



# Wald und Klimaschutz in NRW

Beitrag des NRW Clusters ForstHolz  
zum Klimaschutz –  
Langfassung der Studie



**Dr. Marcus Knauf**

Knauf Consulting  
Prof. Dr. Helen Knauf und Dr. Marcus Knauf GbR  
Dorotheenstraße 7, 33615 Bielefeld  
Telefon: 0521/8973697  
Telefax: 0521/8973996  
E-Mail: mknauf@knauf-consulting.de



**Prof. Dr. Arno Frühwald**

Universität Hamburg  
Zentrum Holzwirtschaft (Holztechnologie)  
Leuschnerstraße 91, 21031 Hamburg  
E-Mail: arno.fruehwald@uni-hamburg.de



In Zusammenarbeit mit:

**Prof. Dr. Michael Köhl**

Universität Hamburg  
Zentrum Holzwirtschaft (Weltforstwirtschaft)  
Leuschnerstraße 91, 21031 Hamburg  
E-Mail: koehl@holz.uni-hamburg.de

Thünen-Institut für Weltforstwirtschaft



Auftraggeber

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt,  
Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz  
des Landes Nordrhein-Westfalen



Landesbetrieb Wald und Holz  
Nordrhein-Westfalen



Zitierweise: Knauf, M.; Frühwald, A. (2013): Beitrag des NRW Clusters ForstHolz zum Klimaschutz. Studie von Knauf Consulting und Prof. Dr. Arno Frühwald (Zentrum Holzwirtschaft der Universität Hamburg) in Kooperation mit Prof. Dr. Michael Köhl (Zentrum Holzwirtschaft der Universität Hamburg) im Auftrag des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen und des Landesbetriebs Wald und Holz Nordrhein-Westfalen, Hrsg. Landesbetrieb Wald und Holz Nordrhein-Westfalen, Münster, Mai 2013.

Stand der Daten: November 2012

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Kurzfassung der Studie „Beitrag des NRW Clusters ForstHolz zum Klimaschutz“</b>	<b>6</b>
<hr/>	
<b>2. Ziele der Studie</b>	<b>24</b>
<hr/>	
<b>3. Die Rolle der Forst- und Holzwirtschaft im Klimaschutz</b>	<b>26</b>
3.1 Stand der wissenschaftlichen Diskussion	26
3.2 Stand der politischen Diskussion	29
3.2.1 Wald und Holz im internationalen Klimaschutzprozess (Kyoto-Prozess)	29
3.2.2 Umsetzung der internationalen Anforderungen für die Bewertung/Anrechnung von ForstHolz in Deutschland und NRW	32
3.2.3 Honorierung der Klimaschutzanstrengungen der Forst- und Holzwirtschaft über den bundesweiten Waldklimafonds	33
3.2.4 Der ganzheitliche Ansatz der Klimabetrachtung – Kyoto versus Cluster	34
<hr/>	
<b>4. Entwicklung eines Modells zur Beurteilung und Bewertung von Klimaschutzleistungen des Clusters ForstHolz am Beispiel NRW</b>	<b>36</b>
4.1 Die vier Bereiche Wald, Verbrauch, Produktion und eigene Rohholzversorgung als Untersuchungsgegenstand	36
4.2 Drei Fragen und Leitmodelle zur umfassenden Erfassung der Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz in Nordrhein-Westfalen	37
<hr/>	
<b>5. Bestimmung der heutigen Klimaschutzleistung des Waldes und der Holzverwendung</b>	<b>41</b>
5.1 Methodische Grundannahmen zur Ableitung der Klimaschutzleistung	41
5.1.1 Grundsätzliches Vorgehen	41
5.1.2 Festlegung eines Nutzungsschlüssels für das aus dem Wald entnommene Holz	42
5.1.3 Festlegung von Methoden zur Bestimmung der Veränderung des Holzproduktespeichers	43
5.1.4 Festlegung von weiteren Parametern bei der Nutzung von Holzprodukten	43
5.1.5 Festlegung eines Substitutionsfaktors $SF_{EN}$ für die Beurteilung der Emissionsminderung bei der energetischen Nutzung des Holzes	45
5.1.6 Festlegung eines Substitutionsfaktors $SF_{MA}$ für die Beurteilung der Emissionsminderung durch die Materialsubstitution	46
5.2 Bestimmung der Senkenleistung des Waldes (2002–2010) und des aktuellen Waldspeichers (2010)	53
5.3 Bestimmung der Veränderung des Holzproduktespeichers und Abschätzung der Größe des aktuellen Holzproduktespeichers	55
5.3.1 Holzproduktespeicher für in NRW verwendete Holzprodukte	56
5.3.2 Holzproduktespeicher für Produkte aus Holz nordrhein-westfälischer Wälder	57

## 4 Inhaltsverzeichnis

<b>5.4 Bestimmung der Emissionsminderung durch Holzenergie (energetische Substitution)</b>	<b>59</b>
5.4.1 Schwierigkeit der Differenzierung der energetischen Verwertung des Holzes in die Sortimente Brennholz und Energieholz aus Nutzholz (gemäß Variante A des Leitmodells I)	62
5.4.2 In NRW energetisch verwertetes Holz	62
5.4.3 Energetische Verwertung des Holzes aus nordrhein-westfälischen Wäldern	69
<b>5.5 Bestimmung der Emissionsminderung durch Materialsubstitution (stoffliche Substitution)</b>	<b>70</b>
5.5.1 Materialsubstitution für in NRW verwendete Holzprodukte	70
5.5.2 Materialsubstitution für in NRW be- und verarbeitetes Holz	71
5.5.3 Materialsubstitution für Produkte aus Holz nordrhein-westfälischer Wälder	75
<b>5.6 Zusammenfassung: Heutige Klimaschutzleistung des Waldes und der Holzverwendung</b>	<b>76</b>

