Teilen Mitteleuropas beheimatet) (K = 3). Mit Blick auf die Bodenfeuchte (F = 6) benötigt die Bergulme mittelfeuchte (nicht nass oder öfter austrocknend) bis gut durchfeuchtete (nicht nasse) Böden (Ellenberg & Leuschner 2010).

Die am Standort gepflanzten Baumarten **Bergahorn, Spitzahorn, Wildkirsche, Stieleiche, Hainbuche, Traubeneiche (aber auch Winterlinde, Esche, Bergulme, Roterle)** sind besonders geeignet für die Aufforstung der Fläche bei Mielkendorf (Landeshauptstadt Kiel, Grünflächenamt 2013).

4.4. Überprüfung und Einschätzung der zukünftigen Zielerreichung

4.4.1. Mögliche klimatische Auswirkungen auf das lokale Ökosystem

Im Vergleich der modellierten historischen (1976 – 2005) und zukünftigen Daten (2021 – 2050) zeigen die Simulationen für die Region um Kiel (hier Kompensationsgebiet Mielkendorf) folgende Veränderungen: Die mittlere Temperatur wird tendenziell von 7,5 bis 8,8°C auf 8,6 bis 10,3°C ansteigen. Der mittlere Niederschlag pro Tag wird sich geringfügig ändern (von 1,9 bis 2,9 mm/d auf 2,0 bis 3,0 mm/d), allerdings werden sich die Niederschläge ungleich auf das Jahr verteilen. Zudem ist bei den Niederschlägen zu beachten, dass diese zeitlich und räumlich heterogen verteilt sind.

Beim Auftreten von Starkregenereignissen ist von geringfügigen Veränderungen auszugehen. Gleiches gilt für Auftreten und Länge von Trockenperioden. Für die Vegetationsperiode zeigt sich eine tendenzielle Entwicklung hin zu einem früheren Beginn sowie zu einem Anstieg der mittleren Länge.

Starkregen im Frühling, Herbst und Winter rufen, aufgrund einer möglichen Vorrückung des Bodens, voraussichtlich keine bzw. nur eine geringe Grundwasserneubildung hervor (Mosbrugger et al. 2014). Dies kann insgesamt zu einem Absinken des mittleren jährlichen Grundwasserspiegels führen. Zusätzlich verstärken Starkregenereignisse punktuell die Bodenerosion. Beide Prozesse beeinträchtigen die Aktivität der Bodenfauna und -flora sowie die Bodenstruktur. Eine weitere Begleiterscheinung des Klimawandels kann Trockenstress im Sommer sein, welcher durch entsprechende Klimaänderungen begünstigt wird.

Klimatisch veränderte Bedingungen – wie längere Vegetationsperioden – können einerseits positive Auswirkungen wie ein erhöhtes Pflanzenwachstum haben. Andererseits hat der Trockenstress, welcher insbesondere in den Sommermonaten entstehen kann, auch negative Folgen für Ökosysteme. Im Hinblick auf Baumarten gelten Rotbuche, Sandbirke, Spitz- und Bergahorn, Bergulme und Winterlinde als klimawandeltauglich. Wärmetolerierende Baumarten wie beispielsweise Stiel- und Traubeneiche, Hainbuche, Sommerlinde und Gemeine Esche profitieren von einem wärmer werdenden Klima. Arten wie Fichte und Kiefer werden in Mitteleuropa hingegen allgemein als Risikobaumarten eingestuft (Moosbrugger et al. 2014).

Die projizierten Klimaveränderungen bilden für Feuchtbiootope, im Vergleich zu den Laubbaumarealen, deutlich größere Herausforderungen. Sinkende Grundwasserstände beziehungsweise fallende Wasserstände der Oberflächengewässer bis hin zum Austrocknen von Feuchtbiotopen erhöhen deutlich den Wasserstress. Zudem können Verkrautungen und/oder stark bewachsene Uferzonen zur Sedimentation, Verlandung und Verschlechterung der Wasserqualität führen. Hohe Nährstoffeinträge, geringere Verdünnung von Wasserinhaltsstoffen und ein geringer Sauerstoffanteil können zum Absterben von Arten und somit zum Rückgang der Artenvielfalt führen. Die projizierten Klimaveränderungen deuten generell auf trockenere Sommer, wärmere und zugleich feuchtere Winter und Herbste sowie längere Vegetationsperioden hin. Auch wenn der mittlere Niederschlag geringfügig ansteigt, so kann die saisonale Umverteilung der Niederschläge und die Zunahme der Starkregenereignisse, die kurzfristig viele Wassermassen beinhalten, die Gefahr von Trockenstress steigern. Während Laubbaumareale bzw. das Waldökosystem im Kompensationsgebiet dadurch weniger in der Entwicklung beeinträchtigt wird, werden Feuchtbiootope dadurch vor größere Schwierigkeiten gestellt.

4.4.2. Einzelbetrachtung der Kompensationsmaßnahme Erstaufforstung

Das genannte Entwicklungsziel („Erhöhung des Laubbaumanteils der Wälder durch Erstaufforstung“) kann voraussichtlich auch bei den projizierten Klimaveränderungen erreicht werden. Die Laubbaumareale im Kompensationsgebiet werden vermutlich keine dem Entwicklungsziel entgegenstehenden Beeinträchtigungen erfahren (Tab. 9).

Durch die Erstaufforstung können sich Laubbaumareale im Kompensationsgebiet entwickeln, da die gewählten Baumarten gute Standortbedingungen in mäßig warmen, tiefen bis hügeligen Lagen vorfinden und sie geringfügig ansteigende Temperaturen sowie mittlere Niederschlagsmengen tolerieren bzw. sie sich im Zuge ihres Wachstums an die Veränderungen anpassen können. Die Toleranzschwelle der Laubbäume (auch des Waldökosystems) kann in Wechselwirkung mit anderem Klimaparametern dennoch überschritten werden, da sich die Niederschlagsmuster verändern (Moosbrugger et al. 2014).

Die gepflanzten Bäume finden gute Standortvoraussetzungen in mittelfeuchten bis gut durchfeuchteten Böden. Die frischen bis mäßig frischen, ziemlich gut nährstoffversorgten Böden am Standort werden durch den Anstieg des mittleren Niederschlags weiterhin annähernd gleichbleibende Bedingungen aufweisen. Demgegenüber wäre ein Rückgang des mittleren Niederschlags weitaus problematischer, da dies – verursacht durch eine höhere Verdunstung, eine geringere Wasserverfügbarkeit im Sommer, sowie das zeitweise Austrocknen der Böden – zu Entwicklungsproblemen bei der Neuwaldbildung führen könnte.

Tab. 9 Klimaänderungen und ihre Auswirkungen (+: positiv; 0: keine; -: negativ) auf die Erstaufforstung.

Klimaänderung Vergleich 1976 – 2005 mit 2021 – 2050	Auswirkungen
Ansteigender Trend bei der mittleren Temperatur (von 7,5 bis 8,8 °C auf 8,6 bis 10,3°C)	<ul style="list-style-type: none"> + Der Laubwaldanteil wird sich trotz steigender Temperaturen erhöhen. - Durch die ansteigende mittlere Temperatur wird sich der Verdunstungsgrad im Kompensationsgebiet zeitweise erhöhen. - Die Überlebensrate von Schädlingen (wie z.B. Mäuse) im Winter wird sich erhöhen (Essl & Rabitsch 2013).
Geringfügige Änderungen bei der mittleren Niederschlagsmenge (von 1,9 bis 2,9 mm/d auf 2,0 bis 3,0 mm/d)	<ul style="list-style-type: none"> + Erhöhte Niederschlagsmengen erhöhen die Widerstandsfähigkeit einzelner Wirtsbäume gegenüber Krankheitserregern. - Durch höhere Niederschlagsmengen können sich gebietsfremde Pilze und Parasiten ausbreiten. Die Sporulation (Prozess der Sporenbildung bei Mikroorganismen, Bakterien und Pilzen) kann zunehmen und Infektionsbedingungen gestalten sich günstiger (Essl & Rabitsch 2013).

Klimaänderung Vergleich 1976 – 2005 mit 2021 – 2050	Auswirkungen
Veränderte saisonale Niederschlagsverteilung	<ul style="list-style-type: none"> - Saisonale Veränderungen des mittleren Niederschlags können die Trockenheit im Sommer begünstigen. Dies kann den Wald schaden und die Waldbrandgefahr erhöhen. 0 Die gepflanzten Baumarten verfügen (teilweise) über eine Toleranz gegenüber der Bodenfeuchte oder benötigen mittelfeuchte Böden. Es wird voraussichtlich mehr mittlerer Niederschlag im Kompensationsgebiet fallen als 1975-2005, so dass die vorhandenen, größtenteils frischen bis mäßig frischen Böden wahrscheinlich nicht austrocknen werden. Ausnahmen können längeren Trockenperioden darstellen. 0 Die gepflanzten Bäume weisen i.d.R. eine gewisse Wärmetoleranz auf, was eventuell ein Hinweis darauf ist, dass sie auch mögliche Trockenperioden überstehen können (Brune 2016). 0 Da die Maßnahmen in einem Flachlandgebiet liegen, ist nicht davon auszugehen, dass es aufgrund wassergesättigter Böden zu einem Verlust der Standfestigkeit bei den Bäumen kommt.
Geringfügige Änderungen beim Auftreten von Starkregen (von 0,8 bis 2,2 pro Jahr auf 1,0 bis 2,5 pro Jahr)	<ul style="list-style-type: none"> - Starkregen verursachen Überschwemmungen und fördern Erosion und Sporulation, was wiederum die Bäume schwächt und die Anfälligkeit gegenüber Krankheitserregern erhöht (Essl & Rabitsch 2013). 0 Die geringfügigen Veränderungen bei der Anzahl der Starkregenereignisse werden sich nicht negativ auf die Entwicklung der Laubbaumareale im Kompensationsgebiet auswirken. Starkregen tragen nur gering zum Auffüllen der Wasserreserve bei, da der Großteil des Niederschlags an der Oberfläche abfließt. [Gleiches gilt für wassergesättigte, gefrorene und ganz trockene Böden].
Erhöhte Temperatur + veränderte saisonale Niederschlagsverteilung	<ul style="list-style-type: none"> - Wärmere, feuchtere Winter und Herbstmonate erhöhen das Risiko der Verbreitung von Schädlingen und Krankheiten. Zudem steigt die Wahrscheinlichkeit der Etablierung gebietsfremder Krankheitserreger und Schwächeparasiten (ggf. aus wärmeren Klimazonen). - Bei verlängerten Vegetationsperioden besteht die Gefahr der Erhöhung des Verdunstungsgrades wodurch der Trockenstress steigen und die Entwicklung der Laubbaumareale beeinträchtigt werden kann.
Anstieg der mittleren Länge der Vegetationsperiode (von 215 bis 258 Tage auf 241 bis 303 Tage)	<ul style="list-style-type: none"> + Eine Verlängerung der Vegetationsperiode begünstigt die Entwicklung der Laubbaumareale, da z.B. der positive Einfluss auf Antagonisten von Krankheitserregern sowie die Widerstandskraft der Wirtsbäume steigt. - Verlängerte Vegetationsperioden fördern die Bildung und Lebenszyklen von Krankheitserregern und Schädlingen (Essl & Rabitsch 2013).

4.4.3. Einzelbetrachtung der Kompensationsmaßnahme Feuchtbiotope/Kleingewässer

Das Ziel „Entwicklung von zwei Feuchtbiotopen im Zuge der Sukzession“ kann nicht vorbehaltlos unter klimatisch veränderten Bedingungen erreicht werden (Tab. 10). Die Veränderung einiger Klimaparameter bzw. die kombinierte Wirkung mehrerer Parameter kann negative Folgen für die Feuchtbiotope haben.

Die Feuchtbiotope sollen sich nach der angelegten Abgrabung im Laufe der Zeit selbst entwickeln (durch Sukzession). Eine Befüllung der Senken mit Wasser sowie Initialbepflanzungen sind nicht vorgesehen. Steigende Temperaturen und Veränderungen im lokalen Wasserkreislauf (quantitativer wie auch qualitativer Art) werden diese Entwicklung aber negativ beeinflussen. Die wichtigsten Aspekte sind hierbei: veränderte saisonale Niederschlagsverteilung, im Sommer verringerte Verdünnungsleistung des Gewässers in Bezug auf Wasserinhaltsstoffe, der Einfluss von Starkregenereignissen auf Stoffeinträge bzw. das ungenügende Auffüllen der Wasserreserven.

Tab. 10 Klimaänderungen und ihre Auswirkungen (+: positiv; 0: keine; -: negativ) auf Feuchtbiotope und Kleingewässer.

Klimaänderung Vergleich 1976 – 2005 mit 2021 – 2050	Auswirkungen
Ansteigender Trend bei der mittleren Temperatur (von 7,5 bis 8,8 °C auf 8,6 bis 10,3°C)	<ul style="list-style-type: none"> - Verdunstungsgrad erhöht sich, dadurch ist die Befüllung der Senken mit Wasser nicht permanent gewährleistet. Dies gefährdet die Ansiedlung limnischer Spezies. - Die Wassertemperatur wird sich ebenfalls erhöhen.
Geringfügige Änderungen bei der mittleren Niederschlagsmenge (von 1,9 bis 2,9 mm/d auf 2,0 bis 3,0 mm/d)	<ul style="list-style-type: none"> + Prinzipiell beeinflussen höhere Niederschlagsmengen die eigenständige Entwicklung eines Stillgewässers positiv. - Der Nährstoffeintrag in das Biotop wird verstärkt, wodurch sich die Biomasseproduktion erhöht. Dies kann die Biodiversität negativ beeinflussen.
Veränderte saisonale Niederschlagsverteilung	<ul style="list-style-type: none"> - Die Wassersäule schwankt zwischen einem erhöhten Stand im Winter bis zu einem niedrigen bis ausgetrockneten Zustand im Sommer. Die geringe Wassersäule im Sommer führt zu steigendem Trockenstress und zu zeitweise hohen Nährstoffkonzentrationen, was das Wachstum von Schädlingen und Krankheitserregern bzw. die Verkrautung begünstigt. - Die unterschiedlichen Wasserstände beeinflussen zudem die Licht- und Sauerstoffverfügbarkeit (Mosbrugger et al. 2014), was die Artenvielfalt im Gewässer ebenfalls beeinflusst.

