

# Schlussbericht

<b>Zuwendungsempfänger</b> Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA)	<b>Förderkennzeichen</b> 28WB403003
<b>Vorhabenbezeichnung</b> Optimierung der Waldbewirtschaftung und Holzverwendung mit dem Ziel, die CO <sub>2</sub> -Senkenleistung Wald und Holz nachhaltig zu steigern. Akronym: CO-2-OPT – Teilvorhaben 3	
<b>Laufzeit des Vorhabens</b> 01.10.2014 - 28.02.2018	
<b>Berichtszeitraum</b> 01.10.2014 - 28.02.2018	

## I. Kurze Darstellung zu

### 1. Aufgabenstellung

Die **Aufgabenstellung** ergibt sich aus dem Zweck der Zuwendung:

Gegenstand des Vorhabens war die Entwicklung einer optimierten Waldentwicklung am Beispiel der Region des Landkreises Harburg, die auch unter den Bedingungen des Klimawandels zu einer Steigerung der CO<sub>2</sub>-Senkenleistung des Waldes führt. Gleichrangig sollten Möglichkeiten bis hin zur Umsetzung aufgezeigt werden, in die energetische und stoffliche Verwendung des Produkts Holz in der Region erheblich zu investieren.

Unter den Bedingungen eines fortschreitenden Klimawandels sollten Varianten erarbeitet werden, die geeignet sind, die CO<sub>2</sub>-Speicherfähigkeit des Waldes zu erhöhen. Diese Varianten sollten in einem Projektbeirat, der alle relevanten mit Wald befassten gesellschaftlichen Gruppen umfasst, zur Diskussion gestellt werden.

Folgende Ansprüche wurden prioritär betrachtet:

- Wasserschutz, insbesondere Grundwasserschutz unter Berücksichtigung der Wasserförderung der Stadt Hamburg
- Natur- und Artenschutz
- Erholungsnutzung/Fremdenverkehr
- Wirtschaftsfaktor Wald und Holz

Im Ergebnis sollte ein abgestimmter Masterplan für die Region erarbeitet werden.

Die Aufgabenstellung aus dem Zweck der Zuwendung wurde **Arbeitspakete** aufgeteilt. An folgenden Arbeitspaketen war das Teilvorhaben 3 maßgeblich beteiligt:

- Arbeitspaket 1: Naturaldaten Wald (verantwortlich NW-FVA)
- Arbeitspaket 2: Optimierung Wald (verantwortlich LWK Niedersachsen)

- Arbeitspaket 5: Projektbeirat (verantwortlich Forstwirtschaftliche Vereinigung Nordheide-Harburg)

## 2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Personell war das Teilvorhaben mit einer Vollzeitstelle eines Wissenschaftlichen Mitarbeiters ausgestattet. Entgegen der ursprünglichen Planung erfolgte die Einstellung des Projektmitarbeiters erst zum 15.01.2015. Zusätzlich zeichnete sich für das Jahr 2017 eine weitere Verzögerung durch die zweimonatige Elternzeit des Projektmitarbeiters (05.01.2017 bis 05.03.2017) ab. Ein mit den Projektpartnern abgestimmter Antrag auf Verlängerung des Projektes um fünf Monate bis zum 29.02.2018 wurde seitens des Projektträgers bewilligt.

Erforderliche Eigenleistungen in Form von Stammpersonal, Querschnittsaufgaben und Infrastruktur wurden von der NW-FVA eingesetzt. Hierzu zählen insbesondere die Projektleitung an der NW-FVA durch Prof. Dr. J. Nagel und Prof. Dr. H. Spellmann.

Inhaltlich ergaben sich häufig Schnittmengen zu anderen an der NW-FVA durchgeführten oder laufenden Projekten. Hier konnte in erheblichen Maße auf bereits vorhandenes Wissen (z.B. in Form von Berechnungsmodellen) zurückgegriffen werden.

Die Bearbeitung der Arbeitspakete erfolgte in enger Zusammenarbeit zwischen den Projektpartnern auf Basis einer abgeschlossenen Kooperationsvereinbarung.

## 3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Zur operationalen Umsetzung wurden die **Arbeitspakete** in folgende **Meilensteine** gegliedert:

<b>Arbeitspaket</b>	<b>Meilenstein</b>	<b>Fertigstellung</b>
I - Naturaldaten Wald	1 - Datenbeschaffung	3/2016
I - Naturaldaten Wald	2 - Ist-Analyse	3/2016
II - Optimierung Wald	3 - Strategie CO <sub>2</sub> -OPT	12/2016
II - Optimierung Wald	4 - Fortschreibung der Waldentwicklung	10/2017
übergreifend	5 - Handlungsempfehlungen für die Praxis	1/2018
übergreifend	6 - Erstellung eines "Masterplans" (Kapitel Waldentwicklung)	2/2018

Die Präsentation der Ergebnisse im Projektbeirat (Arbeitspaket 5) erfolgte projektbegleitend zu den jeweiligen Sitzungen der Arbeitsgruppen bzw. des Beirats.

#### 4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde, insbesondere Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden, Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste

Von der verfügbaren Fachliteratur bzw. Berechnungsprogrammen waren folgende für das Projekt wesentlich:

- Klimaprojektionen zu Niederschlags- und Temperaturveränderungen des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung (PIK)  
Orlowsky B, Gerstengarbe F-W, Werner PC (2008): A resampling scheme for regional climate simulations and its performance compared to a dynamical RCM. *Theor Appl Climatol* 209–223
- Abschätzung der Standortwasserbilanz  
Overbeck M, Schmidt M, Fischer C, et al (2011) Ein statistisches Modell zur Regionalisierung der nutzbaren Feldkapazität von Waldstandorten in Niedersachsen. *Forstarchiv* 82:92–100
- Klimasensitive Standort-Leistungsmodelle  
Schmidt M (2010): Ein standortsensitives, longitudinales Höhen-Durchmesser-Modell als eine Lösung für das Standort-Leistungs-Problem in Deutschland. *Tagungsband DVFFA—Sektion Ertragskunde Körbecke Am Möhnesee* 131–152
- Java-Programm Bonitierung von Reinbeständen  
Nagel J: Bonitierung von Reinbeständen. NW-FVA, Göttingen 2016  
<https://www.nw-fva.de/index.php?id=3>
- Kohlenstoffstudien der NW-FVA für Niedersachsen  
Wördehoff, R.; Spellmann, H.; Evers, J.; Nagel, J. (2011): Kohlenstoffstudie Forst und Holz Niedersachsen. *Beiträge aus der NW-FVA, Band 6*, 93 S.  
Wördehoff, R.; Fischer, C.; Spellmann, H. (2017): II. Cluster- und Kohlenstoffstudie Forst und Holz Niedersachsen. *Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (Hrsg.), Göttingen*, 40 S.
- Biomasseschätzungen  
Rumpf S, Nagel J, Schmidt M: Biomasseschätzfunktionen von Fichte (*Picea abies* L.), Kiefer (*Pinus sylvestris* L.), Buche (*Fagus sylvatica* L.), Eiche (*Quercus robur* und *petraea* L.) und Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* L.) für Nordwestdeutschland; in: *Forschungsvorhaben: Möglichkeiten und Grenzen der Vollbaumnutzung*; hrsg. v. NW-FVA; Göttingen 2012  
Husmann K, Rumpf S, Nagel J (2017): Biomass functions and nutrient contents of European beech, oak, sycamore maple and ash and their meaning for the biomass supply chain. *Journal of Cleaner Production*
- Holzproduktmodell

Wördehoff, R. (2016): Kohlenstoffspeicherung als Teilziel der strategischen Waldbauplanung erläutert an Reinbeständen verschiedener Baumarten in Niedersachsen. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie der Georg-August Universität Göttingen. 191 S.