---

## **6. Modellierung der zukünftigen Klimaschutzleistung des nordrhein-westfälischen Waldes und der Verwendung nordrhein-westfälischen Holzes** **78**

<b>6.1 Szenarien/Simulation der potenziellen Waldentwicklung Nordrhein-Westfalens bis 2100</b>	<b>78</b>
6.1.1 Szenarienanalyse	78
6.1.2 Kohlenstoffpools	80
6.1.3 Szenariendefinition	82
6.1.4 Ausgangslage 2002	85
6.1.5 Simulator	87
6.1.5.1 Grundidee	87
6.1.5.2 Datenlage	87
6.1.5.3 Schritte der Simulation	89
6.1.6 Darstellung der Potenziale	92
6.1.6.1 Speicherentwicklung oberirdisch lebend	92
6.1.6.2 Ausscheidender Bestand	94
6.1.6.3 Speicher	98
<b>6.2 Szenarien/Simulation der Klimaschutzwirkung von Wald- und Holzverwendung bis 2100</b>	<b>105</b>
6.2.1 Methodische Annahmen	105
6.2.2 Klimaschutzwirkung von Forst- und Holzverwendung bis 2100 – Ergebnisse basierend auf den Grundszenarien der waldbaulichen Simulation	112
6.2.2.1 Basisszenario (zu den Grundszenarien der waldbaulichen Simulation)	112
6.2.2.2 Szenario mit Variation des Energiemix (zu den Grundszenarien der waldbaulichen Simulation)	117
6.2.2.3 Szenario mit erhöhtem Substitutionsfaktor (basierend auf den Grundszenarien der waldbaulichen Simulation)	122
6.2.3 Klimaschutzwirkung von Forst- und Holzverwendung bis 2100 – Ergebnisse basierend auf den Kombinationsszenarien der waldbaulichen Simulation	123
6.2.3.1 Basisszenario	123
6.2.3.2 Szenario mit Variation des Energiemix (basierend auf den Kombinationsszenarien der waldbaulichen Simulation)	128
6.2.3.3 Szenario mit erhöhtem Substitutionsfaktor (basierend auf den Kombinationsszenarien der waldbaulichen Simulation)	132
6.2.4 Szenarien zur Bewertung der Kaskadennutzung aus Sicht des Klimaschutzes	133
6.2.4.1 Szenario mit der Variation der stofflichen bzw. energetischen Verwendung des Holzes	133
6.2.4.2 Szenario mit der Bewertung von Recycling des Gebrauchtholzes	137
<b>6.3 Sekundäre Klimaschutzeffekte: Opportunitäten aus entgangenem Nutzen</b>	<b>138</b>
<b>6.4 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse</b>	<b>141</b>

<b>7. Waldbewirtschaftung und Holznutzung ist CO<sub>2</sub>-neutrales Wirtschaften</b>	<b>152</b>
<hr/>	
<b>8. Potenziale für eine Erhöhung der Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz – Möglichkeiten einer Förderung der Klimawirkung des ForstHolz-Clusters in NRW als Grundlage zur Maßnahmenplanung</b>	<b>159</b>
8.1 Erhöhung des Waldspeichers/der Senkenleistung des Waldes und Erhöhung der zur Verfügung stehenden Holzmenge	162
8.2 Verbesserung der Holzverwendung/-nutzung	165
8.3 Verfahrenstechnische Verbesserungen und Prozessverbesserungen in der Wertschöpfungskette des Clusters ForstHolz	166
<hr/>	
<b>9. Überlegungen für ein zukünftiges Monitoring – Fehlende Datengrundlagen – Empfehlungen für eine Clusterstudie bzw. weitere Erhebungen</b>	<b>169</b>
<hr/>	
<b>10. Literatur</b>	<b>176</b>
<hr/>	
<b>11. Abbildungen</b>	<b>183</b>
<hr/>	
<b>12. Tabellen</b>	<b>186</b>
<hr/>	
<b>13. Anhang</b>	<b>189</b>
13.1 Anhang zu Kapitel 4	189
13.2 Anhang zu Kapitel 5.1	190
13.3 Anhang zu Kapitel 5.2	193
 <b>Impressum</b>	 <b>196</b>

# 1. Kurzfassung der Studie „Beitrag des NRW Clusters ForstHolz zum Klimaschutz“

## 1. Ziele der Studie – grundsätzliche Betrachtungsweise – Methoden

**Ziel der Studie:** Bewertung derzeitiger und potenzieller Klimaschutzleistungen des Clusters ForstHolz

In der Studie „Beitrag des NRW Clusters ForstHolz zum Klimaschutz“ werden die derzeitigen und potenziellen Klimaschutzleistungen des Clusters ForstHolz in Nordrhein-Westfalen dargestellt und bewertet.

**Betrachtung von Senken- bzw. Speicherleistung des Waldes, der Holzproduktespeicher und die Emissionseinsparungen durch Substitution**

In einer umfassenden Analyse werden die Senken- bzw. Speicherleistung des Waldes, der Holzproduktespeicher und die Emissionseinsparungen durch Substitution betrachtet. Die Ergebnisse werden vor dem Hintergrund der aktuellen Forschung und der politischen Entwicklungen (Post-Kyoto-Prozess) beschrieben und reflektiert. Neben der Erhebung von aktuellen Zahlen für Nordrhein-Westfalen auf Basis international anerkannter Verfahren und Bewertungen wird die wissenschaftliche Methodik zur Erfassung und Bewertung des Beitrags der Forst- und Holzwirtschaft zum Klimaschutz weiterentwickelt.