Klimaänderung Vergleich 1976 – 2005 mit 2021 – 2050	Auswirkungen
Geringfügige Änderungen beim Auftreten von Starkregen (von 0,8 bis 2,2 pro Jahr auf 1,0 bis 2,5 pro Jahr)	<ul style="list-style-type: none"> - Durch Starkregen findet ein vermehrter Eintrag von Nährstoffen statt, was das Wachstum von Schädlingen und Krankheitserregern begünstigt. - Die durch Starkregen verstärkte Erosion kann zur Verdrängung standort-typischer Arten führen zudem können große Wassermengen den Bewuchs zerstören. - Starkregenereignisse tragen nur gering zur Auffüllung der Wasserreserven bei. Dies begünstigt die Austrocknung/Verlandung der Feuchtbiotope im Sommer.
Erhöhte Temperatur + veränderte saisonale Niederschlagsverteilung + Starkregenereignisse	<ul style="list-style-type: none"> - Überschüssige Wassermengen können evtl. nicht gespeichert werden. Es treten damit häufiger Extreme auf: kein Wasser bzw. zu viel Wasser vorhanden. Die Folge ist, dass sich nur schwer eine stabile Wassersäule der Feuchtbiotope aufbauen kann. - Im Sommer treten häufiger geringeren Wassersäulen auf, bei gleichzeitig steigenden Nährstoffkonzentrationen (geringere Verdünnungsleistung).
Anstieg der mittleren Länge der Vegetationsperiode (von 215 bis 258 Tage auf 241 bis 303 Tage)	<ul style="list-style-type: none"> + Eine Verlängerung der Vegetationsperiode wirkt sich auf die Entwicklung der Feuchtbiotope eher positiv aus. Arten und Populationen der Feuchtbiotope – gerade mit Blick auf ihre Eigenständigkeit (Sukzession) – können davon profitieren. - Unerwünschte Arten (invasive Arten, Schädlinge, Krankheitserreger) profitieren gleichermaßen, sodass eine Verdrängung lokaler Arten möglich ist. - Durch Verkrautung kann sich die Biomasseproduktion, Sedimentation sowie Verlandung erhöhen. Dies kann insgesamt zum Verlust der Biodiversität führen.

Bedingt durch den steigenden Trockenstress im Sommer (erhöhte Verdunstung, weniger Niederschläge) wird die Entwicklung limnischer und aquatischer Arten erschwert. Steigende Nährstoffkonzentrationen begünstigen zudem das Wachstum von Algen (Gefahr der Eutrophierung), Schädlingen sowie Krankheitserregern.

4.4.4. Zusammenfassende Einschätzung

Ausgehend von den projizierten geringfügigen Klimaveränderungen in Schleswig-Holstein bzw. im Kompensationsgebiet werden sich voraussichtlich keine erheblichen Folgen für die Neuwaldbildung bzw. Waldentwicklung ergeben (Tab. 11). Die (Erst-) Aufforstungen in der Gemeinde Mielkendorf (Zielsetzung: „Erhöhung des Laubbaumanteils der Wälder durch Erstaufforstung“) werden sich auch unter klimatisch veränderten Bedingungen zu Laubbaumarealen entwickeln. Die klimatischen Veränderungen können sogar für zusätzliche positive Begleiterscheinungen, wie beispielsweise verbesserte Standort- bzw. Entwicklungsbedingungen für bestimmte

Baumarten durch verlängerte Vegetationsperioden sorgen. Das Entwicklungsziel kann durch die Erstaufforstung erreicht werden, so dass bis 2050 Laubbaumareale im Kompensationsgebiet der Gemeinde Mielkendorf möglich sind.

Tab. 11 Negative Auswirkungen (hoch/gering/keine) auf die Zielerreichung im Ökosystem.

Klimaparameter [Trend des Klimawandels]	Wald (Laubbaumareal)	Feuchtbiotop (Kleingewässer)
Mittlere Temperatur [ansteigender Trend]	GERING - KEINE	HOCH
Mittlerer Niederschlag [geringfügiger Anstieg]	KEINE	GERING - KEINE
Veränderter Jahresgang des Niederschlags	GERING	HOCH
Starkregenereignisse [geringfügiger Anstieg]	KEINE	HOCH
Mittlere Temperatur [ansteigender Trend] + veränderter Jahresgang des Niederschlags + Starkregenereignisse [geringfügiger Anstieg]	HOCH - GERING	HOCH
Mittlere Länge der Vegetationsperiode [Anstieg]	GERING - KEINE	GERING - KEINE

Als schwieriger ist die (eigenständige) Entwicklung der Feuchtbiotope (Zielsetzung „Entwicklung von zwei Feuchtbiotopen im Zuge der Sukzession“) zu bewerten. Durch das zeitweise Fehlen einer ausreichenden Wassersäule in den Senken, insbesondere während längerer Trockenperioden im Sommer, ergeben sich negative Effekte für die limnischen Arten. Die durch die höheren Temperaturen ansteigenden Verdunstungsraten werden die Wasserstände im Biotop und die Konzentrationen der gelösten Nährstoffe beeinflussen. Folgewirkungen können Verkräutung, Sedimentation und Verlandung sein. Um die Zielsetzung dennoch erreichen zu können, müssen gegebenenfalls zusätzliche (Pflege-)Maßnahmen eingeplant werden, um den Entwicklungsprozess zu unterstützen.

4.5. Maßnahmenkatalog zur Unterstützung oder Realisierung der Zielsetzungen unter klimatisch veränderten Bedingungen

4.5.1. Pflegemaßnahmen für Erstaufforstung/Laubbaumareal

Die aufgeführten Klimaveränderungen, speziell die Wechselwirkungen zwischen einzelnen Klimaparametern (ansteigender Trend bei der mittleren Temperatur + veränderter Jahresgang des Niederschlags + geringfügiger Anstieg der Starkregenereignisse), können das Erreichen des Entwicklungsziels der Erstaufforstungsmaßnahme „Erhöhung des Laubbaumanteils der Wälder durch Erstaufforstung“ beeinflussen. Gerade unerwünschte Arten, Krankheitserreger und Schädlinge können sich unter bestimmten Bedingungen in den Laubbaumarealen ansiedeln und

verbreiten. Darüber hinaus kann auch möglicher Trockenstress im Sommer negative Auswirkungen auf die Entwicklungsphase der Laubbäume haben. Im Folgenden werden Vorschläge zur Pflege und Unterstützung der Entwicklung der Laubbaumareale sowie zur Abwehr von Gefahrenpotenzialen dargestellt.



Abb. 8 Erstaufforstung (Jungbäume) in Mielkendorf (Foto: Lendner & Weber 2015).

Maschinelle und manuelle Kulturpflege der Jungbäume: Durch eine Verlängerung der Vegetationsperiode können sich die Wachstumsbedingungen in den Laubbaumarealen für Pflanzen verbessern – insbesondere im Hinblick auf die unerwünschten Arten. Durch Mähen, Sensen und Freischneiden können die jungen Bäume von der Konkurrenz durch Gräser, dem Geflecht der Brombeere usw. freigehalten werden (Staatsbetrieb Sachsenforst 2012).

Jungwuchspflege, Jungbestandspflege und Dickungspflege (Läuterung): Eine Verlängerung der mittleren Vegetationsperiode kann zu verbesserten Wachstumsbedingungen für Pflanzen führen; eine erhöhte Anzahl von Starkregenereignissen hingegen zu vermehrten Baumbrüchen. Zur Pflege und Weiterentwicklung der jungen Waldbestände, gerade im fortschreitenden Alter, eignen sich insbesondere Maßnahmen wie die Jungwuchspflege zur Gefahrenabwehr (Vermeidung von Sturmholz) und zur Wuchsförderung. Darüber hinaus kann mit Hilfe der Läuterung der Bestand in der Fortwirtschaft reguliert werden (z.B. durch Entfernen von Konkurrenten usw.).

Entfernung standortfremder Arten: Ein Verlängerung der Vegetationsperioden in Verbindung mit einem Anstieg des mittleren Niederschlags hat signifikante Auswirkungen auf das Waldökosystem, beispielsweise durch ein verstärktes Wachstum erwünschter und unerwünschter Arten. Um Konkurrenzen zwischen den gepflanzten und standortfremden Baumarten sowie die mögliche Verbreitung standortfremder Schädlinge und Krankheitserreger zu vermeiden, können in den

Laubbaumarealen bei Bedarf Fremdarten – möglichst in einem frühen Stadium – entfernt oder geschlagen werden.

Vermeidung oder Reduzierung von Schädlingsbefall: Höhere mittlere Temperaturen in Verbindung mit längere mittlere Vegetationsperioden und sich verändernden Niederschlagsmustern begünstigen zeitweise die Verbreitung von Pilzen und Schädlingen. Um einem möglichen Schädlingsbefall entgegenzuwirken, können bei Bedarf Insektenfallen (beispielsweise für den Borkenkäfer, Eichenprozessionsspinner) aufgestellt werden.

Bewässerung: Durch die saisonale Verschiebung der Niederschläge und den Anstieg der mittleren Temperatur, kann sich der Trockenstress im Sommer erhöhen. Um dem entgegenzuwirken, können gerade Jungbäume und kleine Sträucher zusätzlich, d.h. temporär und nach Bedarf, bewässert werden, um das Wachstum zu unterstützen und die Waldbrandgefahr zu reduzieren.

4.5.2. Pflegemaßnahmen für Feuchtbiotope/Kleingewässer

Die projizierten Klimaänderungen können das Ziel der Kompensationsmaßnahme „Entwicklung von zwei Feuchtbiotopen im Zuge der Sukzession“ in mehrfacher Hinsicht beeinträchtigen. Erhöhte Nährstoffeinträge, die größere Verbreitung von Schädlingen und Krankheitserregern sowie Wassermangel oder Austrocknung können alleine oder in Kombination die Entwicklung der Feuchtbiotope im Kompensationsgebiet negativ beeinflussen. Damit die Entwicklung der Biotope nicht gefährdet ist, müssen bei Bedarf Maßnahmen zur Unterstützung des Entwicklungsprozesses veranlasst werden. Mögliche unterstützende Maßnahmen der Entwicklung der Feuchtbiotope und zur Abwehr von Gefahren werden nachfolgend skizziert:

Reinigungen: Die Verlängerung der mittleren Vegetationsperiode sowie Veränderungen der saisonalen Niederschlagsmuster können zu mehr Pflanzenwachstum und erhöhter Sedimentation führen. Zur Vermeidung von erhöhten Einträgen organischen Grünmaterials ins Gewässer sowie verstärkter Schlamm- und Sedimentbildung können zum Beispiel jährliche oder bedarfsorientierte Pflegemaßnahmen der Feuchtbiotope wie manuelle Reinigungen erfolgen.

Reduzierung von Verkrautung: Die Verlängerung der Vegetationsperiode und veränderte Niederschlagsmuster begünstigen ebenfalls die Ausbreitung unerwünschter Arten in den Feuchtbiotopen. Um beispielsweise einer Verkrautung entgegenzuwirken und das Wachstum schwächer wachsender Pflanzen zu ermöglichen, können die Gewässer und Uferbereiche regelmäßig von unerwünschten Krautarten und stark wachsenden Pflanzen befreit werden. Auf diese Weise kann die Artenvielfalt der Feuchtbiotope erhalten oder ausgeweitet, die Aktivität der Biotope erhöht und einer Verdrängung standorttypischer Arten zuvor gekommen werden.

Vertiefung und Verbreiterung: Eine Erhöhung der mittleren Temperatur sowie eine Veränderung saisonaler Niederschlagsmuster können zu einer zeitweisen Austrocknung bzw. ereignisbezogen zu einem erhöhten Nährstoffeintrag führen. Um derartigen Prozessen entgegenzuwirken und um die Entwicklung der Biotope insgesamt zu unterstützen, können die Senken durch Abgrabung zusätzlich vertieft und verbreitert werden. Dadurch erhöht sich das Wasserspeichervermögen, wodurch sich auch eine größere Wassersäule ausbilden kann. Darüber hinaus können Verbreiterungen des Ufers zu einem verstärkten Abfangen von Sediment- und Nährstofffrachten führen.

Bewässerung/Wasserzufuhr: Um der Austrocknung und einer degressiven Entwicklung der Wassersäule in den Feuchtbiotopen entgegenzuwirken, können Bewässerungsmaßnahmen durchgeführt werden, womit der Wasserstand reguliert wird. Hierdurch ergeben sich für limnische Arten bessere Entwicklungsmöglichkeiten und es werden größere Schwankungen bei den Nährstoffkonzentrationen vermieden. Für den Fall, dass sich eine Wassersäule nicht eigenständig entwickelt, ist eine Initialbewässerung bzw. Befüllung der Biotope in Erwägung zu ziehen.

Verschattung durch Initialbepflanzung: Zur Reduzierung der Verdunstung und zur Vermeidung von Austrocknung können standorttypische, schattenspendende Arten im Zuge von Initialbepflanzungen auf der sonnenzugeneigten Seite der Biotope erfolgen.

Vermeidung von Bodenarbeiten: Bodenarbeiten verstärken bei trockenen Verhältnissen die Erosion. Eine Minderung dieser Arbeiten verringert Erosionsprozesse und reduziert die Immissionen von Nähr- und Trübstoffen in die Biotope. In Verbindung mit Mulchen, besonders in den angrenzenden Laubbaumarealen des Kompensationsgebietes, kann der Nährstoffeintrag in die Feuchtbiotope zusätzlich reduziert werden.