- Faktoren für stoffliche und energetische Substitution

Rüter S (2011) Welchen Beitrag leisten Holzprodukte zur CO<sub>2</sub>-Bilanz? AFZ-Der Wald 15-18.

- Waldwachstumskundliche Softwaresysteme

Hansen J. Nagel J.: Waldwachstumskundliche Softwaresysteme auf Basis von TreeGrOSS: Anwendung und theoretische Grundlagen. (Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt 11); Univ.-Verl, Göttingen 2014

Nagel J. <https://www.nw-fva.de/?id=194#524>; Zugriff am 04.09.2017

- Weitere für das Projekt wichtige Studien und Forschungsergebnisse auf Regional- oder Landesebene

Knauf M., Frühwald A., Köhl M., Landesbetrieb Wald und Holz Nordrhein-Westfalen: Wald und Klimaschutz in NRW Beitrag des NRW Clusters ForstHolz zum Klimaschutz - Langfassung der Studie. im Auftrag des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen und des Landesbetriebs Wald und Holz Nordrhein-Westfalen, Münster 2013

Mund M., Frischbier N., Profft I.: Klimaschutzwirkung des Wald- und Holzsektors: Schutz- und Nutzungsszenarien für drei Modellregionen in Thüringen: Ergebnisse des F+E-Vorhabens „Ökosystemleistungen naturnaher Wälder in der Wald- und Klimapolitik“ (FKZ 3511 84 0200). (BfN-Skripten 396); BfN, Bonn-Bad Godesberg 2015

Spellmann H., Suttmöller J., Meesenburg H. (2007): Risikovorsorge im Zeichen des Klimawandels. AFZ-Der Wald 1246-1249

Spellmann H., Meesenburg H., Schmidt M., Nagel R., Suttmöller J., Albert M. (2015): Klimaanpassung ist Vorsorge für den Wald. proWald

- Weitere für das Projekt wichtige Studien auf Bundesebene

Wissenschaftlicher Beirat Agrarpolitik, Ernährung und gesundheitlicher Verbraucherschutz und Wissenschaftlicher Beirat Waldpolitik beim BMEL: Klimaschutz in der Land- und Forstwirtschaft sowie den nachgelagerten Bereichen Ernährung und Holzverwendung. Berlin 2016

Umweltbundesamt: Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2014. Dessau-Roßlau 2014

- Arbeitsergebnisse der Arbeitsgemeinschaft zur Überarbeitung des Band 54 - Richtlinie zur Baumartenwahl (Niedersächsische Landesforsten und Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt)
- TreeGrOSS Software Paket

- Hansen, J.; Nagel, J. (2014): Waldwachstumskundliche Softwaresysteme auf Basis von TreeGrOSS - Anwendung und theoretische Grundlagen. Beiträge aus der NW-FVA, Band 11, 224 S.

## 5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die engere Zusammenarbeit beschränkte sich im Wesentlichen auf die Projektpartner. Darüber hinaus erfolgte die Bereitstellung von Standorts- und Forsteinrichtungsdaten durch die Niedersächsischen Landesforsten und die Klosterkammer Hannover. Zum Projektende erfolgte eine Zusammenarbeit mit der Abteilung Forstökonomie und Forsteinrichtung an der Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie der Georg-August-Universität Göttingen zur Erstellung des Klimarechners für den Deutschen Forstwirtschaftsrat (DFWR).

## II. Eingehende Darstellung

### 1. Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

#### 1.1 Verwendung der Zuwendung

Die Mittel des Zuwendungsgebers wurden ausschließlich für Personalkosten verwendet. Eine ausführliche Darlegung erfolgte im Verwendungsnachweis mit anliegender Belegliste (siehe Schreiben vom 23.03.2018).

Für weitere Kosten, wie zum Beispiel anfallende Reisekosten und Tagungskosten, kam der Zuwendungsempfänger auf.

#### 1.2 Verwendung des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Die Hauptziele des Teilvorhabens ergeben sich aus dem Zweck und wurden operational in Teilziele (Meilensteine) gegliedert (siehe Kapitel 1.3). Im Folgenden werden die einzelnen Ergebnisse in den Meilensteinen und deren Verwertung dargelegt. Schließlich wird die Zielerreichung im Hinblick auf das Projektziel beurteilt.

##### 1.2.1 Meilenstein 1 - Datenbeschaffung Ergebnisse

Im Ergebnis liegt eine umfangreiche **Datenbasis** vor. Diese enthält die nötigen Geo- und Sachdaten zur Berechnung des CO<sub>2</sub>-Speichers und einer Ist-Analyse (Zustandsbeschreibung) der Wälder im Landkreis Harburg. Zudem kann auf planungsrelevante Informationen, wie zum Beispiel Schutzgebietskulissen, die Standortkartierung und Klimadaten, zurückgegriffen werden.

Betrachtet wurden die flächenmäßig bedeutendsten Waldbesitzarten Privatwald (PW), Landeswald (Niedersächsische Landesforsten, NLF) und der Klosterkammerforstbetrieb (KFB). Als Datengrundlage für die vorhandene Bestockung konnten folgende Inventuren der Forsteinrichtungen genutzt werden:

Waldbesitzart	Art der Erhebung	Stichtag
Privatwald	Bestandesinventur	1993-2015
Landeswald	Bestandesinventur	2007
Klosterkammerforstbetrieb	Betriebsinventur	2010

Im Gegensatz zu den Bestandesinventuren mit Informationen auf Bestandesebene im Privatwald und im Landeswald, stand für den KFB eine Betriebsinventur mit Einzelbaummessungen in Bezug auf Stichprobenpunkte zur Verfügung.

Die Kulisse folgender öffentlich-rechtlichen Schutzgebiete lag in Form von Geodaten vor:

- Naturschutzgebiete
- FFH-Gebiete
- Wasserschutzgebiete
- Landschaftsschutzgebiete

Zu beachten ist, dass eine vollständige Kartierung der Lebensraumtypen in den FFH-Gebieten für den Landkreis nicht vorhanden war.

Die Waldschutzgebiete der NLF als Schutzgebiete mit Eigenbindung waren in den Forsteinrichtungsdaten enthalten.

Zur Abbildung der Wuchsbedingungen standen für die Region Standortkartierungen nach niedersächsischem Verfahren mit hoher Flächenabdeckung (rd. 89 % der Waldfläche) zur Verfügung. Die Standortkartierung ist eine unerlässliche Grundlage für die klimasensitive Schätzung der Standortleistung, die Abschätzung von Trockenstressrisiken sowie Empfehlungen zur Baumartenwahl.

Die Verwendung von modellierten Klimadaten ermöglichte die Berücksichtigung sich ändernder Klimabedingungen in der Region. Dabei konnte auf die Mittelwerte der Klimaperioden 1981 bis 2010, 2011 bis 2040 sowie 2041 bis 2070 zurückgegriffen werden, die auf dem Globalmodell ECHAM6 sowie dem Emissionsszenario RCP 8.5 basieren und mit Hilfe des Modells STARS regionalisiert wurden.

### *Verwertung*

Aus den Ausgangsdaten wurde eine Datenbasis für die Wälder der Projektregion erstellt. Diese bildete die Grundlage für alle weiteren Berechnungen.