**Drei Betrachtungsweisen:**

Die Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz in NRW wird aus verschiedenen Perspektiven beurteilt. So wird – neben der Beurteilung der Senkenwirkung des nordrhein-westfälischen Waldes – bewertet, welchen Beitrag

**Was leisten nordrhein-westfälische Verbraucher/innen für den Klimaschutz?**

- nordrhein-westfälische Verbraucher/innen mit der Nutzung von Holzprodukten für den Klimaschutz leisten,

**Was leistet die Holzwirtschaft in NRW für den Klimaschutz?**

- die nordrhein-westfälische Holzwirtschaft mit den von ihr hergestellten Produkten für den Klimaschutz leistet und

**Was leistet das Holz aus nordrhein-westfälischen Wäldern für den Klimaschutz?**

- das aus nordrhein-westfälischen Wäldern stammende Holz für den Klimaschutz leistet.

**Drei Leitmodelle zur Bewertung:**

Auf Basis dieser Betrachtungen wurden drei Leitmodelle zur Beurteilung der Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz abgeleitet:

**I. Verbraucherorientiert  
(CO<sub>2</sub>-Fußabdruck)**

- I. Leitmodell I = Verbraucherorientiert (CO<sub>2</sub>-Fußabdruck „klimaorientierter Holzeinsatz“)  
*Was leisten nordrhein-westfälischer Wald und nordrhein-westfälische Verbraucher/innen?*

**II. Post-Kyoto-orientiert**

- II. Leitmodell II = Post-Kyoto-orientiert  
*Was leisten nordrhein-westfälischer Wald und Holzwirtschaft in NRW?*

## 7 Kurzfassung der Studie „Beitrag des NRW Clusters ForstHolz zum Klimaschutz“

### III. Leitmodell III = Wertschöpfungsorientiert

*Was leisten nordrhein-westfälischer Wald und daraus entnommenes Holz?*

Mit der Unterscheidung zwischen einem verbraucherorientierten Leitmodell (I) und einem produktionsorientierten Leitmodell (II) wird ein aktueller Diskurs in der Klimapolitik/-forschung aufgegriffen: Statt des emittentenorientierten Ansatzes des Kyoto-Protokolls wird zunehmend der Ansatz des Carbon Footprints favorisiert. Für einen großen Verbrauchermarkt wie Nordrhein-Westfalen ist es zwingend, die Ebene der Verbraucher/innen in die Betrachtung miteinzubeziehen.<sup>1</sup> Diese Betrachtung leistet der Vergleich der Leitmodelle I und II.

Das Leitmodell III (wertschöpfungsorientiert) dient als Basis für eine Simulation/Modellierung der potenziellen zukünftigen Klimaschutzleistung mit mehreren Szenarien für die Waldbewirtschaftung bis zum Jahr 2100.<sup>2</sup> Die Modellierung erfolgte auf Basis einer Simulation mittels waldbaulicher Ertragstabeln auf Basis der Daten der Bundeswaldinventuren BWI<sup>1</sup> und BWI<sup>2</sup>.

Dabei wurden die folgenden drei Grundszenarien modelliert:

- Massenoptimierung: Strategie mit möglichst hoher Holzproduktion
- Wertoptimierung: Langfristig auf Starkholz mit Wertzuwachs ausgelegte Strategie
- Speicheroptimierung: (Begrenzte) Holznutzung bei gleichzeitigem Aufbau eines hohen Waldspeichers.

### III. Wertschöpfungsorientiert

**Verbraucherorientiertes Modell wird der Bedeutung Nordrhein-Westfalens als großem Verbrauchermarkt gerecht**

**Zukünftige potenzielle Klimaschutzleistung über Simulation bis 2100 mit mehreren waldbaulichen Szenarien**

**Drei Grundszenarien der waldbaulichen Simulation**

Nutzungstyp	Mindestalter für Nutzung [Jahre nach DGZ <sub>max</sub> ]		Totholzanteil/Ernteverluste [%]	Zielstärke d <sub>1,3</sub> [cm]		Zielbestockungsgrad
	Laubholz	Nadelholz		Laubholz	Nadelholz	
Massenoptimierer	0	0	10	0	0	1,0
Wertoptimierer	40	20	20	40	20	1,0
Speicheroptimierer	50	50	40	50	50	1,0
(Ohne Nutzung)	–	–	100	–	–	–)

**Tabelle A:** Übersicht zur Definition der drei Grundszenarien, erweitert um ein Szenario „Ohne Nutzung“ (in Studie Tabelle 11)

1 Die Treibhausgasemissionen von Nordrhein-Westfalen liegen ca. 50 % höher als der Carbon Footprint. Dies liegt u. a. daran, dass Strom auf Basis fossiler Energieträger aus NRW (vor allem Braunkohle) auch in anderen Bundesländern verbraucht wird. Dies belastet die Treibhausgasbilanz von NRW und erweckt den fehlerhaften Eindruck, dass die Pro-Kopf-Emission in Nordrhein-Westfalen besonders hoch ist. Aus diesem Grund wäre es sinnvoll, dass klimapolitische Entscheidungen (auch die Maßnahmen des Klimaschutzplans) – wie hier für den Cluster ForstHolz vorgeschlagen – auch unter Einbeziehung des Carbon Footprints getroffen werden. Damit ist die in dieser Sektorstudie vorgeschlagene Methode auch für die Beurteilung der Klimaschutzleistung des Landes insgesamt eine Alternative.