5. Maßnahmen aus dem südlichen Stadtgebiet Kiels

Die Maßnahmen „Großer Wiesenberg“ (Halboffene Weidelandschaft), „Meimersdorfer Moor/Storchwiese“ kurz „Meimersdorfer Moor“ (Neugestaltung von Waldarealen mit Biotopfunktion) und „Wellsau“ (Naturnahe Umgestaltung) liegen im südlichen Stadtgebiet von Kiel. Sie zielen auf die Umnutzung und Gestaltung ehemals intensiv genutzter Landwirtschafts- und Grünlandflächen ab.

- Die Kompensationsmaßnahme „halboffene Weidelandschaft Großer Wiesenberg“ (A) im Stadtteil Rönne ist eine seit 1996 existierende Sammelausgleichsfläche auf bis dahin intensiv genutzter Landwirtschaftsfläche.
- Die Maßnahme „Neugestaltung von Waldarealen mit Biotopfunktion“ („Meimersdorfer Moor“) (B) im Stadtteil Meimersdorf bezieht sich auf die Errichtung einer Waldausgleichsfläche („Storchwiese“) auf ehemals entwässerten und intensiv genutzten Flächen (Grünlandbrache).
- Die naturnahe Umgestaltung der „Wellsau“ (C) in Kiel-Rönne ist eine naturnahe Baumaßnahme zur Verbindung der Fließgewässer „Schlüsbek“ und „Wellsau“ durch einen neuen Bachlauf.

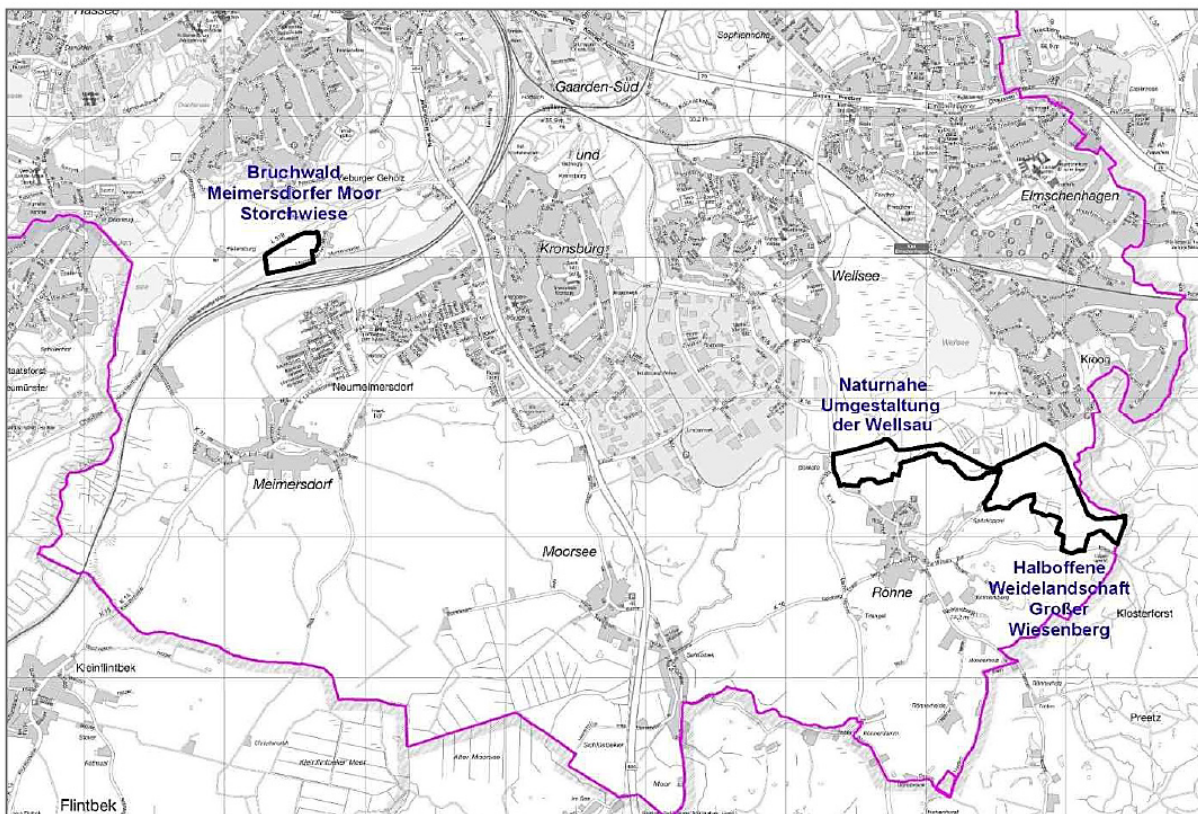


Abb. 9 Übersichtskarte der Maßnahmen südlich von Kiel (Quelle: Landeshauptstadt Kiel).

5.1. Geoökologische Zielsetzungen

Die Absichten der Maßnahmen spiegeln sich einerseits grundlegend in den übergeordneten, geoökologischen Zielen, andererseits in den folgenden, herunter gebrochenen Entwicklungszielen der jeweiligen Kompensationsmaßnahme wider:

A) „Großer Wiesenberg: Schaffung einer halboffenen Weidelandschaft mit Grünlandflächen, Niedermoorbereichen und Gehölzstrukturen“

Das Entwicklungsziel ist zum einen die Beweidung der bisher intensiv genutzten Flächen durch Offenhaltung der Landschaft im Sinne des Naturschutzes, zum anderen die Wiederanstauung von Wasser in Niedermoorbereichen mit Reaktivierung von Samenpotenzialen sowie die Entwicklung von Feuchtbiotopen und Gehölzstrukturen.



Abb. 10 Halboffene Weidelandschaft „Großer Wiesenberg“ (links) und „Großer Wiesenberg“: Feuchtbiotop (rechts) (beide Fotos: Lendner & Weber 2015).

B) „Meimersdorfer Moor: Neugestaltung von Waldarealen mit Biotopfunktion und mosaikartig eingestreuten Kontaktlebensräumen wie Röhrichte, Seggenrieder und Kleingewässer“

Das Entwicklungsziel ist einerseits die Schaffung von Waldausgleichsflächen auf entwässerten und intensiv genutzten, teils stark mineralisierten Grünlandbrachen in reliktsch vorhandenen Feuchtgebieten, andererseits die Entwicklung von Kontaktlebensräumen wie Röhrichte, Seggenriede und Kleingewässern.

C) „Wellsau: Naturnahe Umgestaltung eines Fließgewässers“

Das Entwicklungsziel ist die Wiederherstellung der gewässerökologischen Durchgängigkeit im Gewässersystem Schlüsbek/Wellsau mit Anbindung an die Talaue durch Schaffung eines neuen naturnahen Bachlaufes sowie eines Flachgewässers. Weiterhin ist die Schaffung neuer Lebensräume für Tier- und Pflanzenarten durch unterschiedliche Strukturen – wie Umgehungsrippen mit geschwungenen Verläufen

und verschiedenen Böschungsneigungen – angestrebt. Mit der Schaffung einer halboffenen Weidelandschaft mit Grünlandflächen, Niedermoorbereichen und Gehölzstrukturen, der Neugestaltung von Waldarealen mit eingestreuten Kontaktlebensräumen sowie der naturnahen Umgestaltung eines Fließgewässers werden partiell alle unter Kap. 2.2 genannten Zielsetzungen verfolgt, da insbesondere das Netz von Biotopverbunden verdichtet, natürliche Lebensräume gesichert sowie Kleingewässerbiotope und Neuwaldareale (durch Erstaufforstung auf ehemaligen Ackerland) entwickelt werden. Insgesamt wird durch die Maßnahmen die ökologische Funktion der Landschaft erhöht und dem Artenrückgang entgegengewirkt.



Abb. 11 Naturnahe Umgestaltung der „Schlüsбек“ (links) und Kompensationsgebiet „Wellsau“ (rechts) (beide Fotos: Lendner & Weber 2015).

5.2. Ausgangssituation und Maßnahmen

Die drei Kompensationsgebiete liegen im südlichen Stadtgebiet von Kiel in den Stadtteilen Meimersdorf und Rönne. Aus naturräumlicher Sicht befinden sie sich in den forstlichen Wuchsgebieten „Schleswig Holstein/Ost“ und „Mittleres Hügelland“. Sie sind Bestandteil der „Westensee-Moräne“ und damit als landschaftstypisch zu bezeichnen.

Das Kompensationsgebiet „Großer Wiesenberg“ liegt nord-östlich des Kernortes Rönne in Forstgebieten der Stadt Kiel. Das Gebiet wird im Norden und Osten von dem Gewässerlauf der Wellsau eingegrenzt. Dahinter liegen im Norden Grünflächen sowie im Osten Waldflächen. Nördlich gelegen befindet sich auch der Kieler Stadtteil Elmschenhagen (mit Kroog); weiter nordwestlich liegt der Wellsee. Südlich des Gebietes befinden sich hauptsächlich landwirtschaftliche Nutzflächen (Ackerflächen).

Das Kompensationsgebiet „Wellsau“ liegt nördlich des Ortskerns von Rönne. Dazwischen befinden sich Grünland- sowie Landwirtschaftsflächen (Ackerland). Das Gebiet grenzt nördlich an das auslaufende Flachgewässer des Wellsees. Westlich wird es von der Kreisstraße K 16 tangiert. Nordwestlich (hinter der K 16) befinden sich ein Waldstück sowie ein Gewerbegebiet des Stadtteils Wellsee.

Das Kompensationsgebiet „Meimersdorfer Moor“ liegt in einer ehemaligen, reliktsch erhaltenen Moorlandschaft. Es befindet sich ca. 1,2 km nördlich des Ortskerns von Meimersdorf. Südwestlich befindet sich die Ortschaft Neumeimersdorf. Das Gebiet wird nördlich von der Landstraße L 318 sowie südlich von einer Bahntrasse (mit Güterbahnhof) eingegrenzt. Weiter nördlich (hinter dem „Vieburger Gehölz“) sowie östlich (hinter der L 404) befinden sich bereits bebaute Stadtgebiete Kiels (wie die Stadtteile Kronsburg und Wellsee); weiter westlich liegt der Schulensee.



Abb. 12 Halboffene Weidelandschaft: Reaktivierung eines Niedermoorbereiches (links) und „Meimersdorfer Moor“: vorne reliktsches Feuchtgebiet (beide Fotos: Lendner & Weber 2015).

Kompensationsmaßnahme „Großer Wiesenberg“

Das Kompensationsgebiet ist eine seit 1996 existierende, kontinuierlich erweiterte und entwickelte Sammelausgleichsfläche. Derzeit umfasst sie ca. 30 ha. Sie ist als halboffene Weidelandschaft angelegt und weist eine südliche Hanglage mit einem Niedermoorbereich in der Talsohle auf. Folgende Teilmaßnahmen wurden/werden auf den ehemals intensiv genutzten Flächen durchgeführt:

1. Wiederanstauungsmaßnahmen in Niedermoorbereichen (mit Reaktivierungspotenzialen von Samen) durch Anhebung des Grundwasserspiegels und teilweise Entnahme der obersten, mineralisierten Bodenschichten,
2. Anlegung von mehreren Kleingewässern durch Aushub (mit landschaftsgerechter Verbauung sowie Aussaat heimischer Kräuter und Gräser in der Verbauung),

3. Einzelbepflanzungen mit Laubbäumen und verschiedenen Gehölzstrukturen (wie z.B. Erle und Weißdorne),
4. Pflegemanagement durch Beweidung: ganzjährige Weidehaltung von einem Rind (Robustrinderrasse) pro 2 ha ohne Beifütterung.

Die Beweidung dient der Offenhaltung der Landschaft und verhindert die Entwicklung zu einem relativ strukturarmen Waldstandort. Durch die Teilmaßnahmen bildet sich ein Mosaik aus extensiv bis intensiv beweideten Grünlandflächen mit Niedermoorbereichen, Kleingewässern und Gehölzstrukturen.

Kompensationsmaßnahme „Meimersdorfer Moor“

Diese Maßnahme umfasst die Neugestaltung einer Waldfläche. Sie bezieht sich auf ein ca. 6,8 ha großes Areal, das wegen der Entwässerung und intensiven Nutzung stark mineralisierte Grünlandbrachflächen mit reliktsch vorhandenen Feuchtgebieten aufweist. Durch Aufforstung der grundwasserentfernteren Areale mit standorttypischen Baumarten sowie Renaturierung der Feuchtgebiete (durch Sukzession) wird insgesamt ein Waldgebiet mit Biotopfunktion, d.h. mit mosaikartig eingestreuten Kontaktlebensräumen wie Röhrichte, Seggenrieder und Kleingewässer, neugestaltet. Die Bereiche der Aufforstung sind durch einen Wildzaun eingezäunt, um die Jungbäume vor Wildverbiss zu schützen.

Kompensationsmaßnahme „Wellsau“

Diese Maßnahme ist auf die gewässerökologische Funktionstüchtigkeit des Gewässersystems Schlüsbek, Wellsau und eines Flachgewässers südlich des Wellsees ausgerichtet. Sie wurde nach den Vorgaben der EU-Wasserrahmenrichtlinie umgesetzt. Um die beiden Fließgewässer Schlüsbek und Wellsau wieder miteinander zu verbinden, wurde südwestlich des Wellsees ein neuer Bachlauf geschaffen. Zum Ausgleich des Gefälles sowie für die Gewährleistung der Passierbarkeit für Fische wurde auf 560 m Länge ein Umgehungsgerinne mit geschwungenem Verlauf und verschiedenen Böschungsneigungen erstellt. Die Sohle wurde aus einem Kies-Sandgemisch modelliert, das dem naturnahen Oberlauf entspricht. Neben der Wiederherstellung der Gewässerdurchgängigkeit wurden auch unterschiedliche Strukturen geschaffen, die verschiedenen Tier- und Pflanzenarten einen neuen Lebensraum bieten.



Abb. 13 Kompensationsgebiet „Wellsau“: Graben an der Schlüsbek (Foto: Lendner & Weber 2015).