### *1.2.2 Meilenstein 2 - Ist-Analyse Ergebnisse*

Das vorrangige Ergebnis der Untersuchung war die mengenmäßige Erhebung des im Wald des Landkreises Harburg gebundenen Kohlendioxids für das Jahr 2015 (**CO<sub>2</sub>-Speicher Wald**) anhand der Waldinventurdaten. Zudem wurde der CO<sub>2</sub>-Speicher in seinen Kompartimenten dargestellt und der Wald in der Region im Rahmen einer **forstlichen Zustandsbeschreibung** analysiert. Damit einhergehend wurden auch Auswertungen zu den forstlichen Standorten sowie zur **Abschätzung des heutigen und künftigen Trockenstressrisikos für die Hauptbaumarten** auf Basis der berechneten Standortwasserbilanzen und baumartenspezifischen Schwellenwerte der NW-FVA vorgenommen. Auf Grundlage der Trockenstressrisiken wurden **Risikokarten für die Hauptbaumarten** erarbeitet.

### *Verwertung*

Die Ergebnisse (Zustandsbeschreibung, CO<sub>2</sub>-Speicher, Risikokarten) wurden einerseits zur Beratung des Projektbeirats, für einen Tagungsvortrag und für

Veröffentlichungen genutzt (siehe II.6). Andererseits dienten sie als Grundlage zur Erarbeitung von Entscheidungsgrundlagen und Handlungsempfehlungen für die Praxis (Meilenstein 5). Zusätzlich sind die Ergebnisse der Ist-Analyse in den Masterplan eingeflossen.

### *1.2.3 Meilenstein 3 - Strategie CO<sub>2</sub>-OPT*

#### *Einleitung*

Als Zuwendungszweck für das Vorhaben war „die Entwicklung einer optimierten Waldentwicklung am Beispiel der Region des Landkreises Harburg, die auch unter den Bedingungen des Klimawandels zu einer Steigerung der CO<sub>2</sub>-Senkenleistung des Waldes führt“ formuliert. Eine unter dieser Zielsetzung optimierte Waldentwicklung muss auf eine Anpassung an den Klimawandel (Adaption) und auf die Erhöhung der Klimaschutzleistung (Mitigation) ausgerichtet sein. Der Klimaschutzbeitrag der Forst- und Holzwirtschaft setzt sich aus der Speicherung von Kohlenstoff im Wald (Waldspeicher), dem Holzproduktspeicher und Substitutionseffekten zusammen.

Wesentliche Stellschrauben sowohl für eine verbesserte Adaption als auch zur Erhöhung der Klimaschutzleistung stellen die waldbaulichen Entscheidungen zur Baumartenwahl und die Festlegung der Zieldurchmesser dar. Diese Entscheidungen stehen aufgrund der Baumartenzusammensetzung und des Altersaufbaus der Wälder im Landkreis Harburg in zunehmendem Umfang an. Gleichzeitig liegen dem Entscheidungsträger für wichtige Weichenstellungen nur wenige Informationen (z.B. Leistungsveränderungen im Klimawandel, Klimaschutzleistung der Hauptbaumarten) vor.

#### *Ergebnisse*

Auf Grundlage der heutigen standörtlichen Gegebenheiten und der Höhenmesswerte der Betriebsinventur wurde ein Regressionsmodell zur **Korrektur der aktuellen Bonitäten** entwickelt. Unter Verwendung der modellierten Klimadaten sowie des longitudinalen Durchmesser-Höhen-Modells (Schmidt 2010) und vorläufiger Ertragstafelfunktionen wurde eine **klimasensitive Schätzung der Leistungsveränderung** bis 2070 für die Hauptbaumarten vorgenommen.

Zur Erhöhung der Klimaschutzleistung muss diese als eine Grundlage für Anbauempfehlungen bilanziert werden. Zu diesem Zweck wurde durch Modellkopplung zwischen den verbesserten Ertragstafeln und einem Holzproduktmodell (HPM) sowie Substitutionsfaktoren aus der Literatur, ein einfaches Modell zur **Abschätzung der potenziellen Klimaschutzleistung** für die Hauptbaumarten erarbeitet.

Darauf aufbauend wurden für die Hauptbaumarten die **Produktionszeiträume bzw. Zieldurchmesser** mit einer **möglichst hohen Mitigationsleistung** für vier Bonitätsstufen bilanziert.

Als planerische Grundlage für die standörtliche Zuordnung der Waldentwicklungstypen (WET) diente eine Standort-WET-Matrix, in der die WET bestimmten Wasserhaushalts- und der Nährstoffziffern zugeordnet sind. Um die sich mit dem Klimawandel verändernden Angebote an pflanzenverfügbarem Wasser in der Vegetationszeit zu berücksichtigen, diente für den Wasserhaushalt die erarbeitete Standortwasserbilanz (Meilenstein 1) als Zuordnungskriterium unter Berücksichtigung der bauartenspezifischen Schwellenwerte für das

Trockenstressrisiko und der Leistungserwartung der Baumarten. In die Überlegungen flossen auch die langfristigen Klimaschutzleistungen der Baumarten auf dem jeweiligen Standort mit ein. Je nach Eignung übernehmen die Baumarten in den WET eine führende, beigemischte oder begleitende Rolle. Im Ergebnis liegen für die Projektregion **Empfehlungen für die Baumartenwahl** vor. Diese haben einen regionalen Charakter und tragen den aktuellen Erkenntnissen der Klimafolgenforschung Rechnung.

#### *Verwertung*

Insbesondere die Ergebnisse zur Abschätzung der potenziellen Klimaschutzleistung fanden in einer Veröffentlichung (Schulz et al. 2017) und in einem Tagungsvortrag Verwendung. Die WET-Matrix mit den Empfehlungen zur Baumartenwahl ist eine wesentliche Basis der Handlungsempfehlungen für die Praxis (Meilenstein 5). Die Ergebnisse wurden zudem in der Projektbroschüre veröffentlicht und im Masterplan verwendet.

Außerdem flossen die gewonnenen Erkenntnisse auch in das C-Modul (Kalkulationstool Kohlenstoff des ForestSimulators (Nagel 2017) ein. Dazu erschien eine Veröffentlichung, an der der Projektbearbeiter mitwirkte (Wördehoff et al. 2017).

Zusätzlich wurde die Erstellung des DFWR-Klimarechners unterstützt (DFWR-Klimarechner 2018). Hierzu werden zeitnah einige Veröffentlichungen erscheinen (siehe II.6).

#### *1.2.4 Meilenstein 4 - Fortschreibung der Waldentwicklung*

##### *Ergebnisse*

Mithilfe eines eigens für die vorhandene Datengrundlage programmierten Java-Programms wurde die Waldentwicklung unter Annahme verschiedener Bewirtschaftungsstrategien bis 2075 fortgeschrieben. Diese **Szenariosimulationen** dienten der Abbildung der Auswirkungen unterschiedlicher Waldbewirtschaftungsziele unter den Bedingungen des voranschreitenden Klimawandels auf die Waldentwicklung sowie auf die Klimaanpassung und die erzielten Klimaschutzwirkungen. Die in den einzelnen Szenarien („Referenz“, „Klimaschutz“, „Naturschutz“, „Wasserschutz“) umgesetzten Bewirtschaftungsziele entsprachen dabei den im Projektzweck genannten prioritär zu beachtenden Ansprüchen. Konkret liegen heute für alle Szenarien Ergebnisse zum Waldzustand bis zum Jahr 2075 bezüglich **Waldstruktur, Holzvorrat, Zuwachs und Holznutzungspotenzialen, Waldverjüngung, Anpassung an Trockenstressrisiken, und zur langfristigen Klimaschutzleistung** vor. Das Szenario „Klimaschutz“, das im Wesentlichen auf der in Meilenstein 3 entwickelten Strategie CO<sub>2</sub>-OPT beruht, hebt sich im Hinblick auf die erzielte langfristige Klimaschutzleistung sowie durch eine verbesserte Anpassung an Trockenstressrisiken von den anderen Szenarien ab.