2 Alle Methoden und Ergebnisse der waldbaulichen Simulation (Tab. A, B, D und E und die Abb. A–C in dieser Kurzfassung) auf Basis von Köhl, Mues und Olschofsky (2012, Kapitel 6.1 der Studie).

**Drei Kombinationsszenarien**

Diese Grundszenarien wurden um Kombinationsszenarien (Nutz, Erhalt, Schutz) ergänzt, in denen die drei Grundszenarien und ein Szenario für die Nichtnutzung unterschiedlich kombiniert werden (Tab. B).

Grundszenarien	Kombinationsszenarien		
	Nutz	Erhalt	Schutz
Massenoptimierer			
Wertoptimierer	50,00 %	31,67 %	20,00 %
Speicheroptimierer	25,00 %	31,67 %	20,00 %
Nichtnutzung	20,00 %	31,67 %	50,00 %
	5,00 %	5,00 %	10,00 %

**Tabelle B:** Gewichtung der Grundszenarien zu den Kombinationsszenarien (in Studie Tabelle 13)

**Annahme, dass multifunktionale Waldwirtschaft am besten durch Kombinationsszenario Erhalt repräsentiert wird (alternativ: Grundszenario Wertoptimierer)**

Die betrachteten Szenarien bewegen sich im Rahmen einer nachhaltigen Forstwirtschaft. Sie stellen also grundsätzlich mögliche Nutzungsalternativen für die Waldbewirtschaftung dar. Es wird davon ausgegangen, dass die innerhalb der Waldstrategie 2050 in NRW angestrebte multifunktionale Waldnutzung am besten durch das Kombinationsszenario Erhalt repräsentiert wird. Bei den Grundszenarien bietet der Wertoptimierer den besten Vergleich.

**Kohlenstoffpools in Wäldern nach IPCC-Richtlinien**

Entsprechend den IPCC-Richtlinien (IPCC Good Practice Guidance for Land Use, Land Use Change and Forestry<sup>3</sup>) wurde in den Szenarien die lebende und abgestorbene Biomasse als Kohlenstoffspeicher im Wald berücksichtigt. Dabei wurde in unter- und oberirdische Anteile unterschieden. Der Kohlenstoffspeicher des Bodens wurde gemäß den IPCC-GPG als über die Zeit konstant betrachtet.

**Kohlenstoffspeicher in Böden wird als konstant angenommen**

**Aufbauend auf der waldbaulichen Simulation wurde die Holznutzung simuliert**

Aufbauend auf der waldbaulichen Modellierung wurde für die Holznutzung bis 2100 ein Nutzungsmodell für das Leitmodell III entwickelt. So kann beurteilt werden, welche Waldbewirtschaftungsstrategie in Verbindung mit einer Holznutzungsstrategie die größte Klimaschutzleistung erbringt. Aus der Veränderung des Waldspeichers und den Effekten der Holznutzung wurde die Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz bis 2100 berechnet.

**Aus der Veränderung des Waldspeichers und den Effekten der Holznutzung wurde eine potenzielle Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz bis 2100 berechnet**

<sup>3</sup> Das IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change = Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen), zu Deutsch auch als Weltklimarat bezeichnet, gewährleistet die wissenschaftliche Begleitung des internationalen Klimaschutzprozesses. Das IPCC ist ein wissenschaftliches Gremium (weitgehend frei von politischer Einflussnahme) und bekam 2007 zusammen mit Al Gore den Friedensnobelpreis.



## 2. Ergebnisse der Studie – aktuelle Klimaschutzleistung des nordrhein-westfälischen Clusters ForstHolz

Tabelle C zeigt die entwickelte Matrix/Typologie zur Beurteilung von Klimaschutzleistungen eines regional abgegrenzten ForstHolz-Clusters und fasst die Klimaschutzleistung des nordrhein-westfälischen Clusters, differenziert nach den entwickelten Leitmodellen auf Basis aktueller Daten (2002–2010 bzw. 2007–2010<sup>4</sup>), zusammen.