Bei Hochwasser wird der Abfluss weiterhin aus der Schlüsbek direkt in den Wellsee geleitet. Zudem wurden im alten Verlauf der Schlüsbek die Sohlabstürze und der nicht mehr funktionstüchtige Sandfang an der Straße „Zum Forst“ beseitigt und ein neuer, für Gewässerorganismen passierbarer Sandfang angelegt. Dadurch wird der Sedimenteintrag (Sand, Schlamm) in das Gewässersystem verringert und ein durchgängiges Lückensystem für die bodennahe und in der Sohle wandernde Fauna ermöglicht. Abschließend wurde auf einer Fläche von etwa 2.500 m², südlich der Wellsau, ein Flachgewässer geschaffen. In diesem Bereich wurden die steilen Ufer abgeflacht, so dass sich bei Hochwasser dieser Retentionsraum mit Wasser füllt und ein weiterer Lebensraum für Amphibien und Libellen entsteht. Hierdurch wurde die ökologisch wichtige Anbindung der Talaue an das Gewässer wiederhergestellt.

Im Rahmen der Maßnahme wurden standorttypische Pflanzen- und Gehölzarten verwendet. Diese wurden entweder neu gepflanzt oder haben sich im Laufe der Biotopentwicklung selbst wieder angesiedelt. Durch die Kompensationsmaßnahme wurden die Fließgewässer Schlüsbek und Wellsau in einen guten ökologischen Zustand gebracht und die in unmittelbarer Nähe gelegene Maßnahme – halboffene Weidelandschaft „Großer Wiesenberg“ – ergänzt. In Verbindung mit einem neu angelegten Wanderweg südlich des Wellsees, wurde darüber hinaus die eiszeitliche Wellsauniederung erlebbar gemacht.

5.3. Erfassung von Standortfaktoren im Kompensationsgebiet

Die an den Standorten identifizierten Baum- und Pflanzenarten wie z.B. **Erle**, **Weißdorn**, **Schilfrohr** und **Wasser-Ampfer** sowie heimische Kräuter und Gräser, sind standorttypisch und weisen gute Standortvoraussetzungen auf. Sie können auch als Indikator für die vegetative Entwicklung der Kompensationsgebiete herangezogen werden.

Die nachfolgende Bewertung der oben genannten Baum- und Pflanzenarten basiert auf der Wärm- bzw. Temperaturzahl (T), der Kontinentalitätszahl (K) und der Feuchtezahl (F). Damit werden das Vorkommen der Arten im Wärmegefälle Europas, im Kontinentalitätsgefälle von der Atlantikküste bis ins Innere Eurasien (auch mit Blick auf Temperaturschwankungen) und im Gefälle der Bodenfeuchtigkeit skizziert (Tab. 12).

Veränderungen der heutigen Faktoren können die Entwicklung der Pflanzen an den Standorten sowie die Gesamtentwicklungen der Kompensationsmaßnahmen beeinflussen. Der hier durchgeführte Arbeitsschritt dient als Grundlage für die spätere Überprüfung der Zielsetzungen der Maßnahmen. Letztendlich soll festgestellt werden, ob sich die am Standort ansässigen Baum- und Pflanzenarten auch unter klimatisch veränderten Bedingungen in den Kompensationsgebieten entwickeln und so z.B. die Maßnahmen ihre Zielsetzungen erreichen.

Die **Erle** hat beste Standortbedingungen in mäßig warmen bzw. tiefen bis montanen Lagen (T = 5). Sie ist ozeanisch bis subozeanisch ausgerichtet und größtenteils in Mitteleuropa beheimatet (K = 3). Die Erle findet optimale Verhältnisse in großen Teilen von Mitteleuropa. Sie benötigt möglichst durchnässte (luftarme) Böden mit mehr oder minder regelmäßig stattfindenden Überschwemmungen (F = 9) (Ellenberg & Leuschner 2010).

Das **Schilfrohr** ist in mäßig warmen, tiefen bis montanen (Schwerpunkt submontanen) Lagen anzutreffen (T = 5). Im Rahmen des Kontinentalitätsgefälles hat das Schilfrohr ein indifferentes Verhalten. Es handelt sich um eine Wasserpflanze, die längere Zeiten auch ohne Wasserbedeckung des Bodens überlebt (F = 10).

Der **Weißdorn** hat beste Standortbedingungen in mäßig warmen, tiefen bis (sub-) montanen Lagen (T = 5) und ist ozeanisch bis subozeanisch ausgerichtet (K = 3). Er findet optimale Verhältnisse in großen Teilen Mitteleuropas. Weißdorne benötigen nahezu mittelfeuchte (nicht nasse oder öfter austrocknende) Böden (F = 4).

Der **Wasser-Ampfer** findet gute Standortbedingungen in mäßig warmen (bis warmen) tiefen bis hügeligen bzw. montanen Lagen (T = 6). Er ist subkontinental bis kontinental ausgerichtet (K = 7). Sein Vorkommen ist größtenteils im östlichen Mittel- und angrenzenden Osteuropa, partiell auch von Osten nach Mitteleuropa übergreifend.

Tab. 12 Standortfaktoren nach Ellenberg et al. (2001) – südliches Stadtgebiet Kiels.

Baumart (Name)	L	T	K	F	R	N	S	LF	LF_B
Erle (<i>Alnus glutinosa</i>)	(5)	5	3	9=	6	X	1	P	S
Schilfrohr (<i>Phragmites australis (communis)</i>)	7	5	X	10	7	7	0	G, A	W
Weißdorne (<i>Crataegus monogyna agg.</i>)	7	5	3	4	8	4	0	N, P	S
Wasser-Ampfer	7	6	7	8=	7	8	0	H	S

Lichtzahl (L): Vorkommen in Beziehung zur relativen Beleuchtungsstärke. Maßgebend ist für alle Arten die an dem Wuchsort z.Z. voller Belaubung der sommergrünen Pflanzen (ca. Jul bis Sep) bei diffuser Strahlung (d.h.: bei Nebel bzw. gleichmäßig bedecktem Himmel herrscht).

Wärmezahl/Temperaturzahl (T): Vorkommen in Wärmegefälle von der nivalen Stufe bis in die wärmsten Tief-lagen unter Berücksichtigung der Punktrasterkarten in den Verbreitungsatlantiden der mitteleuropäischen Flora).

Kontinentalzahl (K): Vorkommen im Kontinentalitätsgefälle von der Atlantikküste bis ins Innere Eurasiens, besonders im Hinblick auf die Temperaturschwankungen.

Feuchtezahl (F): Vorkommen im Gefälle der Bodenfeuchtigkeit von flachgründig-trockenen Felshang bis zum Sumpfboden sowie von seichtem bis zum tiefen Wasser.

= (Gleichzeichen): Überschwemmungsanzeiger (auf mehr oder minder regelmäßig überschwemmten Böden).

Reaktionszahl (R), Stickstoffzahl (N), Salzzahl (S)

Lebensform (LF): P = Phanerophyt (Baum, der mehr als 5 m hoch werden kann); N = Nanophanerophyt (Strauch oder Kleinbaum, meist 0,5 – 5m hoch); A = Hydrophyt (aquatisch lebende Pflanze, deren Überwinterungsknospen normalerweise unter Wasser liegen); G = Geophyt (Überwinterungsknospen unter der Erdoberfläche, meist mit Speicherorgan); H = Hemikryptophyt (Überwinterungsknospen nahe der Erdoberfläche).

Blattausdauer (LF B): S = sommergrün (nur in der wärmeren Jahreszeit mit grünen Blättern); W: überwintert grün (oft mit grünen Blättern überwintert, die aber meist im Frühjahr ersetzt werden).

X: indifferentes Verhalten (weite Amplitude / ungleiches Verhalten in verschiedenen Gegenden).

5.4. Überprüfung und Einschätzung der zukünftigen Zielerreichung

5.4.1. Mögliche klimatische Auswirkungen auf das lokale Ökosystem

Im Vergleich der modellierten historischen (1976 – 2005) und zukünftigen Daten (2021 – 2050) zeigen die Simulationen in den untersuchten Kompensationsgebieten („Großer Wiesenberg“, „Meimersdorfer Moor“, „Wellsau“) folgende Veränderungen: Die mittlere Temperatur wird tendenziell von 7,5 bis 8,8°C auf 8,6 bis 10,3°C ansteigen. Der mittlere Niederschlag pro Tag wird sich geringfügig ändern (von 1,9 bis 2,9 mm/d auf 2,0 bis 3,0 mm/d), allerdings werden sich die Niederschläge ungleich auf das Jahr verteilen. Zudem gilt es bei den Niederschlägen zu beachten, dass diese zeitlich und räumlich heterogen verteilt sind. Beim Auftreten von Starkregenereignissen ist von geringfügigen Veränderungen auszugehen. Gleiches gilt für Auftreten und Länge von Trockenperioden. Für die Vegetationsperiode zeigt sich eine tendenzielle Entwicklung hin zu einem früheren Beginn sowie zu einem Anstieg der mittleren Länge.

Durch die Veränderungen der saisonalen Niederschläge – mit geringeren Niederschlagsmengen im Sommer – bei gleichzeitig höheren mittleren Temperaturen, steigt die Wahrscheinlichkeit für ein Absinken des Grundwasserspiegels in den Sommermonaten. Zusätzlich führen die stärkeren Regenfälle im Frühling, Herbst und Winter wegen der temporären Durchfeuchtung des Bodens voraussichtlich nicht zu einer erhöhten Grundwasserneubildung (Moosbrugger et al. 2014). Dies deutet insgesamt auf eine Erhöhung des Trockenstresses sowie auf veränderte Aktivitäten der Bodenfauna und –flora sowie der Bodenstruktur hin.

Als positive Begleiterscheinungen sind verbesserte Wachstumsbedingungen aufgrund längerer Vegetationsperioden zu nennen. Insbesondere wärmetolerante Arten können von steigenden mittleren Temperaturen profitieren. Limnische und aquatisch lebende Arten müssen sich hingegen aufgrund höherer Temperaturen und ungleichverteilter Niederschläge auf neuen Lebensbedingungen einstellen. So kann das Absinken den Grundwasserspiegels beziehungsweise des Wasserstandes bei versiegelten Feuchtbiotopen – als Folge höhere Verdunstungsraten und/oder geringeren Niederschlagsmengen – zur Austrocknung oder niedrigen Wassersäulen führen. Zudem können Verkrautungen und/oder stark bewachsene Uferzonen zur Sedimentation, Verlandung und Verschlechterung der Wasserqualität führen (z.B. durch Nährstoffeintrag, Sauerstoffmangel, Erhöhung der Salzkonzentration, geringere Verdünnung von Schadstoffen).

Plötzlich auftretende, drastische Zustandsveränderungen der Wasserchemie können zum Aussterben von Arten bzw. zu einem gesteigerten Konkurrenzkampf einzelner Arten führen, was beides letztlich zu einem Rückgang der Artenvielfalt führt (Mosbrugger et al. 2014). Für Weidelandschaften und Waldareale hingegen sind weniger gravierende Auswirkungen zu erwarten.

5.4.2. Einzelbetrachtung Kompensationsmaßnahme „Großer Wiesenberg“

Das Entwicklungsziel „Beweidung durch Offenhaltung der Landschaft im Sinne des Naturschutzes und Wiederanstauung von Wasser in Niedermoorbereichen sowie Entwicklung von Feuchtbiotopen und Gehölzstrukturen“ kann voraussichtlich auch unter klimatisch veränderten Bedingungen erreicht werden (Tab. 13). Es werden wahrscheinlich keine dem Entwicklungsziel entgegenstehende Beeinträchtigungen auftreten. In Gegensatz dazu könnte die Entwicklung der Niedermoorbereiche sowie Feuchtbiotope (Kleingewässer) beeinträchtigt sein.

Tab. 13 Klimaänderungen und ihre Auswirkungen (+: positiv; 0: keine; -: negativ) auf die Entwicklung von Feuchtbiotopen und Gehölzstrukturen.