#### *Verwertung*

Die Ergebnisse aus den Szenariosimulationen wurden größtenteils für die Erstellung des Masterplans sowie als Grundlage für die Handlungsempfehlungen genutzt. Daneben wurden die Ergebnisse intensiv im Projektbeirat präsentiert und waren Gegenstand des Vortrags auf der Abschlussveranstaltung.

### *1.2.5 Meilenstein 5 - Handlungsempfehlungen für die Praxis*

#### Ergebnisse

Bereitstellung von Shapefiles mit Risikokarten, Karten heutiger Arbeitsschwerpunkte, Karten mit einer Standortstypenklassifizierung nach pflanzenverfügbarem Wasser in der Vegetationszeit (Standortwasserbilanz), analog zur Standort-WET-Matrix.

#### Verwertung

Die genannten Shapefiles wurden an die Landwirtschaftskammer Niedersachsen geliefert und in das Geoinformationssystem der LWK integriert. Somit stehen den Waldbewirtschaftern im Landkreis Harburg Empfehlungen zur Baumartenwahl im Klimawandel flächig zur Verfügung. Daneben sind heutige Arbeitsschwerpunkte und Bereiche mit künftig hohen Trockenstressrisiken für die Baumarten Fichte, Buche, Douglasie, Eiche und Kiefer für die Waldbewirtschaftler anschaulich abrufbar.

Weiterhin sind die Handlungsempfehlungen in das Kapitel „Praxis-Hinweise“ des Masterplans eingeflossen.

### *1.2.6 Meilenstein 6 - Erstellung eines „Masterplans“ (Kapitel Waldentwicklung)*

Der Masterplan stellt nach dem Anwendungszweck ein Kernergebnis des Projektes dar. Im Kapitel Waldentwicklung flossen die Ergebnisse der bearbeiteten Teilziele (Meilensteine) zusammen und werden inhaltlich ausführlich beschrieben und dargestellt.

### *1.2.7 Zielerreichung im Hinblick auf das Projektziel*

Die zeitlichen Verzögerungen (verspätete Einstellung des Projektmitarbeiters, Elternzeit) konnten durch die genehmigte Verlängerung des Projektes um fünf Monate aufgefangen werden.

Inhaltlich wurden die im Projektzweck formulierten Ziele des Teilvorhabens erreicht:

Eine **optimierte Waldentwicklung**, die zu einer Erhöhung der Klimaschutzleistung führt, wurde am Beispiel des Landkreises Harburg erarbeitet. Die berechneten Klimaschutzleistungen im Szenario Klimaschutz belegen für den Simulationszeitraum bis 2075 die Wirksamkeit der gewählten Anpassungsmaßnahmen.

Die **Bedingungen des Klimawandels** führen in der Region u.a. zu einer veränderten Wuchsleistung. Diese Veränderungen wurden abgeschätzt und sind sowohl in den Anbauempfehlungen als auch in die Szenariosimulationen eingeflossen. Die durch den Klimawandel zu erwartende Erhöhung der Trockenstressrisiken wurde für die Region abgeschätzt und quantifiziert, intensiv aufgearbeitet (Risikokarten, Arbeitsschwerpunkte, Präsentation im Projektbeirat) und in Entscheidungshilfen zur Anpassung der Waldbewirtschaftung berücksichtigt. In den Szenariosimulationen wurde beim Szenario „Klimaschutz“ im Vergleich zum Szenario „Referenz“ der künftige Anteil der Flächen mit hohem Anbaurisiko für die Hauptbaumart stark reduziert. Dies belegt, dass die gewählten waldbaulichen Maßnahmen im Sinne einer Adaption an den Klimawandel zielführend sind. Neben dem Trockenstressrisiko ist durch die Klimaveränderungen indirekt auch mit einer Erhöhung des Anbaurisikos durch weitere biotische (z. B. Pilze, Schadinsekten) und abiotische (z. B. Spätfrost) Risikofaktoren zu rechnen. Modellbasierte Abschätzungen zu weiteren Risiken (z. B. Sturmschäden, Borkenkäferbefall) liegen gegenwärtig für das Tiefland nicht flächendeckend vor. Zudem bestehen Unsicherheiten bei der Einschätzung der zukünftigen klimatischen Entwicklungen. Die getroffenen Anbauempfehlungen

sind deshalb auch vorläufig und müssen entsprechend angepasst werden, sobald neue Erkenntnisse vorliegen.

Die Übertragbarkeit der gewonnenen Erkenntnisse auf andere Regionen ist bezüglich der gewählten Methoden und Modelle möglich, nicht jedoch bezüglich der Ergebnisse an sich und der aus ihnen abgeleiteten Empfehlungen. Diese sind je an die jeweiligen regionalen, standörtlichen und waldbaulichen Ausgangsbedingungen anzupassen.

Die **Überprüfung von Varianten, die geeignet sind, die CO<sub>2</sub>-Speicherfähigkeit des Waldes zu erhöhen**, wurde durch die Simulation verschiedener Szenarien umgesetzt. Dabei greift der im Anwendungszweck genannte Begriff CO<sub>2</sub>-Speicherfähigkeit deutlich zu kurz. Dieser bezieht sich lediglich auf einen Aspekt der Klimaschutzleistung der Forst- und Holzwirtschaft. Im Projekt stand dagegen die Erhöhung der Klimaschutzleistung aus Waldspeicher, Holzproduktspeicher und Substitutionseffekten im Vordergrund. Die dafür zielführenden Maßnahmen weichen durchaus von Maßnahmen mit dem Ziel einer bloßen Erhöhung der Speicherfähigkeit ab. Die in der Simulation umgesetzten Varianten (Szenarien) entsprachen den prioritär zu beachtenden Ansprüchen in den Punkten Wasserschutz (Szenario Wasserschutz) und Natur- und Artenschutz (Szenario Naturschutz). Dem Aspekt „Wirtschaftsfaktor Wald und Holz“ wurde durch die Abschätzung des Holzaufkommens bis 2075 sowie der Nachhaltigkeitsweiser Zuwachs, Vorrat und Nutzung im Simulationszeitraum entsprochen. Der prioritäre Anspruch Erholungsnutzung/Fremdenverkehr kann zahlenmäßig kaum abgebildet werden. Zudem gibt es kein Leitbild, für eine speziell der Erholungsnutzung zuträglichen Waldentwicklung. Gleichwohl lieferten die Simulationsergebnisse zur Waldentwicklung Grundlagen und Ansätze für Diskussionen im Projektbeirat.