**Aktuelle Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz (2002–2010)**

Typen der Beurteilung von Klimaschutzleistungen	Bereich der Emissionsminderung/Speicher/Senke				
	Wald Klimaschutzleistung Wald – Senkenleistung des Waldes	Holzspeicher Klimaschutzleistung Holz – Senkenleistung des Holzspeichers	Energetische Substitution Emissionsminderung durch Holzenergie	Stoffliche Substitution Emissionsminderung durch Materialsubstitution/Holzverwendung	Summe
	[CO <sub>2</sub> ]	[CO <sub>2</sub> ]	aus Brennholz aus Nutzholz	[CO <sub>2</sub> ]	[CO <sub>2</sub> ]
<p>„Was leisten nordrhein-westfälischer Wald und nordrhein-westfälische Verbraucher/innen?“</p> <p><b>Leitmodell I: verbraucherorientiert</b></p> <p><b>CO<sub>2</sub>-Fußabdruck – klimorientierter Holzeinsatz</b></p>	Wald NRW  (4 Mio. t)	Alle in NRW verwendeten Holzprodukte <sup>5</sup>  3,3 Mio. t	Alles in NRW energetisch verwertete Holz <sup>6</sup>  5 Mio. t	Alle in NRW verwendeten Holzprodukte <sup>5</sup>  9,1 Mio. t	21,4 Mio. t
<p>„Was leisten Wald- und Holzwirtschaft in NRW?“</p> <p><b>Leitmodell II: (Post-)Kyotoorientiert</b></p>	Wald NRW  (4 Mio. t)	Produkte aus Holz nordrhein-westfälischer Wälder  1,1 Mio. t	Alles in NRW energetisch verwertete Holz <sup>6</sup>  5,0 Mio. t	In NRW be-/verarbeitetes Holz <sup>7</sup>  7,9 Mio. t	18,0 Mio. t
<p>„Was leisten nordrhein-westfälischer Wald und daraus entnommenes Holz?“</p> <p><b>Leitmodell III: wertschöpfungsorientiert</b></p> <p><b>Basis des Simulationsmodells</b> (Szenarien der potenziellen Waldentwicklung bis 2100)</p>	Wald NRW  (4 Mio. t)	Produkte aus Holz nordrhein-westfälischer Wälder  1,1 Mio. t	Energetische Verwertung des Holzes aus Wald NRW (davon ca. 0,5 Mio. t nicht statistisch als Holzeinschlag erfasst)  2,5 Mio. t	Produkte aus Holz nordrhein-westfälischer Wälder  3,6 Mio. t	11,2 Mio. t

**Tabelle C:** Matrix/Typologie zur Beurteilung von Klimaschutzleistungen eines regional abgegrenzten ForstHolz-Clusters mit Daten der aktuellen Klimaschutzleistung des nordrhein-westfälischen Clusters ForstHolz (2002–2010 bzw. 2007, 2009, 2010; in Studie Tab. 11)

<sup>4</sup> Die Klimaschutzleistung für den Wald in NRW, die daraus entnommenen Produkte und alle sich daraus ergebenden Effekte beziehen sich in Tabelle C auf den Durchschnitt der Jahre 2002–2010.

<sup>5</sup> 2007, aktuelle Stoffstromanalyse (Mantau/Bilitewski 2010).

<sup>6</sup> 2010, u. a. aktuelle Analysen des DBFZ (2011, 2012), IWR (2010), BMU (2012).

<sup>7</sup> 2009, aktuelle Energiebilanzen für NRW (IT NRW 2011) und Deutschland (Destatis 2012).

**Ohne die Klimaschutzleistungen des Clusters ForstHolz ...**

**... läge der Carbon Footprint nordrhein-westfälischer Verbraucher/innen heute ca. 10,7 % höher**

Die Klimaschutzleistung von 21,4 Mio. t CO<sub>2</sub> für das Leitmodell I (vgl. Tab. 11) bedeutet, dass die (globalen) CO<sub>2</sub>-Emissionen um diesen Wert höher lägen, wenn der Wald in NRW und nordrhein-westfälische Verbraucher/innen keinen Beitrag zum Klimaschutz leisten würden. Der Carbon Footprint nordrhein-westfälischer Verbraucher/innen würde bei Nichtbewertung der Klimaschutzleistungen des Clusters ForstHolz um 21,4 Mio. t CO<sub>2</sub> steigen.<sup>8</sup> Geht man von einem Carbon Footprint nordrhein-westfälischer Verbraucher/innen von derzeit ca. 200 Mio. t CO<sub>2</sub><sup>9</sup> aus, dann hätte dies einen um 10,7 % höheren Carbon Footprint zur Folge.

**... lägen die CO<sub>2</sub>-Emissionen NRW heute 5,7 % höher**

Der für das Leitmodell II ermittelte Wert einer Klimaschutzleistung von jährlich 18,0 Mio. t CO<sub>2</sub> wird modellkonform nicht auf den Carbon Footprint, sondern auf die Treibhausgasemissionen des Landes Nordrhein-Westfalen von derzeit 314 Mio. t CO<sub>2</sub> (2010) bezogen (vgl. Fußnote 1). Die Klimaschutzleistung von jährlich 18,0 Mio. t CO<sub>2</sub> ist demnach so zu interpretieren, dass die Gesamtemissionen Nordrhein-Westfalens um diesen Wert höher lägen, gäbe es keinen Beitrag der Forst- und Holzwirtschaft zum Klimaschutz. Bezogen auf die gesamten Treibhausgasemissionen Nordrhein-Westfalens 2010 wäre dies eine Erhöhung um 5,7 %.

**Bei gleichbleibender Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz steigt deren relative Bedeutung von heute 5,7 auf 8,7 % im Jahr 2030**

Bleibt es beim Status quo der Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz (z. B. 18,0 Mio. t CO<sub>2</sub> für das Leitmodell II), wächst die Bedeutung des Clusters ForstHolz für den Klimaschutz als relative Größe von heute 5,7 % auf 6,6 % im Jahr 2020 und 8,7 % im Jahr 2030 (Bezug: Reduktionsziele nach dem Klimaschutzgesetz NRW).

**Der Cluster ForstHolz wirtschaftet (netto) CO<sub>2</sub>-frei und erbringt darüber hinaus einen positiven Klimaschutzbeitrag**

2009 hat der nordrhein-westfälische Cluster ForstHolz (inklusive Papierwirtschaft) 7,3 Mio. t CO<sub>2</sub> emittiert, der Cluster ohne Papierwirtschaft ca. 2,9 Mio. t CO<sub>2</sub>. Setzt man diese Emissionen zu den positiven Klimaschutzleistungen (z. B. 18,0 Mio. t CO<sub>2</sub> für das Leitmodell II) in Beziehung, dann bedeutet dies, dass der Cluster ForstHolz seine Produkte nicht nur (netto) CO<sub>2</sub>-frei zur Verfügung stellt, sondern darüber hinaus noch einen bedeutenden positiven Beitrag zum Klimaschutz leistet. Die positiven Effekte liegen im Leitmodell II beim 2,5- bzw. 6,2-fachen der eigenen Emissionen („Plus-Energie-Cluster“ bzw. „Negativ-Emissions-Cluster“). Das heißt, die Förderung der Holzwirtschaft kann ein CO<sub>2</sub>-freies (bzw. CO<sub>2</sub>-senkendes) Wirtschaftswachstum ermöglichen.