Klimaänderung Vergleich 1976 – 2005 mit 2021 – 2050	Auswirkungen
<p>Ansteigender Trend bei der mittleren Temperatur (von 7,5 bis 8,8 °C auf 8,6 bis 10,3°C)</p>	<ul style="list-style-type: none"> + Positive Entwicklung der halboffenen Weidelandschaft sowie der Gehölze. Die am Standort gepflanzten und/oder sich selbst entwickelten Baum- und Pflanzenarten (wie Erle und Weißdorne) können sich wegen der guten zukünftigen Standortbedingungen gut entwickeln. - Steigender Verdunstungsgrad kann zu einem Absinken der Bodenfeuchte führen. - Wiederanstauung von Wasser in den Niedermoorbereichen sowie die Entwicklung der Kleingewässer kann negativ beeinflusst werden. - Eine verstärkte Verbreitung unerwünschter Arten sowie Verkrautung ist möglich.
<p>Geringfügige Änderungen bei der mittleren Niederschlagsmenge (von 1,9 bis 2,9 mm/d auf 2,0 bis 3,0 mm/d)</p>	<ul style="list-style-type: none"> + Die Biotope (Weidelandschaft, Niedermoor und Kleingewässer) werden sich durch die höheren Temperaturen eher positiv entwickeln. - Die Sporulation kann zunehmen und Infektionsbedingungen gestalten sich günstiger (Essl & Rabitsch 2013). 0 Die geringen Veränderungen werden voraussichtlich keine nennenswerten Auswirkungen auf den Grundwasserspiegel sowie die standorttypischen Baum und Pflanzenarten haben. Der Feuchtegehalt des Bodens kann gegebenenfalls stabilisiert werden. 0 Die nährstoffreichen Böden am Standort werden keine entscheidenden Veränderungen erfahren.
<p>Veränderte saisonale Niederschlagsverteilung</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Für die Entwicklung der Niedermoorbereiche sowie Kleingewässer hat eine Veränderung des Niederschlags-Jahresganges deutlich größere Auswirkungen. Der geringe Niederschlag im Sommer kann ein Absinken der Wassersäulen in den Feuchtbiotopen sowie des Grundwasserspiegels zur Folge haben. - Eine erhöhte Verbreitung gebietsfremder Krankheitserreger und Schwächeparasiten (z.B. Förderung von Sporulation, Ausweitung der Infektionsbedingungen) kann nicht ausgeschlossen werden (Essl & Rabitsch 2013). - Gegebenenfalls kann sich die Bodenfeuchte zeitweise verringern. 0 Die Veränderungen der saisonalen Niederschlagsverteilung führen zu keinen signifikanten negativen Veränderungen bei der Entwicklung der Weidelandschaft, da die standorttypischen Gräser- und Straucharten über eine ausreichende Trockentoleranz verfügen.
<p>Geringfügige Änderungen beim Auftreten von Starkregen (von 0,8 bis 2,2 pro Jahr auf 1,0 bis 2,5 pro Jahr)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Überschwemmungen fördern prinzipiell die Sporulation und begünstigen Infektionskrankheiten, so dass die Anfälligkeit gegenüber Krankheitserregern steigt. - Für die Niedermoorbereiche sowie Kleingewässer sind signifikante Auswirkungen möglich: Bereiche können erodiert werden; durch Überschwemmungen können sich Nährstoffeinträge erhöhen. Zudem stehen

Klimaänderung Vergleich 1976 – 2005 mit 2021 – 2050	Auswirkungen
	<p>die mit dem Starkregen niedergegangenen Wassermengen voraussichtlich nicht für die Speicherung als Grundwasser zur Verfügung, was einen veränderten lokalen Wasserhaushalt bewirkt.</p> <ul style="list-style-type: none"> 0 Die standorttypische Flora weist teilweise Toleranzen gegenüber durchnässten oder regelmäßig überschwemmten Böden auf. 0 Die Entwicklung der Weidelandschaft wird eher keine negativen Auswirkungen erfahren.
Erhöhte Temperatur + veränderte saisonale Niederschlagsverteilung + Starkregeneignisse	<ul style="list-style-type: none"> - Für Niedermoor und Kleingewässer treten als größte Herausforderungen die verringerte Wasserverfügbarkeit sowie Trockenstress im Sommer auf. Die Moorböden können zeitweise austrocknen und Wasserstände in den Kleingewässern deutlich absinken, was zur Beeinträchtigung der Aktivität der Bodenfauna und -flora führen kann. - Durch wärmere, feuchtere Winter und Herbste steigt ebenfalls das Risiko für die Verbreitung von Krankheiten und gebietsfremder Krankheitserreger und Schwächeparasiten. - Die Wahrscheinlichkeit der Etablierung von Schwächeparasiten aus wärmeren Klimazonen kann sich ebenso wie die Überlebensrate von Schädlingen (wie z.B. Mäuse) im Winter erhöhen (Essl & Rabitsch 2013). 0 Für die halboffene Weidelandschaft ist von geringen Entwicklungsproblemen auszugehen.
Anstieg Mittlere Länge der Vegetationsperiode (von 215 bis 258 Tage auf 241 bis 303 Tage)	<ul style="list-style-type: none"> + Die standorttypischen Baum- und Pflanzenarten profitieren eher (geringfügig) von einem Anstieg der Vegetationsperiode, weil z.B. der positive Einfluss auf Antagonisten von Krankheitserregern sowie die Widerstandsfähigkeit von Wirtsbäumen steigt. - Die Bildung und Lebenszyklen von Krankheitserregern und Schädlingen sowie die Verkrautung werden positiv beeinflusst, die Wirkung der Schadstoffexposition erhöht (Essl & Rabitsch 2013).



Abb. 14 Halboffene Weidelandschaft: Niedermoorbereich (links) und „Meimersdorfer Moor“ (rechts) (beide Fotos: Lendner & Weber 2015).

5.4.3. Einzelbetrachtung Kompensationsmaßnahme „Meinersdorfer Moor“

Das Entwicklungsziel „Schaffung von Waldausgleichsflächen auf entwässerten und intensiv genutzten Grünlandbrachen sowie Entwicklung von Kontaktlebensräumen wie Röhrichte, Seggenriede und Kleingewässer“ kann voraussichtlich auch unter klimatisch veränderten Bedingungen erreicht werden (Tab.14). Die Veränderung einiger Klimaparameter kann zwar die Entwicklung der Kleingewässer beeinflussen, sie wird aber eher keine Auswirkungen auf Biotoptypen wie Waldareal, Röhricht und Seggenried haben.

Tab. 14 Klimaänderungen und ihre Auswirkungen (+: positiv; 0: keine; -: negativ) auf Kleingewässer, Waldareal, Röhricht und Seggenried.

Klimaänderung Vergleich 1976 – 2005 mit 2021 – 2050	Auswirkungen
Ansteigender Trend bei der mittleren Temperatur (von 7,5 bis 8,8 °C auf 8,6 bis 10,3°C)	<ul style="list-style-type: none"> - Eine Beeinträchtigung der Kleingewässer durch eine Erhöhung des Verdunstungsgrades ist möglich. Bei permanent niedriger Wassersäule können sich aufgrund der Temperaturerhöhung und dem damit verbundenen Anstieg der Wassertemperatur negative Folgen für die limnische und aquatische Flora und Fauna ergeben. 0 Kein signifikanter Einfluss auf die Entwicklung der Biotope Waldareal, Röhricht, Seggenried, da diese standorttypische Baum- und Pflanzenarten aufweisen, die sich im Zuge der Sukzession voraussichtlich gut am Standort entwickeln werden.
Geringfügige Änderungen bei der mittleren Niederschlagsmenge (von 1,9 bis 2,9 mm/d auf 2,0 bis 3,0 mm/d)	<ul style="list-style-type: none"> + Höhere Niederschlagsmengen wirken sich positiv auf die Entwicklung der Biotope aus, da die Baum- und Pflanzenarten am Standort entweder eine hohe Bodenfeuchte tolerieren oder aquatisch leben. - Die Erhöhung der mittleren Niederschlagsmengen kann die Verbreitung und das Wachstum unerwünschter Arten, gebietsfremder Krankheitserreger sowie von Schwächeparasiten begünstigen.
Veränderte saisonale Niederschlagsverteilung	<ul style="list-style-type: none"> - Die geringen Veränderungen haben keinen großen Einfluss auf die Entwicklung der Biotope. Allerdings können für Feuchtbiootope und Kleingewässer dann negative Folgen entstehen, wenn die Wassersäulen im Winter sehr hohe bzw. im Sommer sehr niedrige Niveaus (bis zum ausgetrockneten Zustand) erreichen. - Verstärkte Nährstoffeinträge können spezielle bei geringer Verdünnung (z.B. bei niedrigen Wasserständen) unerwünschte Arten und Verkräutung begünstigen. - Unterschiedliche Wasserstände können die Licht- und Sauerstoffverfügbarkeit beeinflussen (Mosbrugger et al. 2014), wodurch die Entwicklung der Artenvielfalt der Gewässer negativ beeinträchtigt werden kann. 0 Die saisonalen Veränderungen werden eher keine signifikanten Auswirkungen auf die Entwicklung der Waldareale, Röhrichte und Seggenriede haben.

Klimaänderung Vergleich 1976 – 2005 mit 2021 – 2050	Auswirkungen
<p>Geringfügige Änderungen beim Auftreten von Starkregen</p> <p>(von 0,8 bis 2,2 pro Jahr auf 1,0 bis 2,5 pro Jahr)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Die mit den Starkregenfällen verbundenen Niederschlagsmengen tragen zum Großteil nicht zur pflanzenverfügbaren Wasserreserve bei, da der größte Teil an der Oberfläche abfließt. - Überflutungen nach Starkregenereignissen können Infektionsbedingungen z.B. durch Sporulation begünstigen und ermöglichen eine großflächige Verbreitung von Krankheitserregern. - Durch Starkregenfälle und Überschwemmungen besteht die Gefahr einer verstärkten Erosion, was sich besonders auf Klein- bzw. Stillgewässer negativ auswirken kann. Erhöhte Nährstoffeinträge können bei niedrigem Wasserstand die Verkrautung begünstigen (Mosbrugger et al. 2014). 0 Der Entwicklung der Biotope Wald, Röhricht und Seggenried werden durch Starkregen eher nicht beeinträchtigt, da die standorttypische Flora durchnässte oder regelmäßig überschwemmte Böden gut verträgt.
<p>Erhöhte Temperatur + veränderte saisonale Niederschlagsverteilung + Starkregenereignisse</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Die größten Auswirkungen hat steigender Trockenstress im Sommer, wovon Kleingewässer, Röhricht und Seggenried negativ beeinflusst werden können. - Durch wärmere, jedoch feuchtere Winter und Herbste können sich gebietsfremde Krankheitserreger in den Ökosystemen verbreiten. Einhergehend steigt auch das Verbreitungsrisiko von Schwächeparasiten aus wärmeren Klimazonen und von Schädlingen (z.B. Mäuse) (Essl & Rabbitsch 2013). - Die erhöhte Verdunstung im Sommer führt zusammen mit geringeren Niederschlagsmengen zu niedrigeren Grundwasserständen bzw. Wassersäulen in den Kleingewässern, wodurch der Trockenstress steigt. - Durch Starkregenereignisse kann ein vermehrter Nährstoffeintrag erfolgen, der die Verkrautung in den Klein- und Stillgewässern begünstigt und diese somit negativ beeinflusst. 0 Steigende mittlere Temperaturen und Veränderungen des saisonalen Niederschlagverhaltens können die Biotope Wald, Kleingewässer, Röhricht und Seggenried in ihrer Entwicklung beeinträchtigen.
<p>Anstieg der mittleren Länge der Vegetationsperiode</p> <p>(von 215 bis 258 Tage auf 241 bis 303 Tage)</p>	<ul style="list-style-type: none"> + Die standorttypische Flora und Fauna findet aufgrund einer längeren Vegetationsperiode verbesserte Wachstumsbedingungen vor, wodurch die Entwicklung der Biotope Wald, Kleingewässer, Röhricht, Seggenried positiv beeinflusst wird. + Die Widerstandsfähigkeit von Wirtsbäumen gegen Krankheitserreger kann sich erhöhen. - Es verlängern sich die Lebenszyklen von Krankheitserregern und Schädlingen. - Aufgrund der längeren Wachstumsphasen und der Lage des Kompensationsgebietes in (ehemaligen) Forstgebieten können sich in der halboffenen Weidelandschaft verstärkt unerwünschter Arten und nicht vorgesehene, leicht verdichtete Waldareale ausbreiten.

5.4.4. Einzelbetrachtung Kompensationsmaßnahme „Wellsau“

Das Entwicklungsziel „Wiederherstellung der gewässerökologischen Durchgängigkeit eines Gewässersystems“ kann voraussichtlich auch unter klimatisch veränderten Bedingungen erreicht werden (Tab.15). Die Veränderung einzelner Klimaparameter kann zwar die Entwicklung der Kleingewässer beeinträchtigen, aber sie wird eher keine signifikanten Auswirkungen auf das Fließgewässer und die Zielsetzung der Maßnahme haben.

Tab. 15 Klimaänderungen und ihre Auswirkungen (+: positiv; 0: keine; -: negativ) auf Klein- und Fließgewässer.

Klimaänderung Vergleich 1976 – 2005 mit 2021 – 2050	Auswirkungen
Ansteigender Trend bei der mittleren Temperatur (von 7,5 bis 8,8 °C auf 8,6 bis 10,3°C)	<ul style="list-style-type: none"> - Eine Erhöhung der Temperatur kann die Entwicklung des Fließgewässers eher negativ beeinflussen. Bei ansteigenden Temperaturen kann sich der Verdunstungsgrad erhöhen und dies die Wasserstände und Fließgeschwindigkeiten beeinträchtigen, was die Ansiedlung und Verbreitung limnischer und aquatisch lebender Arten gefährden kann. - Die Erhöhung der Nährstoffkonzentrationen, z.B. durch geringe Verdünnungsleistung bei niedrigen Wasserständen können das Auftreten unerwünschter Arten sowie Verkrautung und Verlandung begünstigen (Mosbrugger et al. 2014). - Das Wachstum von Schädlingen, die Verbreitung unerwünschter Arten (Verkrautung) sowie Krankheitserregern können ebenso wie Verlandung begünstigt werden.
Geringfügige Änderungen bei der mittleren Niederschlagsmenge (von 1,9 bis 2,9 mm/d auf 2,0 bis 3,0 mm/d)	<ul style="list-style-type: none"> + Ein erhöhter Niederschlag kann die eigenständige Entwicklung einschließlich der Ansiedlung limnischer sowie aquatisch lebender Arten sowie die Artenvielfalt eher positiv beeinflussen.
Veränderte saisonale Niederschlagsverteilung	<ul style="list-style-type: none"> - Die saisonalen Veränderungen können die Entwicklung der Fließgewässer eher negativ beeinflussen, weil die Wasserstände von sehr hohen Pegeln im Winter bis zu einem niedrigen Niveau (auch ausgetrocknet) im Sommer reichen können. - Durch die unterschiedlichen Niederschlagsmengen finden unterschiedliche Nährstoffeinträge bzw. Verdünnungsleistungen der Gewässer statt. Insbesondere im Sommer bei niedrigen Wasserständen können hohe Nährstoffkonzentrationen das Wachstum unerwünschte Arten begünstigen. - Die unterschiedlichen Wasserstände können die Licht- und Sauerstoffverfügbarkeit beeinflussen (Mosbrugger et al. 2014), wodurch die Entwicklung der Artenvielfalt der Gewässer negativ beeinträchtigt werden kann.