Der für die **Region entwickelte Masterplans** für die Waldentwicklung kann aufgrund der zahlreichen Waldbesitzer mit ihren jeweils unterschiedlichen Zielen und Möglichkeiten sowie der lokalen Unterschiede und der vielfältigen gesellschaftlichen Ansprüche an den Wald nur einen beratenden Charakter haben. Ziel des Masterplanes ist es, die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse gebündelt darzustellen und aufzuzeigen, wie der Klimaschutzbeitrag durch Änderungen in der Waldbewirtschaftung und der Holzverwendung im Landkreis Harburg optimiert werden kann. Dazu wird im Kapitel „Waldentwicklung“ der gegenwärtige Waldzustand eingehend beschrieben und es werden Handlungsnotwendigkeiten aufgezeigt. Im Hinblick auf das Kernthema Klimaschutz werden die langfristigen Klimaschutzleistungen der heutigen Baumartenzusammensetzung abgeschätzt sowie heutige und künftige Trockenstressrisiken dargestellt. Die Auswertungen der Szenariosimulation bis 2075 beinhalten neben den klassischen Kenngrößen zur Waldentwicklung und zum Holzaufkommen für jedes Szenario auch Angaben zu den langfristigen Klimaschutzleistungen und Kennzahlen zur Anpassung an künftige Trockenstressrisiken. Hieraus wird ersichtlich, dass sowohl die Ausgangssituation (Standort, gegenwärtiger Waldzustand, Schutzgebietskulisse) als auch die Waldbewirtschaftung einen entscheidenden Einfluss auf die künftige Klimaschutzleistung und die Risikoanpassung haben. Für die praktische Umsetzung werden schließlich die erarbeiteten Entscheidungsgrundlagen und Handlungsempfehlungen erläutert (Praxis-Hinweise).

## 2. Eingehende Darstellung der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Eine ausführliche Darlegung erfolgte im Verwendungsnachweis mit anliegender Belegliste (siehe Schreiben vom 23.03.2018).

### 3. Eingehende Darstellung der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Der regionale Bezug (Landkreisebene) mit verschiedenen Waldbesitzarten verbunden mit den Ansprüchen einer gemeinsamen Zustandsbeschreibung und einer langfristigen, an den Klimawandel angepassten Planung machten die aufwendige Erstellung einer gemeinsamen, in der Form bisher nicht vorhandenen Datenbasis erforderlich. Zudem erzeugte die Anpassung der Daten an die verwendeten Modelle sowie die Modellkopplung einen höheren Arbeitsaufwand. Auch die beschriebenen Ergebnisse der weiteren Meilensteine, wie zum Beispiel die Abschätzung der langfristigen Klimaschutzleistung für die Hauptbaumarten, lagen bislang in der Form auch in der Literatur nicht vor. Bei der Erarbeitung eines Programms zur Fortschreibung der Waldentwicklung konnte zwar auf einige an der NW-FVA entwickelte Routinen zurückgegriffen werden. Die Anpassung an die Datengrundlagen und die Anforderungen aus den Projektzielen (z.B. Klimasensitivität) bedingten jedoch einen relativ hohen Programmieraufwand.

### 4. Eingehende Darstellung des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Die erzielten Ergebnisse wurden wie beschrieben verwertet (siehe Kapitel 1). Sie dienen nach Ablauf des Projektes u.a. der LWK als Grundlage für die Beratung der Privatwaldbesitzer unter Berücksichtigung des fortschreitenden Klimawandels. Vor allem in den von der NW-FVA gelieferten Shapefiles (Risikokarten, Arbeitsschwerpunkte, Standortwasserbilanz) besteht ein erheblicher Nutzen für die Praxis. Diese wurden von der LWK in deren Geoinformationssystem integriert und sollen den beratenden Förstern und Waldeigentümern als Entscheidungsunterstützung bei der Baumartenwahl dienen. Die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse flossen zudem in die Erstellung des Klimaschutzrechners des DFWR ein.

### 5. Eingehende Darstellung des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Das Projekt BEKLFUH greift die Bewertung der Kohlenstoffspeicherung im Wald und die Effekte der Holzverwendung durch Simulation verschiedener Szenarien auf. Dabei bestehen im Hinblick auf die Ziele und angewandten Methoden teilweise deutliche Unterschiede aber auch Gemeinsamkeiten.

### 6. Eingehende Darstellung der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses

*Beitrag zur Tagung „Vom Nutzen der Holznutzung“*

C. Schulz, Dr. R. Wördehoff, Prof. Dr. J. Nagel, Prof. Dr. H. Spellmann: „Erfassung und Bewertung von Klimaschutzleistungen im Forstbetrieb - Teilergebnisse aus dem Waldklimafonds-Projekt CO-2-OPT“

[https://www.3n.info/media/4\\_Downloads/pdf\\_NwsTrmn\\_3NVrnstltng\\_VomNutzenDerHolznutzung\\_Schulz,Christian\\_ErfassungUndBewertungVonKlimaschutzleistungenImForstbetrieb.pdf](https://www.3n.info/media/4_Downloads/pdf_NwsTrmn_3NVrnstltng_VomNutzenDerHolznutzung_Schulz,Christian_ErfassungUndBewertungVonKlimaschutzleistungenImForstbetrieb.pdf)

*Erfolgte Veröffentlichungen unter Beteiligung des Projekts*

Schulz C, Wördehoff R, Nagel J, Spellmann H (2017): Teilergebnisse aus dem Waldklimafonds-Projekt CO-2-OPT. AFZ-DerWald 26–29

Wördehoff R, Schulz C, Nagel J (2017): Nutzung oder Nutzungsverzicht aus Sicht des Klimaschutzes. AFZ-DerWald 30–32

Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, 3N Kompetenzzentrum Niedersachsen Netzwerk Nachwachsende Rohstoffe e. V., Forstwirtschaftliche Vereinigung Nordheide-Harburg (Hrsg.): CO-2-OPT - Klimaschutz durch Waldbewirtschaftung und Holzverwendung - Masterplan. 2018a

Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, 3N Kompetenzzentrum Niedersachsen Netzwerk Nachwachsende Rohstoffe e. V., Forstwirtschaftliche Vereinigung Nordheide-Harburg (Hrsg.): CO-2-OPT. Klimaschutz durch Waldbewirtschaftung und Holzverwendung. 2018b

Maike Schluhe, Hermann Englert, René Wördehoff, Christian Schulz, Matthias Dieter, Bernhard Möhring (2018): Berechnung der Klimaschutzleistung von Forstbetrieben auf Basis von Forsteinrichtungsdaten. AFZ-DerWald Nr. 15/2018

#### *Geplante Veröffentlichung*

In Review (Landbauforschung): Maike Schluhe, Hermann Englert, René Wördehoff, Christian Schulz, Matthias Dieter, Bernhard Möhring: Klimarechner zur Quantifizierung der Klimaschutzleistung von Forstbetrieben auf Grundlage von Forsteinrichtungsdaten

### III. Kurzgefasster Erfolgskontrollbericht

#### 1. Beitrag der Ergebnisse zu den förderpolitischen Zielen

Das Projekt ist im Förderschwerpunkt 4 - Forschung einschließlich Monitoring - angesiedelt, der zur Unterstützung folgender Förderschwerpunkte dient:

- 1 - Anpassung der Wälder an den Klimawandel,
- 2 - Sicherung der Kohlenstoffspeicherung und Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Bindung von Wäldern und
- 3 - Erhöhung des Holzproduktspeichers sowie der CO<sub>2</sub>-Minderung und Substitution durch Holzprodukte.

#### *Beitrag zu Förderschwerpunkt 1*

Die Erarbeitung einer Strategie für eine optimierte Waldentwicklung im Landkreis Harburg unter den Bedingungen des fortschreitenden Klimawandels muss den Aspekt Adaption unbedingt einschließen. Die durch den Klimawandel zu erwartende Erhöhung der **Trockenstressrisiken** wurde für die Region abgeschätzt, quantifiziert und intensiv aufbereitet (Risikokarten, Arbeitsschwerpunkte, Präsentation im Projektbeirat). Die dabei erstellten **Shapefiles** wurden von der LWK in ihr Geoinformationssystem integriert und sollen den beratenden Förstern und Waldeigentümern als Entscheidungshilfen bei der Baumartenwahl dienen. Daraus resultiert ein erheblicher Nutzen für die Praxis.