8 Annahme: Die Klimaschutzleistungen des Clusters ForstHolz werden nach Leitmodell I im Carbon Footprint berücksichtigt.

9 An dieser Stelle ist weniger der absolute Wert wichtig, sondern wie die Klimaschutzleistung nach Leitmodell I zu interpretieren ist. Publikationen zum Carbon Footprint für NRW liegen nicht vor. Daher wird eine Abschätzung getroffen. Basis ist die Publikation des ifo-Instituts „Carbon Footprint“ (Aichele/Felbermayr 2011). Aichele/Felbermayr weisen für Deutschland einen Carbon Footprint von 878 Mio. t CO<sub>2</sub> aus (2007). Bei der Annahme, dass der Footprint nordrhein-westfälischer Verbraucher/innen im Bundesdurchschnitt liegt, ergibt sich für NRW ein Carbon Footprint von 192 Mio. t CO<sub>2</sub>. Konservativ wird von einem Wert von 200 Mio. t CO<sub>2</sub> ausgegangen. Bei dieser Annahme wird unterstellt, dass der Energiemix als bundeseinheitlich betrachtet wird.

### 3. Ergebnisse der Studie – zukünftige potenzielle Klimaschutzleistung des nordrhein-westfälischen Clusters ForstHolz

In den folgenden zehn Punkten werden die wichtigsten Ergebnisse der Modellierung der Waldentwicklung und der Speicher- und Substitutionswirkungen von Wald und Holz dargestellt.

Die Grundszenarien haben für den Wald unterschiedliche Speicherentwicklungen und Holzentnahmen zur Folge (Tabelle D). Abbildung A zeigt die Entwicklung des Speichers der oberirdisch lebenden Biomasse.

Die Summe aus Waldspeicher und den Effekten aus der Holzverwendung (Holzspeicher, Substitution) des entnommenen Rohholzes ergibt die Klimaschutzleistung des Clusters auf Basis des Leitmodells III.

Speicher/Senken und Emissionsreduktionen werden aus Gründen der allgemeinen Verständlichkeit (entgegen den Festlegungen im internationalen Klimaregime) in der Studie als positive Werte ausgewiesen.

#### Ergebnisse der Modellierung der Waldentwicklung und Holznutzung

**1. Grundszenarien: Massen-, Wert- und Speicheroptimierer zeigen deutlich unterschiedliche Speicherentwicklung im Wald und unterschiedliche Holznutzung**

	Massenoptimierer [Mio. t C]	Wertoptimierer [Mio. t C]	Speicheroptimierer [Mio. t C]
1. Summe der Waldspeicher	61,6	11,5	135,8
2. Summe Rohholzproduktion	264,9	246,8	135,2
Summe (1.+2.)	326,5	258,3	271,0
In Prozent des Wertoptimierers	126,4 %	100,0 %	104,9 %

**Tabelle D:** Speicherwerte und Rohholzproduktion in Mio. t C für die Grundszenarien als Summe von 2011 bis 2100 für NRW (in Studie Tab. 21)