Klimaänderung Vergleich 1976 – 2005 mit 2021 – 2050	Auswirkungen
Geringfügige Änderungen beim Auftreten von Starkregen (von 0,8 bis 2,2 pro Jahr auf 1,0 bis 2,5 pro Jahr)	<ul style="list-style-type: none"> - Starkregenereignisse können die Erosion erhöhen, was gegebenenfalls die Entwicklung der Flora und Fauna der Uferbereiche beeinflussen kann. 0 Die geringfügigen Veränderungen bei den Starkregenereignissen werden eher keine signifikanten Auswirkungen auf die Entwicklung der Wellsau/Schlüsbek haben.
Erhöhte Temperatur + veränderte saisonale Niederschlagsverteilung + Starkregenereignisse	<ul style="list-style-type: none"> - Die Veränderungen im Wasserkreislauf mit mehr Wasser im Winter und weniger im Sommer (einschließlich temporärer Starkregenereignisse), wird die Erosion und den Stoffeintrag im Sommer erhöhen, was zu einem erhöhten Trockenstress führen zum anderen das Wachstum unerwünschter Arten und Krankheitserreger fördern kann.
Anstieg der mittleren Länge der Vegetationsperiode (von 215 bis 258 Tage auf 241 bis 303 Tage)	<ul style="list-style-type: none"> - Die Entwicklung der Fließgewässer kann sich im Zuge einer längeren Vegetationsperiode eher negativ gestalten. Durch längere Wachstumsphasen haben zwar limnische sowie aquatisch lebende Arten Flora bessere Entwicklungsbedingungen. Durch stärkeres Wachstum steigt ebenfalls die Biomasseproduktion an. - Von einer längeren Vegetationsperiode würden auch unerwünschte Arten einschließlich Schädlingen und Krankheitserregern profitieren.



Abb. 15 Naturnahe Umgestaltung der Schlüsbek (Foto: Lendner & Weber 2015).

5.4.5. Zusammenfassende Einschätzung

Die auf Basis der Projektionen skizzierten, klimatisch veränderten Bedingungen in den Kompensationsgebieten haben voraussichtlich eher keine signifikanten Auswirkungen auf die Entwicklungen der Biotope Wald, halboffene Weidelandschaft, Röhrriecht und Seggenried. Diese Biotoparten werden einerseits temporär Entwicklungshemmnisse erfahren, andererseits aber auch positive Begleiterscheinungen,

wie verbesserte Standort- bzw. Entwicklungsbedingungen für standorttypische Baum- und Pflanzenarten durch verlängerte Vegetationsperioden oder mehr Niederschlag. Insgesamt werden die Entwicklungsziele der Maßnahmen eher erreicht, so dass 2050 Waldareale, Niedermoor-, Röhricht- sowie Seggenried-Bereiche und eine halboffene Weidelandschaft entstanden sein werden. Dagegen ist die (eigenständige) Entwicklung der Feuchtbiotope bzw. Klein- und Fließgewässer eher gefährdet. Die größte Herausforderung dürfte dabei das zeitweise Auftreten von nicht ausreichend hohen Wassersäulen für aquatische lebende Arten und Populationen in den Kleingewässern darstellen. In Verbindung mit höheren Verdunstungsraten im Sommer werden zudem die Konzentrationen der Spuren- und Nährstoffe ansteigen und gleichzeitig die Sauerstoffgehalte abnehmen. Folgewirkungen können auch Verkräutung, Sedimentation und Verlandung sein.

Tab. 16 Übersicht der negativen Auswirkungen (hoch/gering/keine) auf Zielerreichungen von Ökosystemen.

Klimaparameter [Trend des Klimawandels]	Halboffene Weidelandschaft	Wald	Feuchtbiotope (Kleingewässer, Niedermoor)	Feuchtbiotope (Schwemmweiden)	Fließgewässer	Röhricht, Seggenried
Mittlere Temperatur [ansteigender Trend]	GERING - KEINE	KEINE	GERING - KEINE	GERING - KEINE	GERING - KEINE	KEINE
Mittlerer Niederschlag [geringfügiger Anstieg]	KEINE	KEINE	KEINE	KEINE	KEINE	KEINE
Jahresgang des Niederschlags [Anstieg: Winter, Frühling, Herbst; Rückgang: Sommer]	GERING	KEINE	HOCH - GERING	HOCH - GERING	HOCH - GERING	KEINE
Starkregenereignisse [geringfügiger Anstieg]	GERING	GERING	HOCH - GERING	GERING - KEINE	GERING - KEINE	GERING
Mittlere Temperatur [ansteigender Trend] + veränderter Jahresgang des Niederschlags + Starkregenereignisse [geringfügiger Anstieg]	GERING	GERING	HOCH	HOCH - GERING	HOCH - GERING	GERING
Mittlere Länge der Vegetationsperiode [Anstieg]	GERING	GERING - KEINE	HOCH - GERING	GERING	GERING	GERING - KEINE

5.5. Maßnahmenkatalog zur Unterstützung oder Realisierung der Zielsetzungen unter klimatisch veränderten Bedingungen

Um die Entwicklungen der einzelnen Biotope in den Kompensationsgebieten nicht zu gefährden, können bei Bedarf Maßnahmen zur Stabilisierung oder Förderung des Entwicklungsprozesses in die Wege geleitet werden. Im Folgenden werden Vorschläge zur Pflege und Unterstützung der Entwicklung der halboffenen Weidelandschaft mit Gehölzstrukturen, Kleingewässer, Fließgewässer, des Röhrichts, Seggenrieds und Niedermoors sowie zur Abwehr von Gefahrenpotenzialen dargestellt.



Abb. 16 Halboffene Weidelandschaft mit Kleingewässer (Foto: Lendner & Weber 2015).

5.5.1. Pflegemaßnahmen für Halboffenes Weideland mit Gehölzstrukturen und Waldausgleichflächen

Maschinelle und manuelle Kulturpflege der Jungbäume und Sträucher: Durch eine Verlängerung der Vegetationsperiode können sich die Wachstumsbedingungen in den Waldarealen und der Weidelandschaft verbessern. Dies gilt auch für nicht erwünschte Arten. Durch Mähen, Sensen und Freischneiden können die jungen standorttypischen Bäume und Sträucher von der Konkurrenz von Gräsern, dem Geflecht der Brombeere usw. freigehalten werden (Staatsbetrieb Sachsenforst 2012).

Jungwuchspflege, Jungbestandspflege und Dickungspflege (Läuterung): Eine Verlängerung der mittleren Vegetationsperiode kann zu verbesserten Wachstumsbedingungen für Pflanzen führen; eine erhöhte Anzahl und Intensität von Sturm und Starkregenereignissen hingegen zu vermehrten Baumbrüchen. Zur Pflege und Weiterentwicklung der jungen Baum- und Strauchbestände, gerade im fortschreitenden Alter, eignen sich insbesondere Maßnahmen wie die Jungwuchspflege zur

Gefahrenabwehr und zur Wachsförderung. Darüber hinaus kann mit Hilfe der Läuterung der Bestand in der Fortwirtschaft reguliert werden (z.B. durch Entfernen von Konkurrenten).

Entfernung standortfremder Arten: Ein Verlängerung der Vegetationsperioden in Verbindung mit einem Anstieg des mittleren Niederschlags hat signifikante Auswirkungen auf das Waldökosystem und die Weidelandschaft mit ihren Gehölzstrukturen, beispielsweise durch ein verstärktes Wachstum erwünschter Arten. Um Konkurrenzen zwischen den standorttypischen und standortfremden Baum- und Straucharten sowie die mögliche Verbreitung standortfremder Schädlinge und Krankheitserreger zu vermeiden, können in den Kompensationsgebieten bei Bedarf Fremdarten – möglichst in einem frühen Stadium – entfernt oder geschlagen werden.

Beweidung: Durch einen Anstieg der mittleren Länge der Vegetationsperiode können sich die Wachstumsbedingungen für Pflanzen und Bäume in der halboffenen Weidelandschaft verbessern. Um dem Wachstum unerwünschter Arten und auch nicht gewollter Waldareale entgegen zu wirken, kann die Beweidung von einer derzeitigen Beweidungsdichte von 0,5 ausgewachsenem Rind pro ha (ganzjährig) auf beispielsweise 1 Rind pro ha erhöht werden.

Vermeidung oder Reduzierung von Schädlingsbefall: Höhere mittlere Temperaturen in Verbindung mit längere mittlere Vegetationsperioden und sich verändernden Niederschlagsmustern begünstigen die Verbreitung von Schädlingen. Um einem möglichen Schädlingsbefall entgegenzuwirken, können bei Bedarf Insektenfallen (z.B. für den Borkenkäfer, Eichenprozessspinner) aufgestellt werden.

Bewässerung: Durch die saisonale Verschiebung der Niederschläge und den Anstieg der mittleren Temperatur, kann sich der Trockenstress im Sommer erhöhen. Um dem entgegenzuwirken, können gerade Jungbäume und kleine Sträucher zusätzlich, d. h. temporär und nach Bedarf, bewässert werden, um das Wachstum zu unterstützen und die Waldbrandgefahr zu reduzieren.

Aufhebung von Drainagen: Niedriggelegene Bereiche der Weidelandschaft sowie die Niedermoorbereiche sind teilweise von Drainagen und kleinen Entwässerungsgräben durchzogen. Zur Vermeidung erhöhter Entwässerung der Weidelandschaft und des Niedermoors können die Drainagen/ Gräben entfernt bzw. mit Erdreich verfüllt werden.

5.5.2. Pflegemaßnahmen für Fließgewässer, Kleingewässer, Niedermoor, Röhricht und Seggenried

Reinigungen: Die Verlängerung der mittleren Vegetationsperiode sowie Veränderungen der saisonalen Niederschlagsmuster können zu mehr Pflanzenwachstum und erhöhter Sedimentation (Verlandung) führen. Zur Vermeidung von

erhöhten Einträgen organischen Grünmaterials ins Gewässer sowie verstärkter Schlamm- und Sedimentbildung können jährliche oder bedarfsorientierte Pflegemaßnahmen der Feuchtbiotope wie manuelle Reinigungen erfolgen.

Reduzierung von Verkrautung: Die Verlängerung der Vegetationsperiode und veränderte Niederschlagsmuster begünstigen ebenfalls die Ausbreitung unerwünschter Arten in den Feuchtbiotopen. Um beispielsweise einer Verkrautung entgegenzuwirken und das Wachstum schwächer wachsender Pflanzen zu ermöglichen, können die Gewässer und Uferbereiche regelmäßig von unerwünschten Krautarten und stark wachsenden Pflanzen befreit werden. Auf diese Weise kann die Artenvielfalt der Feuchtbiotope erhalten oder ausgeweitet werden. Zusätzlich erhöht sich die Aktivität der Biotope und der Verdrängung standorttypischer Arten wird zuvorgekommen.

Vertiefung und Verbreiterung: Eine Erhöhung der mittleren Temperatur sowie eine Veränderung saisonaler Niederschlagsmuster können in den Sommermonaten zu niedrigen Grundwasserständen bzw. Wassersäulen in Gewässern führen. Zudem kann die Konzentration gelöster Nährstoffe durch eine reduzierte Verdünnungsleistung erhöht werden. Um derartigen Prozessen entgegenzuwirken und um den Entwicklung der Biotope insgesamt zu unterstützen, können die Klein- und gegebenenfalls Fließgewässer durch Abgrabung zusätzlich vertieft und verbreitert werden. Dadurch entstehen größere Wasserreservoirs, die sich im Winter und Frühjahr auffüllen können, wodurch im Sommer mehr Wasser zur Verfügung steht. Darüber hinaus können Verbreiterungen des Ufers zu einem verstärkten Abfangen von Sediment- und Nährstofffrachten führen.

Bewässerung/Wasserzufuhr: Zur Stabilisierung der Wassersäulen bei den Klein- bzw. Stillgewässern können zusätzliche Bewässerungsmaßnahmen durchgeführt werden. Dies erlaubt eine temporäre und manuelle Regulierung der Wasserstände. Hierdurch ergeben sich für limnische Arten bessere Entwicklungsmöglichkeiten und es werden größere Schwankungen bei den Nährstoffkonzentrationen vermieden.

Verschattung durch Initialbepflanzung: Zur Reduzierung von Verdunstung und Vermeidung von Austrocknung können standorttypische, schattenspendende Arten im Zuge von Initialbepflanzungen auf der sonnenzugeneigten Seite der Biotope erfolgen

Vermeidung von Bodenarbeiten: Bodenarbeiten verstärken bei trockenen Verhältnissen die Erosion. Eine Minderung dieser Arbeiten verringert Erosionsprozesse und reduziert die Immissionen von Nähr- und Trübstoffen in die Biotope. In Verbindung mit Mulchen kann der Nährstoffeintrag in die Feuchtbiotope zusätzlich reduziert werden.

6. Wiedervernässung der „Seekamper Seewiesen“

6.1. Geoökologische Zielsetzung

Mit der Kompensationsmaßnahme wird das Entwicklungsziel „Erhaltung und Entwicklung eines Feuchtgebietes beziehungsweise Wiedervernässung eines Niedermooses“ verfolgt. Durch Erhaltung und Entwicklung bzw. Renaturierung der Senke der Seewiesen soll ein wertvoller Feuchtlebensraum (mit Schwemmweise und Weiher) geschaffen werden.