Die Szenariosimulationen zeigen, dass sich der künftige Flächenanteil mit hohem Anbaurisiko für die Hauptbaumart beim Szenario „Klimaschutz“ gegenüber dem Szenario „Referenz“ stark reduziert. Dies belegt, dass die gewählten

waldbaulichen Maßnahmen im Sinne einer Adaption an den Klimawandel im Landkreis Harburg zielführend sind.

Eine Übertragbarkeit auf andere Regionen ist bezüglich der gewählten Methoden und Modelle, jedoch nicht für die Ergebnisse gegeben. Diese sind an die regionalen, standörtlichen und waldbaulichen Ausgangsbedingungen anzupassen.

### *Beitrag zu Förderschwerpunkt 2 und zu Förderschwerpunkt 3*

Die Erarbeitung einer **optimierten Waldbewirtschaftungsstrategie**, die zu einer Erhöhung der Klimaschutzleistung führt, war eine Kernaufgabe des Teilvorhabens. Die Klimaschutzleistung der Waldbewirtschaftung und der Holzverarbeitung setzt sich dabei aus dem Waldspeicher, dem Holzproduktspeicher und Substitutionseffekten zusammen.

Durch Modellkopplung zwischen den verbesserten Ertragstafeln und einem Holzproduktmodell (HPM) sowie Substitutionsfaktoren aus der Literatur wurde ein einfaches Modell zur **Abschätzung der potenziellen Klimaschutzleistung** für die Hauptbaumarten auf den Standortstypengruppen im LK Harburg erarbeitet. Anschließend wurden die Anbaueignung der Baumarten für bestimmte Standortkombinationen auf Grundlage ihrer Trockenstressrisiken und Wuchsleistungen in die Standort-WET-Matrix eingearbeitet. In die Überlegungen floss auch die langfristige Klimaschutzleistung der Baumarten auf dem jeweiligen Standort mit ein. Aus dieser Baumarteneignung (eine Baumart kann führend, beigemischt oder begleitend sein) leiten sich mögliche WET für eine Standortkombination ab. Im Ergebnis liegen **für die Projektregion Empfehlungen zur Baumartenwahl** vor. Diese haben einen regionalen Charakter und sind den jeweils aktuellen Erkenntnissen der Klimafolgenforschung anzupassen.

Die berechneten Klimaschutzleistungen im Szenario Klimaschutz belegen für den Simulationszeitraum bis 2075 die Wirksamkeit der gewählten Anpassungsmaßnahmen.

## 2. Wissenschaftlich-technisches Ergebnis des Vorhabens, die erreichten Nebenergebnisse

### und die gesammelten wesentlichen Erfahrungen

Wesentliche wissenschaftlich-technischen Ergebnisse des Teilprojekts sind:

- Ist-Analyse der Wälder in der Projektregion mit
- Bilanzierung der langfristigen Klimaschutzleistung und
- Abbildung des heutigen und künftigen Trockenstressrisikos in Risikokarten.
- Shapefiles zu Risikokarten, heutigen Arbeitsschwerpunkten und Standortwasserbilanzgruppen
- Empfehlungen für die Baumartenwahl für die Projektregion (Standort-WET-Matrix)
- Simulationen zur Waldentwicklung bis 2075 mit vier Szenarien

## 3. Fortschreibung des Verwertungsplans mit Angaben zu folgenden Punkten:

- Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte, die vom Zuwendungsempfänger oder von am Vorhaben Beteiligten gemacht oder in Anspruch genommen wurden, sowie deren standortbezogene Verwertung (Lizenzen u.a.) und erkennbare weitere Verwertungsmöglichkeiten,

- keine
- Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont) - z.B. auch funktionale/wirtschaftliche Vorteile gegenüber Konkurrenzlösungen, Nutzen für verschiedene Anwendergruppen/-industrien am Standort Deutschland, Umsetzungs- und Transferstrategien (Angaben, soweit die Art des Vorhabens dies zulässt),
  - keine
- Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont) -
  - u.a. wie die geplanten Ergebnisse in anderer Weise (z.B. für öffentliche Aufgaben, Datenbanken, Netzwerke, Transferstellen etc.) genutzt werden können. Dabei ist auch eine etwaige Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen, Firmen, Netzwerken, Forschungsstellen u.a. einzubeziehen,
    - Die Shapefiles zu Risikokarten, heutigen Arbeitsschwerpunkten und Standortwasserbilanzgruppen wurden von der LWK in ihr Geoinformationssystem integriert und sollen den beratenden Förstern und Waldeigentümern als Entscheidungsunterstützung bei der Baumartenwahl dienen. Daraus resultiert ein erheblicher Nutzen für die Praxis.
- Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit für eine mögliche notwendige nächste Phase bzw. die nächsten innovatorischen Schritte zur erfolgreichen Umsetzung der Ergebnisse,
  - keine
- 4. Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben,
  - keine
- 5. Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer - z.B. Anwenderkonferenzen (Angaben, soweit die Art des Vorhabens dies zulässt),
  - keine
- 6. die Einhaltung der Ausgaben- und Zeitplanung.  
 Siehe ausführliche Darlegung im Verwendungsnachweis mit anliegender Belegliste (Schreiben vom 23.03.2018).

#### IV. "Kurzfassung" des wesentlichen fachlichen Inhalts des Schlussberichts nach den dem Zuwendungsbescheid beigefügten "Hinweisen zur Ausfüllung des Berichtsblattes".

##### 1. Derzeitiger Stand von Wissenschaft und Technik

Im Landkreis Harburg liegen auf 89 % der Waldfläche eine Standortkartierung sowie Forsteinrichtungen für einzelne Forstbetriebe bzw. Waldbesitzer vor. Informationen zum gegenwärtigen Waldzustand auf Ebene des gesamten Landkreises sind nicht vorhanden.

Zur Abschätzung heutiger und künftiger Trockenstressrisiken und für eine Anpassung der Waldbewirtschaftung an den Klimawandel sind Informationen über Veränderungen der Niederschläge und zum Bodenwasserspeicher (nutzbare Feldkapazität) notwendig. Zu den Niederschlägen liegen regionalisierte Daten aus der Klimamodellierung vor. Für die Schätzung der nutzbaren Feldkapazität kann auf das an der NW-FVA entwickelte Modell von Overbeck et al. (2011) zurückgegriffen werden. Die Ableitung von Anbauempfehlungen erfolgt anhand baumartenspezifischer Schwellenwerte der NW-FVA.

Im Falle von Bestandesinventuren basieren die Holzzuwächse und die damit verbundenen Nutzungspotenziale auf Ertragstafeln. Die den Ertragstafeln zugrunde liegenden Bestände sind jedoch unter anderen klimatischen Voraussetzungen und Waldbaustrategien erwachsen als die heutigen Bestände. Unter heutigen Wachstumsbedingungen und Durchforstungskonzepten wurden Steigerungen des Einzelbaumwachstums beobachtet (Utschig et al. 2006), was dazu führt, dass auch die Bestandesmittelwerte der zu betrachtenden Bestände erheblich von den Ertragstafeln abweichen können.

Mit dem klimasensitiven Standort-Leistungsmodell (Schmidt 2010) kann die Leistungsfähigkeit der Hauptbaumarten auf verschiedenen Standorten geschätzt werden.

Eine Bilanzierung des im Wald gebundenen Kohlenstoffs lag für den Landkreis Harburg zum Zeitpunkt der Antragstellung nicht vor. Zur Berechnung der oberirdischen Baumbiomasse konnte auf Funktionen von Rumpf (2012) zurückgegriffen werden. Einen Ansatz zur Bilanzierung der Klimaschutzleistung samt Holzproduktmodell und Substitutionseffekten beschreibt Wördehoff (2016).