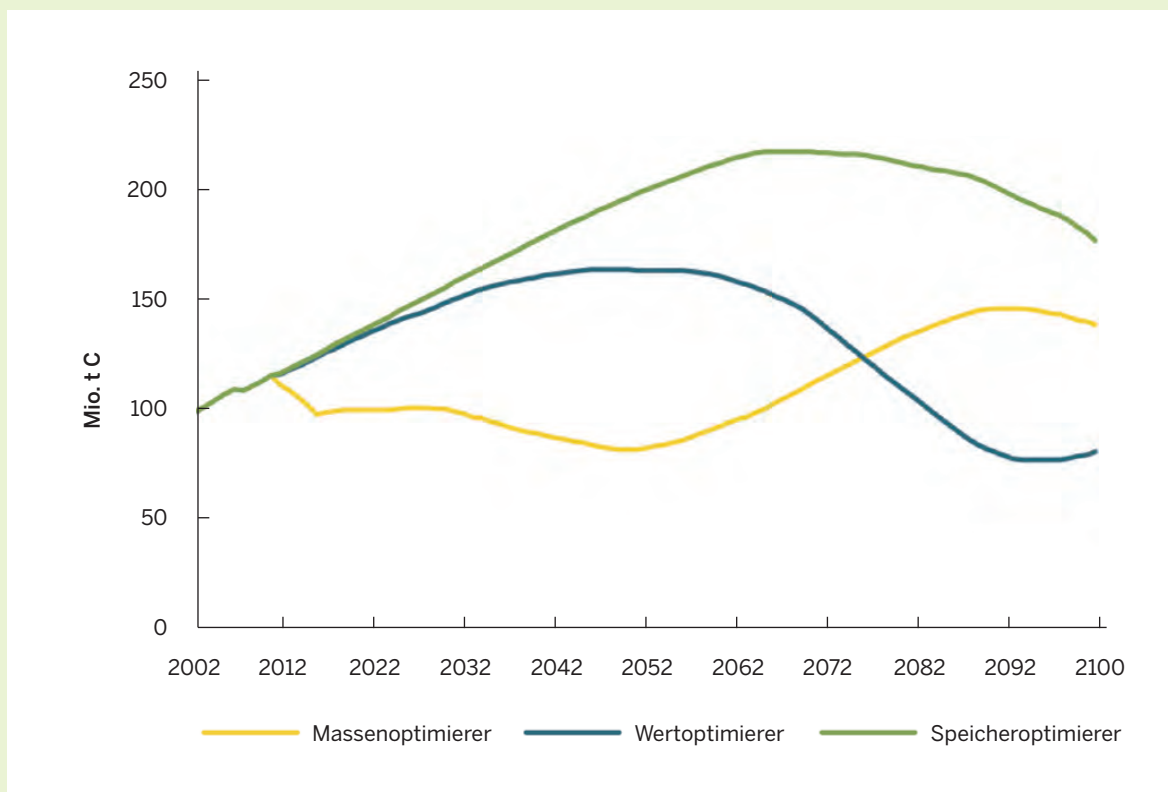


Abbildung A: Entwicklung des Speichers oberirdisch lebend für die Grundscenarien, Daten kumuliert (in Studie Abb. 6)

### Altersklasseneffekte durch Nachkriegsaufforstung

Die (zyklische) Entwicklung des Waldspeichers hat ihre Ursache in Altersklasseneffekten des Waldes. Die Altersklasseneffekte begründen sich im Wesentlichen in den (Wieder-)Aufforstungen nach dem 2. Weltkrieg.

### Aufbau von Totholzspeichern begünstigt bis 2100 speicherorientierte Szenarien

Neben den Altersklasseneffekten gibt es bis 2100 einen bedeutenden Senkeneffekt durch den Speicheraufbau der nicht lebenden Biomasse (Totholz). Abbildung B zeigt die Entwicklung der unterschiedlichen (Teil-)Waldspeicher (C-Pools) am Beispiel des Grundscenarios Wertoptimierer. In der Abbildung ist nur die relative (und damit relevante) Speicheränderung in Bezug auf 2010 gezeigt. Die Totholzspeicher erreichen je nach Szenario nach 2080 bzw. auch erst nach 2100 ein Gleichgewicht bzw. schwanken (abhängig vom jährlichen Totholzspeicher-Input/Output) um einen Gleichgewichtswert. Ist dieser Gleichgewichtszustand erreicht, erbringt der Totholzspeicher keinen Beitrag mehr zur Senkenleistung des Waldes. Da der Kohlenstoffspeicher im Totholz genauso bewertet wird wie der Kohlenstoffspeicher im lebenden Baum und Totholz sich über einen längeren Zeitraum abbaut, weisen speicherorientierte Szenarien in der Betrachtung bis 2100 deutlich höhere jährliche durchschnittliche Speicherleistungen aus als bei einer längerfristigen Betrachtung über 2100 hinaus. Das heißt, der Aufbau der Totholzspeicher im Betrachtungszeitraum bis 2100 begünstigt die speicherorientierten Szenarien und diskriminiert die Szenarien mit einer hohen Holznutzung.