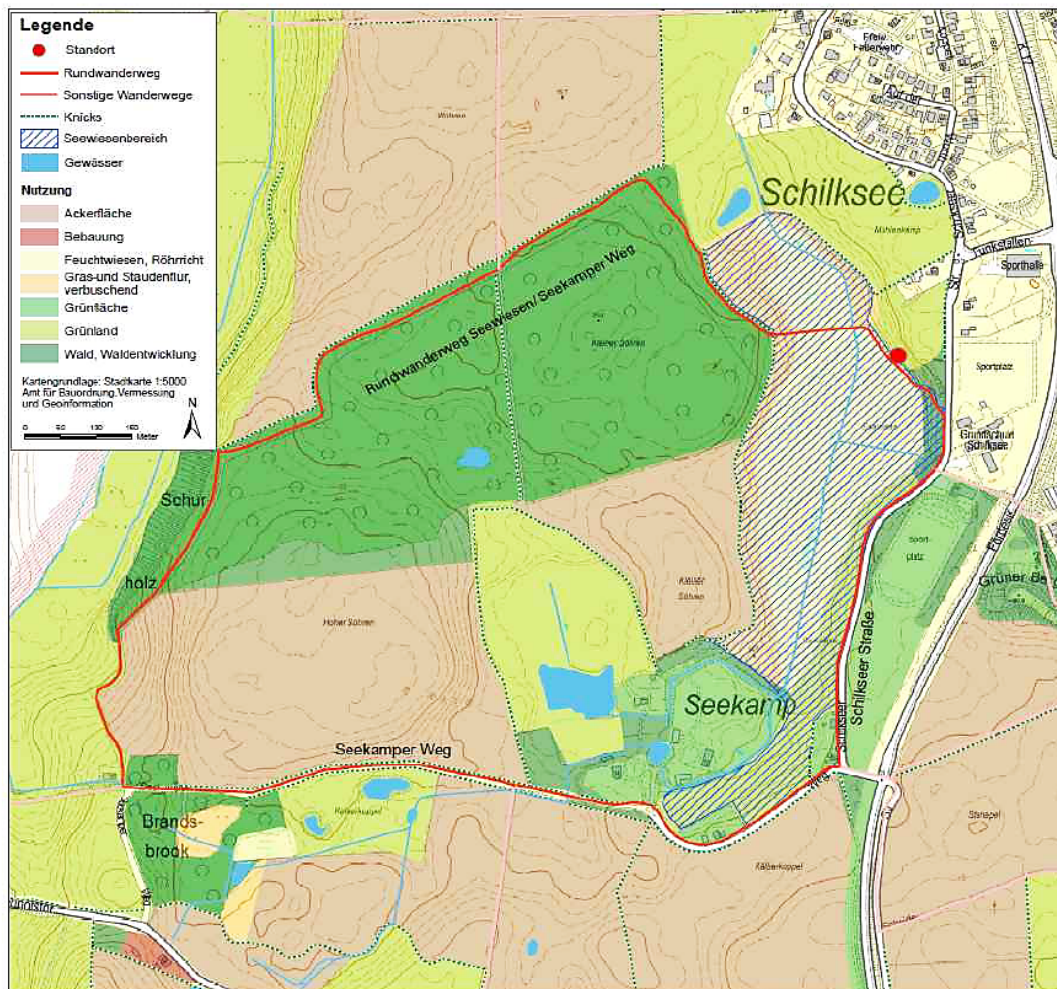


Abb. 17 Darstellung des Kompensationsgebietes – Seewiesen (blau schraffierte Fläche rechts) (Lendner & Weber 2015, Quelle: Landeshauptstadt Kiel, Amt für Bauordnung, Vermessung und Geoinformation).

6.2. Ausgangssituation und Maßnahme

Das Kompensationsgebiet liegt im Kieler Norden, im Stadtteil Schilksee auf der Halbinsel Dänischer Wohld nahe dem Küstenverlauf der Kieler Förde. Es hat eine Länge von ca. 820 m, eine Breite von ungefähr 250 m und somit eine Fläche von 15 ha. Die Seewiesen befinden sich nordöstlich des Guts Seekamp, östlich der

Schilkseer Straße und südwestlich der am Stadtrand gelegenen Siedlung Schilksee. Das Gebiet wird von der Schilkseer Straße (östlich) sowie von Grünland- und Ackerflächen oder bereits aufgeforsteten Arealen (nördlich, südlich und westlich) eingegrenzt. Weiter nördlich befindet sich der Fuhlensee, weiter östlich verläuft die Kreisstraße K17.



Abb. 18 Seekamper Seewiesen Weiher südlicher (links) und nördlicher Bereich (rechts)
(beide Fotos: Lendner & Weber 2015).

Durch die Vereisung des Gebietes während der Weichseleiszeit (vor ca. 20.000 Jahren) hatte sich eine Senke gebildet, die sich zu einem Niedermoor entwickelte. In nördlicher Richtung durchfließt die Schilkseer Au das Gebiet und entwässert es auf natürliche Weise. Um zusätzliches Weideland zu erhalten, wurden die Seewiesen im 19. Jahrhundert künstlich entwässert. Dadurch wurden das Gebiet bzw. die anstehenden Torfe mineralisiert.

Entsprechend der besonderen kulturhistorischen Bedeutung des Gebietes wurden die Seewiesen als Feuchtgebiet wiedervernässt, um sowohl im Rahmen des Klimaschutzes, als auch als Vorrangfläche für den Bodenschutz, Arten- und Biotopschutz erhalten und entwickelt zu werden. Die Wasserverhältnisse werden sukzessiv an den ursprünglichen Zustand angenähert, um das ursprüngliche, landschaftsgeschichtliche Bild wiederherzustellen. Durch den Einbau einer höhenregulierbaren Staustufe am Nordende der Seewiesen (vor dem Zulauf der Au) wurde in einem Zeitraum von ca. zehn Jahren der mittlere Wasserspiegel von einer Höhe von 12,74 m über NN auf 13,70 m (NN) angehoben. Die Erhöhung des Wasserstandes hat einen wertvollen Feuchtlebensraum (mit Schwemmwiese, Weiher und Seggenried) und artenreiche Unterwasservegetation geschaffen.

6.3. Überprüfung und Einschätzung der zukünftigen Zielerreichung

6.3.1. Mögliche zukünftige Auswirkungen auf das lokale Ökosystem

Im Vergleich der modellierten historischen (1976 – 2005) und zukünftigen Daten (2021 – 2050) zeigen die Simulationen für das Untersuchungsgebiet „Seekamper Seewiesen“ folgende Veränderungen: Die mittlere Temperatur wird tendenziell von 7,5 bis 8,8°C auf 8,6 bis 10,3°C ansteigen. Der mittlere Niederschlag pro Tag wird sich geringfügig ändern (von 1,9 bis 2,9 mm/d auf 2,0 bis 3,0 mm/d), allerdings werden sich die Niederschläge ungleich auf das Jahr verteilen. Zudem gilt es bei den Niederschlägen zu beachten, dass diese zeitlich und räumlich heterogen verteilt sind. Beim Auftreten von Starkregenereignissen ist von geringfügigen Veränderungen auszugehen. Gleiches gilt für Auftreten und Länge von Trockenperioden. Für die Vegetationsperiode zeigt sich eine tendenzielle Entwicklung hin zu einem früheren Beginn sowie zu einem Anstieg der mittleren Länge.

Trotz der geringfügigen Veränderungen, werden sich die Veränderungen des Wasserkreislaufs eher negativ auf die Grundwasserressourcen auswirken. Auch ein Anstieg des Trockenstresses im Sommer ist wahrscheinlich, was die Aktivitäten der Bodenfauna und -flora sowie die Bodenstruktur negativ beeinflussen wird. Somit sind in der Summe eher negative Auswirkungen auf das untersuchte Ökosystem (Schwemmweise), wenn auch in geringfügigem Umfang, zu erwarten. Daneben sorgt die Verlängerung der Vegetationsperiode zu mehr Pflanzenwachstum, was positiv zu bewerten ist.

Limnische und aquatisch lebende Arten können durch die ansteigende Temperatur und ungleichverteilte Niederschläge ganz neue Lebensbedingungen erhalten, wobei das Absinken des Grundwasserspiegels beziehungsweise der Wasserstände in Kleinstgewässern, Verkrautungen, Verlandung und die Verschlechterung der Wasserqualität (geringere Verdünnungsleistung, Sauerstoffmangel, Erhöhung der Salzkonzentration) als negative Entwicklungen zu bewerten sind. Durch plötzliche Veränderungen der physikochemischen Parameter kann Organismen die Lebensgrundlage entzogen werden, was sich in einem Rückgang der Artenvielfalt bemerkbar macht.

6.3.2. Einzelbetrachtung Kompensationsmaßnahme „Seekamper Seewiesen“

Das Entwicklungsziel „Erhaltung und Entwicklung eines Feuchtgebietes beziehungsweise Wiedervernässung eines Niedermooses“ kann nicht vorbehaltlos unter klimatisch veränderten Bedingungen erreicht werden (Tab. 17). Die Veränderung einiger Klimaparameter kann negative Folgen für die Entstehung und für die Entwicklung der Feuchtbiotope haben.

Tab. 17 Klimaänderungen und ihre Auswirkungen (+: positiv; 0: keine; -: negativ) auf die Feuchtgebiete.

Klimaänderung Vergleich 1976 – 2005 mit 2021 – 2050	Auswirkungen
Ansteigender Trend bei der mittleren Temperatur (von 7,5 bis 8,8 °C auf 8,6 bis 10,3°C)	- Durch die Temperaturerhöhung wird der Verdunstungsgrad ansteigen, wodurch der mittlere Wasserstand der Feuchtgebiete sinken wird. Dies kann sich negativ auf die Entwicklung limnischer und aquatischer Arten auswirken. Eine niedrige Wassersäule führt bei einer Temperaturerhöhung auch zu einer Erhöhung der Wassertemperatur.
Geringfügige Änderungen bei der mittleren Niederschlagsmenge (von 1,9 bis 2,9 mm/d auf 2,0 bis 3,0 mm/d)	+ Der leichte Anstieg der mittleren Niederschlagsmenge hat voraussichtlich geringfügige – eher positive – Auswirkungen auf die Entwicklung der Schwemmwiesen.
Veränderte saisonale Niederschlagsverteilung	<ul style="list-style-type: none"> - Die saisonalen Veränderungen können die Entwicklung der Schwemm-wiese negativ beeinflussen, weil die Wasserstände von sehr hohen Pegeln im Winter bis zu einem niedrigen Niveau (auch ausgetrocknet) im Sommer reichen können. - Die unterschiedlichen Wasserstände können die Licht- und Sauerstoff-verfügbarkeit beeinflussen (Mosbrugger et al. 2014), wodurch die Ent-wicklung der Artenvielfalt im Gewässer negativ beeinträchtigt werden kann.
Geringfügige Änderungen beim Auftreten von Starkregen (von 0,8 bis 2,2 pro Jahr auf 1,0 bis 2,5 pro Jahr)	<ul style="list-style-type: none"> - Die Starkregenereignisse können temporär erhöhte Nährstoffeinträge verursachen, sowie Erosion hervorrufen. Beide Prozesse beeinträchtigen standorttypische Populationen. - Durch den erhöhte Nährstoffeintrag können sich unerwünschte Arten (Verkrautung) leichter ausbreiten (Mosbrugger et al. 2014). - Starkregenereignisse tragen darüber hinaus kaum zum Auffüllen der Wasserreserve bei. Bei nahezu gleichbleibenden Jahresniederschlägen aber häufigeren Starkregenereignissen sind Veränderungen im lokalen Wasserhaushalt möglich, die sich nachteilig auf die Entwicklung des Biotops auswirken können.
Erhöhte Temperatur + veränderte saisonale Niederschlagsverteilung + Starkregenereignisse	- Die Veränderungen im Wasserkreislauf mit mehr Wasser im Winter und weniger Wasser im Sommer wird zu niedrigeren Wassersäulen im Sommer führen. Der damit verbundene höhere Eutrophierungsgrad kann sich negativ auf die Entwicklung und Verbreitung einiger Populationen auswirken. Darüber hinaus wird die Verbreitung unerwünschter Arten begünstigt.
Anstieg Mittlere Länge der Vegetationsperiode (von 215 bis 258 Tage auf 241 bis 303 Tage)	<ul style="list-style-type: none"> + Die Entwicklung der Schwemm-wiese kann sich dadurch eher positiv gestalten. Mit der Ausweitung der Wachstumsphase haben limnische und aquatisch lebende Arten bessere Entwicklungsbedingungen. - Auch unerwünschte Arten können Nutzen aus der Verlängerung ziehen, was zu einer Verdrängung standorttypischer Arten führen kann. - Durch Verkrautung kann sich die Biomasseproduktion erhöhen und es besteht die Gefahr der Verlandung.

Die größte Gefährdung geht von niedrigen Wasserständen im Sommer bei gleichzeitig hohen Nährstoffkonzentrationen aus, da dadurch die standorttypischen limnischen und aquatisch lebenden Arten und Populationen am stärksten beeinträchtigt werden. Sinkende Sauerstoffgehalte können das Einwirken von Schädlingen und Krankheitserregern begünstigen. Mögliche Folgewirkungen können Verkrautung, Sedimentation und Verlandung sein. Um die Zielsetzung bzw. das Entwicklungsziel dennoch erreichen zu können, müssen gegebenenfalls entsprechende zusätzliche (Pflege-)Maßnahmen den sukzessiven Entwicklungsprozess der Schwemmweise mitgestalten bzw. positiv beeinflussen.

6.3.3. Zusammenfassende Einschätzung

Die auf Basis der Projektionen skizzierten, klimatisch veränderten Bedingungen im Kompensationsgebiet deuten auf ein erhöhtes Gefährdungspotential bei der (eigenständigen) Entwicklung der Feuchtbioptope und Kleingewässer hin. Die größte Herausforderung dürfte dabei das zeitweise Auftreten von nicht ausreichend hohen Wassersäulen für aquatische lebende Arten und Populationen in den Kleingewässern darstellen.

Tab. 18 Übersicht der negativen Auswirkungen (hoch/gering/keine) auf Zielerreichungen von Ökosystemen.

Klimaparameter [Trend des Klimawandels]	Feuchtbioptope (Kleingewässer, Niedermoor)	Feuchtbioptope (Schwemmwiesen)
Mittlere Temperatur [ansteigender Trend]	GERING - KEINE	GERING - KEINE
Mittlerer Niederschlag [geringfügiger Anstieg]	KEINE	KEINE
Jahresgang des Niederschlags [Anstieg: Winter, Frühling, Herbst; Rückgang: Sommer]	HOCH - GERING	HOCH - GERING
Starkregenereignisse [geringfügiger Anstieg]	HOCH - GERING	GERING - KEINE
Mittlere Temperatur [ansteigender Trend] + veränderter Jahresgang des Niederschlags + Starkregenereignisse [geringfügiger Anstieg]	HOCH	HOCH - GERING
Mittlere Länge der Vegetationsperiode [Anstieg]	HOCH - GERING	GERING

In Verbindung mit höheren Verdunstungsraten im Sommer werden zudem die Konzentrationen der Spuren- und Nährstoffe ansteigen und gleichzeitig die Sauerstoffgehalte abnehmen. Folgewirkungen können auch Verkrautung, Sedimentation und Verlandung sein.