## 2. Begründung/Zielsetzung der Untersuchung

Ziel des Arbeitspakets 1 (AP 1 - Naturaldaten Wald) ist die Ermittlung des Ist-Zustands des Waldes und der derzeitigen Kohlenstoffspeicherleistung des Waldes im Landkreis Harburg anhand der bereits vorhandenen forstlichen Inventuren. Hierzu wurden unterschiedliche Modellansätze zur Abschätzung des gegenwärtigen, aber auch des zukünftigen Holzzuwachses und somit der Kohlenstoffspeicherleistung verwendet. Dies erfolgte durch die Kalibrierung vorhandener Ertragstafeln mittels Standort-Leistungsmodellen und forstlicher Simulationssoftware. Im zweiten Arbeitspaket (AP 2 - Optimierung Wald) wurden gemeinsam mit der LWK waldbauliche Möglichkeiten zur Optimierung der CO<sub>2</sub>-Senkenleistung unter Berücksichtigung wichtiger Waldfunktionen und Schutzgebietsauflagen sowie gesellschaftlicher Ansprüche erarbeitet. Mit Hilfe von Simulationsrechnungen wurden diese auf die Projektregion projiziert, die zukünftige Waldentwicklung abgebildet und die potenzielle Klimaschutzleistungen ermittelt.

## 3. Methode

### Ist-Analyse

Als Datengrundlage dienen die Bestandes- und Stichprobeninventuren aus den Forsteinrichtungen sowie die Standortskartierungen der mitwirkenden Forstbetriebe. Die Standortsinformationen wurden zur Charakterisierung bodenkundlicher Kenngrößen, als wichtige Entscheidungsgrundlagen zur Baumartenwahl, als Eingangsgrößen für die Leistungsmodellierung sowie zur Abschätzung der Trockenstressrisiken benötigt. Bemerkenswert ist, dass im Landkreis Harburg für 90 % der Waldflächen mit einer Forsteinrichtung auch Standortskartierungen vorliegen. Die Waldinventuren wurden mit den Standortskartierungen zu sog. „Planungseinheiten“ verschnitten. Im nächsten Schritt wurden die Inventuren mit unterschiedlichen Stichtagen mit einer eigens dazu erstellten Software einheitlich auf das Jahr 2015 fortgeschrieben und ausgewertet. Als ertragskundliche Grundlagen wurden mit dem ForestSimulator (Hansen und Nagel 2014) abgeleitete vorläufige Ertragstafelfunktionen genutzt, die die heutigen Zuwachsverhältnisse besser abbilden als die klassischen Ertragstafeln. Aus den Bestandeswerten wurden unter Verwendung von

Biomassefunktionen und der Annahme einer Kohlenstoffkonzentration von 0,5 t C/t Biomasse Kohlenstoffvorräte für die lebende ober- sowie unterirdische Baumbiomasse abgeschätzt und anschließend in CO<sub>2</sub> umgerechnet.

#### Schätzung des Mitigationspotenzials

Um die Klimaschutzleistung als Teilziel der Waldbewirtschaftung bei der Baumartenwahl zu berücksichtigen, wurde die Mitigationsleistung als eine Grundlage für Anbauempfehlungen bilanziert. Die klimaschutzrelevanten Leistungen der Forst- und Holzwirtschaft resultieren aus einer CO<sub>2</sub>-Speicherwirkung (Waldspeicher und Holzproduktspeicher) sowie einer Substitutionsleistung. Die Bilanzierung der Mitigationsleistung muss demnach neben dem Waldspeicher auch die so genannte „Technosphäre“ (Holzverarbeitung) mit einbeziehen. Vor diesem Hintergrund wurde durch Modellkopplung zwischen den verbesserten Ertragstafelfunktionen und dem Holzproduktmodell von Wördehoff (2016) ein Modell zur Abschätzung der potenziellen CO<sub>2</sub>-Mitigationsleistung erarbeitet.

#### Standort-WET-Matrix

Das Ziel war eine verbesserte Anpassung der Wälder im Landkreis Harburg an die sich ändernden Klimabedingungen und eine Erhöhung ihrer Klimaschutzleistung. Die standörtliche Zuordnung der Baumarten orientierte sich an der Wasser- und Nährstoffversorgung der Standorte (Standort-WET-Matrix). Um die voraussichtlichen Veränderungen vor allem in Bezug auf den Wasserhaushalt zu berücksichtigen, wurde eine Standort-WET-Matrix auf Grundlage der Standortwasserbilanzen für heutige und künftige Verhältnisse berechnet. Im zweiten Schritt erfolgte die Bilanzierung der Flächenausstattung (heute und bis 2070). Schließlich wurden Baumartenzuordnungen auf Grundlage der Risikoschwellen und Wuchseigenschaften der Baumarten in die Standort-WET-Matrix eingearbeitet.

#### Szenariosimulationen

Mithilfe eines eigens für die vorliegenden Daten programmierten Java-Programms wurde die Waldentwicklung unter Annahme verschiedener Bewirtschaftungsstrategien bis 2075 fortgeschrieben. Diese **Szenariosimulationen** dienen der Abbildung der Auswirkungen unterschiedlicher Waldbewirtschaftungsmaßnahmen unter den Bedingungen des voranschreitenden Klimawandels auf die Waldentwicklung sowie auf die Klimaanpassung und die erzielten Klimaschutzwirkungen. Die in den einzelnen Szenarien („Referenz“, „Klimaschutz“, „Naturschutz“, „Wasserschutz“) umgesetzten Bewirtschaftungsziele entsprachen dabei den im Projektzweck genannten prioritär zu beachtenden Ansprüchen.

## 4. Ergebnis

### *Meilenstein 1 - Datenbeschaffung*

Im Ergebnis liegt eine umfangreiche **Datenbasis** vor. Diese enthält die nötigen Geo- und Sachdaten zur Berechnung des CO<sub>2</sub>-Speichers und einer Ist-Analyse (Zustandsbeschreibung) der Wälder im Landkreis Harburg. Zudem kann auf planungsrelevante Informationen, wie zum Beispiel Schutzgebietskulissen, Standortkartierungen und Klimadaten zurückgegriffen werden.

### *Meilenstein 2 - Ist-Analyse*

Das vorrangige Ergebnis des Vorhabens ist die mengenmäßige Bestimmung des im Wald des Landkreises Harburg gebundenen Kohlendioxids für das Jahr 2015 (**CO<sub>2</sub>-Speicher Wald**) auf Grundlage der vorliegenden Waldinventurdaten. Zudem wurde der CO<sub>2</sub>-Speicher in seinen Kompartimenten dargestellt und der Wald in der Region im Rahmen einer **forstlichen Zustandsbeschreibung** analysiert. Darin wurden auch Auswertungen zu den forstlichen Standorten sowie **Abschätzungen des heutigen und künftigen Trockenstressrisikos für die Hauptbaumarten** auf Basis berechneter Standortwasserbilanzen und baumartenspezifischer Schwellenwerte der NW-FVA integriert. Die Trockenstressrisiken wurden **Risikokarten für die Hauptbaumarten** aufbereitet.

### *Meilenstein 3 - Strategie CO<sub>2</sub>-OPT*

Auf Grundlage der heutigen standörtlichen Gegebenheiten und der Höhenmesswerte der Betriebsinventur wurde ein Regressionsmodell zur **Korrektur der aktuellen Bonitäten** entwickelt. Unter Verwendung der modellierten Klimadaten sowie des longitudinalen Durchmesser-Höhen-Modells (Schmidt 2010) und vorläufiger Ertragstafelfunktionen wurde eine **klimasensitive Schätzung der Leistungsveränderungen** bis 2070 für die Hauptbaumarten vorgenommen.

Zur Erhöhung der Klimaschutzbeitrages der Wälder im Landkreis Harburg wurde bei den Anbauempfehlungen die Klimaschutzleistung der jeweiligen Baumarten unter Berücksichtigung des Waldspeichers, des Holzproduktspeichers und der Substitutionseffekte bilanziert. Mit dieser Information wurde durch Modellkopplung zwischen den verbesserten Ertragstafeln und einem Holzproduktmodell (HPM) sowie unter Einbeziehung von Substitutionsfaktoren aus der Literatur, ein einfaches Modell zur **Abschätzung der potenziellen Klimaschutzleistung** für die Hauptbaumarten erarbeitet.

Darauf aufbauend wurden die **Produktionszeiten bzw. Zieldurchmesser optimiert**, um möglichst hohe Mitigationsleistungen zu erzielen, die in mittlere jährliche Mitigationsleistungen für die Hauptbaumarten, vier Bonitätsstufen und unterschiedliche Zielstärken umgerechnet wurden.

Als ökologische Grundlage für die standörtliche Zuordnung der Baumarten wurde eine Standort-WET-Matrix für den Landkreis Harburg erarbeitet. Diese beinhaltet Kombinationen von Wasser- und Nährstoffversorgungsstufen, für die geeignete Waldentwicklungstypen (WET) festgelegt wurden. Um die klimabedingten Veränderungen des pflanzenverfügbaren Wassers zu berücksichtigen, wurden zur Charakterisierung der Wasserversorgung Standortwasserbilanzen (Meilenstein 1) berechnet.

Anschließend wurde die Anbaueignung der Baumarten für bestimmte Standorte mit Hilfe der Trockenstressrisikoschwellen und Wuchseigenschaften der Baumarten festgelegt. In die Überlegungen floss auch die langfristige Klimaschutzleistung der Baumarten auf dem jeweiligen Standort mit ein. Aus dieser Baumarteneignung (eine Baumart kann führend, beigemischt oder begleitend sein) leiten sich mögliche WET für eine Standortkombination ab. Im Ergebnis liegen für die Projektregion **Empfehlungen für die Baumartenwahl** vor. Diese haben einen regionalen Charakter und entsprechen den aktuellen Erkenntnissen der Klimafolgenforschung für die Projektregion.

#### *Meilenstein 4 - Fortschreibung der Waldentwicklung*

Für die einzelnen Szenarien („Referenz“, „Klimaschutz“, „Naturschutz“, „Wasserschutz“) liegen Ergebnisse zum Waldzustand bis zum Jahr 2075 bezüglich **Waldstruktur, Holzvorrat, Zuwachs und Holznutzungspotenzialen, Waldverjüngung, Anpassung an Trockenstressrisiken, und zur langfristigen Klimaschutzleistung** vor. Das Szenario „Klimaschutz“, das im Wesentlichen auf der in Meilenstein 3 entwickelten Strategie CO<sub>2</sub>-OPT beruht, hebt sich im Hinblick auf die erzielte langfristige Klimaschutzleistung sowie durch eine verbesserte Anpassung an Trockenstressrisiken von den anderen Szenarien ab.

#### *Meilenstein 5 - Handlungsempfehlungen für die Praxis*

Ergebnisse

Bereitstellung von Shapefiles mit Risikokarten, Karten heutiger Arbeitsschwerpunkte, Karten mit einer Standortstypenklassifizierung nach pflanzenverfügbarem Wasser in der Vegetationszeit (Standortwasserbilanz), analog zur Standort-WET-Matrix.

#### *Meilenstein 6 - Erstellung eines „Masterplans“ (Kapitel Waldentwicklung)*

Der Masterplan stellt nach dem Anwendungszweck ein Kernergebnis des Projektes dar. Im Kapitel Waldentwicklung fließen die Ergebnisse der bearbeiteten Teilziele (Meilensteine) zusammen und werden inhaltlich ausführlich beschrieben und dargestellt.

### **5. Schlussfolgerung/Anwendungsmöglichkeiten**

Die gewonnenen Erkenntnisse bilden die Grundlage für wichtige Entscheidungen und Handlungsempfehlungen, die im „Masterplan“ zusammengefasst sind. Die Shapefiles zu Risikokarten, heutigen Arbeitsschwerpunkten und Standortwasserbilanzgruppen wurden von der LWK in ihr Geoinformationssystem integriert und sollen den beratenden Förstern und Waldeigentümern als Entscheidungsunterstützung bei der Baumartenwahl dienen. Daraus resultiert ein erheblicher Nutzen für die Praxis. Die WET-Matrix mit den Empfehlungen zur Baumartenwahl stellt eine wichtige Entscheidungsgrundlage für die Projektregion dar.

Die gewonnenen Erkenntnisse fließen zudem auch in das C-Modul (Kalkulationstool Kohlenstoff des ForestSimulators (Nagel 2017)) ein.

Zusätzlich wurde die Erstellung des DFWR-Klimarechners unterstützt (DFWR-Klimarechner 2018).

### **Literatur**

Hansen J, Nagel J: Waldwachstumskundliche Softwaresysteme auf Basis von TreeGrOSS - Anwendung und theoretische Grundlagen. (Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt), Band 11; Göttingen 2014

Overbeck M, Schmidt M, Fischer C, Evers J, Schultze A, Hövelmann T, Spellmann H (2011): Ein statistisches Modell zur Regionalisierung der nutzbaren Feldkapazität von Waldstandorten in Niedersachsen. Forstarchiv 82, 92-100

Rumpf S, Nagel J, Schmidt M: Biomasseschätzfunktionen von Fichte (*Picea abies* L.), Kiefer (*Pinus sylvestris* L.), Buche (*Fagus sylvatica* L.), Eiche (*Quercus robur*

und petraea L.) und Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* L.) für Nordwestdeutschland; in: Forschungsvorhaben: Möglichkeiten und Grenzen der Vollbaumnutzung; hrsg. v. NW-FVA; Göttingen 2012

Schmidt M (2010): Ein standortsensitives, longitudinales Höhen-Durchmesser-Modell als eine Lösung für das Standort-Leistungs-Problem in Deutschland. Tagungsband DVFFA—Sektion Ertragskunde Körbecke Am Mönnesee 131–152

Schulz C, Wördehoff R, Nagel J, Spellmann H (2017): Teilergebnisse aus dem Waldklimafonds-Projekt CO-2-OPT. AFZ-DerWald 26–29

Utschig H, Herling H, Pretzsch H (2006): Veränderte Umweltbedingungen schaffen 13 Prozent mehr Wachstum. 13, 44–46

Wördehoff R: Kohlenstoffspeicherung als Teilziel der strategischen Waldbauplanung erläutert an Reinbeständen verschiedener Baumarten in Niedersachsen. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie der Georg-August Universität Göttingen. Göttingen 2016

Wördehoff R, Schulz C, Nagel J (2017): Nutzung oder Nutzungsverzicht aus Sicht des Klimaschutzes. AFZ-DerWald 30–32

DFWR-Klimarechner. <http://www.dfwr.de/index.php/forstpolitik/klimaschutz/289-klimaschutz-klimarechner>

Nagel J. <https://www.nw-fva.de/?id=194#524>; Zugriff am 04.09.2017