6.4. Maßnahmenkatalog zur Unterstützung oder Realisierung der Zielsetzungen unter klimatisch veränderten Bedingungen

Um die Entwicklungen der einzelnen Kompensationsmaßnahmen nicht zu gefährden, können bei Bedarf folgende Maßnahmen zur Stabilisierung oder Förderung des Entwicklungsprozesses ergriffen werden:

Reduzierung und Entfernung von Krautarten: Eine Verlängerung der Vegetationsperioden in Verbindung mit einer Erhöhung der mittleren Temperatur führt zu mehr Pflanzenwachstum und damit auch zur Verbreitung unerwünschter Krautarten. Um dem entgegenzuwirken, kann das Gewässer regelmäßig von Krautarten und anderen stark wachsenden, standortfremden Pflanzen befreit werden. Dadurch bleibt die Artenvielfalt der Schwemmweise (bzw. des Weihers) erhalten, die Weiterentwicklung wird gefördert und einer Verdrängung standorttypischer Arten wird verlangsamt.



Abb. 19 Südlicher Lauf der Schilkseer Au (links) und Ackerflächen westlich der Schwemmweise (rechts) (beide Fotos: Lendner & Weber).

Bewässerung/Wasserzufuhr: Die saisonale Verschiebung der Niederschläge und der Anstieg der mittleren Temperatur, können eine degressive Entwicklung des Wasserspiegels der Schwemmweise zur Folge haben. Um dem entgegenzuwirken und einen stabilen Wasserstand im Biotop zu gewährleisten, kann die Wasserzufuhr bei Bedarf manuell erhöht werden, wodurch limnisch und aquatisch lebende Arten bessere Entwicklungsmöglichkeiten vorfinden. Zudem werden Ungleichgewichte bei den Nährstoffverhältnissen im Wasser reguliert.

Verschattung durch Initialbepflanzung: Zur Reduzierung von Verdunstung und Vermeidung von Austrocknung können standorttypische, schattenspendende Arten

im Zuge von Initialbepflanzungen auf der sonnenzugeneigten Seite der Biotope erfolgen.

Vermeidung von Bodenarbeiten: Bodenarbeiten verstärken bei trockenen Verhältnissen die Erosion. Eine Minderung dieser Arbeiten verringert Erosionsprozesse und reduziert die Immissionen von Nähr- und Trübstoffen in die Schwemmweisen.

7. Zusammenfassendes Fazit

Eingriffe gemäß des Gesetzes über Naturschutz und Landschaftspflege sind im urbanen Bereich keine Seltenheit. Die Verursacher dieser Eingriffe sind verpflichtet, unvermeidbare Beeinträchtigungen auszugleichen oder zu ersetzen. Im Hinblick auf die projizierten klimatischen Veränderungen gilt es vorausschauend die Funktionstüchtigkeit der Kompensationsmaßnahmen unter klimatisch veränderten Bedingungen einzuschätzen. Hierzu wurde für das GERICS-Stadtbaukastenmodul „Klimawandeltaugliche Kompensationsmaßnahmen“ eine Vorgehensweise erarbeitet.

Die Methode umfasst vier Arbeitsschritte. Da im Zuge der Entwicklung und Auswertung der Methodikschritte neue Klimaprojektionen hinzukamen, konnten die Ergebnisse aus zwei Ansätzen – Verwendung einer Klimaprojektion beziehungsweise eines Ensembles aus 34 Klimaprojektionen – verglichen und bewertet werden. Dabei wird deutlich, dass die Verwendung von nur einer Klimaprojektion nicht ausreicht, um mögliche zukünftige Entwicklungen vollständig erfassen zu können. Vielmehr werden Trends aufgezeigt, die unter Umständen falsche Anpassungsmaßnahmen implizieren. Nur unter Verwendung der gesamten Bandbreite möglicher zukünftiger klimatischer Entwicklungen ist es möglich passende Managementstrategien zu entwickeln, mit denen Prozesse sinnvoll gesteuert werden können.

Die im Rahmen dieser Studie projizierten Änderungssignale sind verhältnismäßig schwach, so dass eher gering ausgeprägte klimatische Veränderungen mit geringfügigen Auswirkungen zu erwarten sind. Klimatische Veränderungen in Schleswig-Holstein bzw. in den untersuchten Kompensationsgebieten der Landeshauptstadt Kiel werden voraussichtlich keine erheblichen Auswirkungen auf die Neuwaldbildung bzw. Waldentwicklung durch Erstaufforstung sowie die Entwicklung der halboffenen Weidelandschaft haben. Somit ist davon auszugehen, dass die Entwicklungsziele erreicht werden, so dass 2050 Waldareale, Niedermoor-, Röhricht- sowie Seggenriedbereiche und eine halboffene Weidelandschaft entstanden sind.

Dagegen kann die (eigenständige) Entwicklung von Feuchtbiotopen, wie Klein-, Still- und Fließgewässer, Niedermoorbereichen und partiell auch Schwemmwiesen, eher oder teilweise gefährdet sein. Im Zuge höherer mittlerer Temperaturen und veränderter Niederschlagsmuster können zeitweise nicht ausreichende Wassersäulen – vor allem im Sommer – auftreten. In Verbindung mit höheren Nährstoffkonzentrationen (stärkerer Eintrag und geringere Verdünnungsleistung) kann das Wachstum von Schädlingen und Krankheitserregern sowie die Verkrautung begünstigt werden, was der Erreichung der Zielsetzung der Kompensationsmaßnahmen entgegenwirkt.

Um diese Entwicklungsziele dennoch erreichen zu können, besteht die Möglichkeit durch zusätzliche (Pflege-)Maßnahmen die eigenständige Entwicklung positiv zu beeinflussen.

Die in diesem Bericht getroffenen Aussagen können nicht per se auf andere Fallbeispiele übertragen werden, so dass hier jeweils eine Einzelfallprüfung notwendig ist.

Darüber hinaus wird empfohlen, dass der Entwicklungsprozess der Kompensationsmaßnahmen durch ein langfristiges Monitoringprogramm begleitet wird. Dadurch können Unterstützungsmaßnahmen wenn nötig fachgerecht initiiert werden, um das Risiko von Fehlentwicklungen zu minimieren. Zusätzlich können Entwicklungsstände der Kompensationsmaßnahmen protokolliert werden. Das Verfahren kann im Rahmen eines Stichprobenmonitorings oder stetigen Monitorings angewandt werden. Fachbehörden, Landschaftspflegeverbände oder -einrichtungen könnten entweder nach eigenem Ermessen (stichprobenartig) oder periodisch (stetig) die Entwicklungsstände der Kompensationsmaßnahmen gegenüber Ausgangszustand und jeweiliger Zielsetzung überprüfen. Bis 2030 sollten die Kompensationsgebiete durch Vor-Ort-Begehungen zweimal jährlich, danach einmal jährlich durchgeführt werden.

8. Literatur

Bender, S., Brune, M., Cortekar, J., Groth, M. & Remke, T. (2017): Anpassung an die Folgen des Klimawandels in der Stadtplanung und Stadtentwicklung. - Der GERICS-Stadtbaukasten. – GERICS-Report 31, 73 S.

Bender, S., Cortekar, C. & Jacob, D. (2016): Klimaresiliente Stadt - Was sagen Klimamodell-Projektionen über die Zukunft von Städten aus und wie können Städte diese Zukunft beeinflussen und meistern? - Gewässerschutz – Wasser – Abwasser, 239, 32/1 bis 32/14.

BNatSchG – Bundesnaturschutzgesetz (Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege). Zuletzt geändert durch Verordnung vom 31.08.2015 (BGBl. I S. 1474) m.W.v. 08.09.2015.

Bowler, D.E., Haasse, P. & Kröncke, I., Tackenberg, O., Bauer, H.G., Brendel, C., Brooker, R.W., Gerisch, M., Henle, K., Hickler, T., Hof, C., Klotz, S., Kühn, I., Matesanz, S., O'Hara, R., Russell, D., Schweiger, O., Valladares, F., Welk, E., Wiemers, M. & Böhning-Gaese, K. (2015): A cross-taxon analysis of the impact of climate change on abundance trends in central Europe. - *Biological Conservation* 187, 41-50.

Bender, S., Brune, M., Cortekar, J., Groth, M. & Remke, T. (2017): Klimaanpassung in der Stadtplanung und Stadtentwicklung: Das Beratungsangebot Stadtbaukasten. – Report, Climate Service Center Germany, Hamburg [im Druck]

Brune, M. (2016): Urban trees under climate change. Potential impacts of dry spells and heat waves in three German regions in the 2050s. - Report 24. Climate Service Center Germany, Hamburg.

Ellenberg, H. & Leuschner, Ch. (2010): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. Zusatzmaterialien: Zeigerwerte der Pflanzen Mitteleuropas, 110 S.

Erbs, G. und Kohlhaas, M. (2016): Strafrechtliche Nebengesetze, 209. Auflage, 2016. Loseblatt. München.

Essl, F. & Rabitsch, W. [Hrsg.] (2013): Biodiversität und Klimawandel. Auswirkungen und Handlungsoptionen für den Naturschutz in Mitteleuropa (6. Aufl.) 458 S..

Lendner, J.-C. & Weber, B. (2015): Überprüfung von Kompensationsmaßnahmen in Kiel Analyse der Funktionstüchtigkeit von Ausgleichsmaßnahmen vor dem Hintergrund klimatisch veränderter Bedingungen in der Stadt Kiel. – Unveröffentl. Bericht, 57 S.

Hickler, T., Vohland, K., Feehan, J., Miller, P.A., Smith, B., Costa, L., Giesecke, T., Fronzek, S., Carter, T.R., Cramer, W., Kühn, I., Sykes, M.T. (2012): Projecting the future distribution potential natural vegetation zones with a generalized, tree species-based dynamic vegetation model. - *Global Ecology and Biogeography*, 21, 50-63.

Jacob, D. & Podzun, R. (1997): Sensitivity studies with the regional climate model REMO. - *Meteorol. Atmos. Phys.*, 63: 119–129. doi:10.1007/BF01025368

Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., Alias, A., Christensen, A.B., Bouwer, L.M., Braun, A., Colette, A., Dequeue, M., Georgievski, G., Georgopoulou, E., Gobiet, A., Menut, L., Nikulin, G., Hänsler, A., Hempelmann, N., Jones, C., Keuler, K., Kovats, S., Kroner, N., Kotlarski, S., Kriegsmann, A., Martin, E., van Meijgaard, E., Moeseley, C., Pfeifer, S., Preuschmann, S., Radermacher, C., Radtke, K., Rechid, D., Rounsevell, M., Samuelsson, P., Somot, S., Soussanna, J-F., Teichmann, C., Valentini, R., Vautard, R., Weber, B., Yiou, P. (2014): EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research *Regional Environmental Changes*. Vol. 14, Issue 2, pp. 563-578.

Kartendienst der Landeshauptstadt Kiel. Stadtplan: <http://ims.kiel.de/extern/kielmaps/>,
07.09.2016

Landeshauptstadt Kiel, Amt für Bauordnung, Vermessung und Geoinformation (o.A.): Karte
Seekamper Seewiesen

Landeshauptstadt Kiel, Grünflächenamt (2013): Antrag auf Genehmigung nach den §§ 8, 9
und 11 LNatSchG. Aufforstung in der Gemeinde Mielkendorf.

Landeshauptstadt Kiel, Grünflächenamt (2007): Freiräumliches Leitbild Kiel und Umland.

Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Ländliche Räume des Landes Schleswig-
Holstein (2011): Fahrplan Anpassung an den Klimawandel, 63 S.

Ministerium für Umwelt, Natur und Forsten Landes Schleswig-Holstein (2000): Erläuterungen
zum Landschaftsrahmenplan für den Planungsraum III. Kreise Rendsburg-Eckernförde und
Plön, kreisfreie Städte Kiel und Neumünster.

Mosbrugger, V., Brasseur, G., Schaller, M. & Stribny, B. [Hrsg.] (2014): Klimawandel und
Biodiversität – Folgen für Deutschland, 420 S.

Möller, W. (2013): Umweltrecht und Landnutzungsrecht. Band 4., Naturschutzrecht. 5.
Auflage, Hannover/Göttingen.

Schumacher, J. und Fischer-Hüftle, P. (2011): Bundesnaturschutzgesetz, Kommentar. 2.
Auflage, 1043 S. Stuttgart.

Staatsbetrieb Sachsenforst: Freistaat Sachsen [Hrsg.] (2012): Walderneuerung und
Erstaufforstung, 26 S.

Verordnung (EU) Nr. 1305/2013 des Europäischen Parlaments und des Rates vom
17. Dezember 2013 über die Förderung der ländlichen Entwicklung durch den Europäischen
Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums (ELER) und zur Aufhebung
der Verordnung (EG) Nr. 1698/2005 (ELER-VO 2014-2020).

v. Storch, H. & Claussen, H. [Hrsg.] (2011): Klimabericht für die Metropolregion Hamburg,
300 S.,

Wu, D., Zhao, X., Liang, S., Zhou, T., Huang, K., Tang, B. & Zhao, W., (2015): Time-lag
effects of global vegetation responses to climate change. – Global Change Biology, Vol. 21,
9, 3520–3531.



Kontakt:

Climate Service Center Germany (GERICS)

Fischertwiete 1 | 20095 Hamburg | Germany
Tel +49 (0)40 226 338-0 | Fax +49 (0)40 226 338-163
www.climate-service-center.de

Eine Einrichtung des

 **Helmholtz-Zentrum
Geesthacht**

Zentrum für Material- und Küstenforschung

ISSN 2509-386X