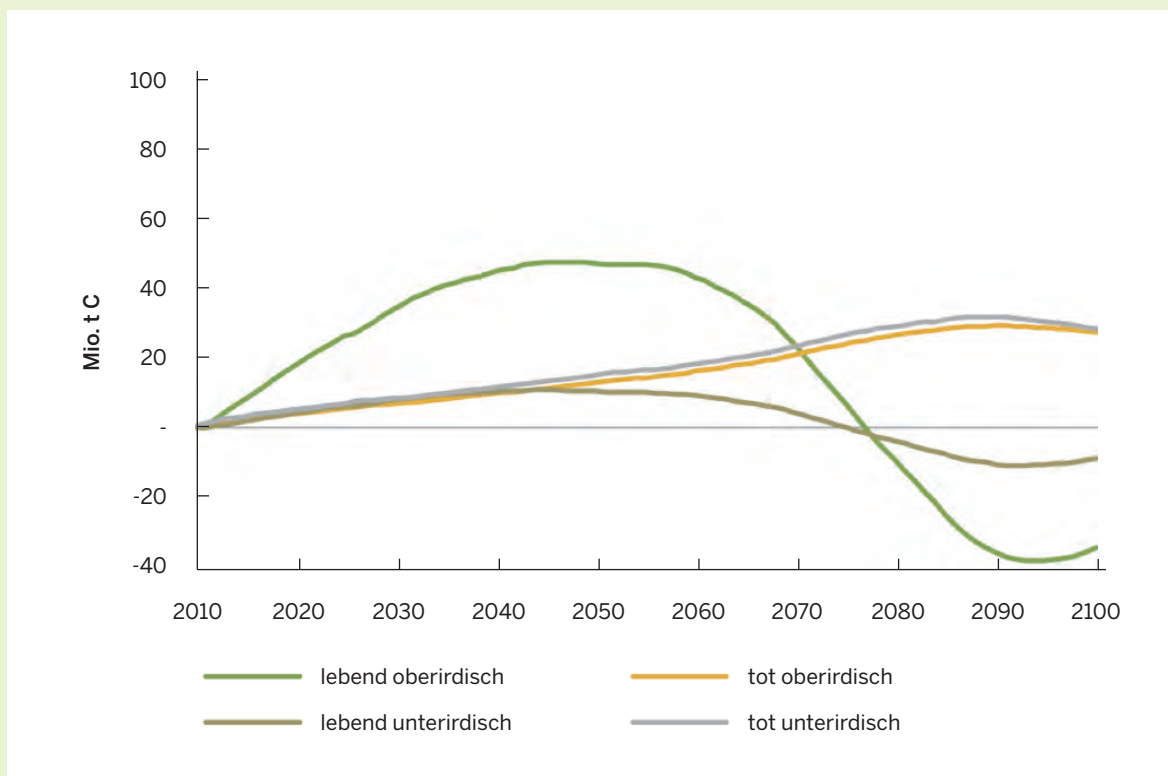


Abbildung B: Veränderung der vier (Teil-)Kohlenstoffspeicher (kumuliert) im Wald von 2011 bis 2100 für das Grundscenario Wertoptimierer (in Studie Abb. 13)

Die Kombinationsszenarien zeigen ein relativ einheitliches Bild (Tabelle E, Abbildung C). Durch die in die Kombinationsszenarien eingehenden verschiedenen Grundscenarien mit unterschiedlich langen Umtriebszeiten treten die Altersklasseneffekte nicht mehr so deutlich zutage.

## 2. Die Kombinationsszenarien zeigen ein einheitliches Bild

	Nutz [Mio. t C]	Erhalt [Mio. t C]	Schutz [Mio. t C]
1. Summe der Speicher	75,4	80,3	111,6
2. Summe Rohholzproduktion	221,2	204,9	169,9
Summe (1.+2.)	296,6	285,2	281,5
In Prozent des Erhaltszenarios	104,0 %	100,0 %	98,7 %

Tabelle E: Speicherwerte und Rohholzproduktion in Mio. t C für die Kombinationsszenarien als Summe von 2011 bis 2100 (in Studie Tab. 23)

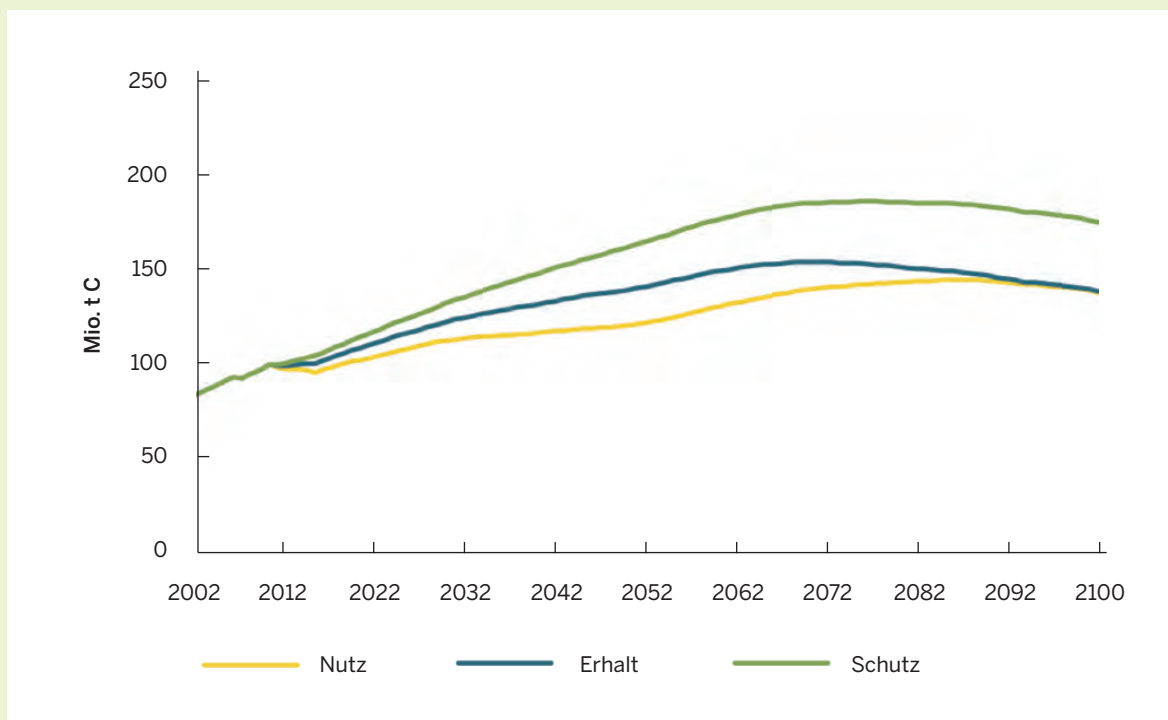


Abbildung C: Entwicklung des Speichers oberirdisch lebend für die Kombinationsszenarien, Daten kumuliert (in Studie Abb. 7)

### 3. Ganzheitliche Beurteilung des Systems Wald–Holzverwendung

#### Eine an Holznutzung orientierte Waldbewirtschaftung erbringt langfristig höhere Klimaschutzleistungen für den Cluster ForstHolz

Die Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz kann nur als Gesamtsystem mit ganzheitlich-systemischem Ansatz beurteilt und sachgerecht dargestellt werden. Die alleinige Betrachtung des Waldspeichers (Ökosystemansatz) führt zu nicht sachgerechten Bewertungen.

Eine auf höhere Holznutzung ausgelegte Waldwirtschaft erbringt im ganzheitlichen Ansatz der Waldbewirtschaftung und Holznutzung höhere Klimaschutzleistungen.<sup>10</sup> Wegen der Altersklassenstruktur und des Aufbaus des Totholzspeichers (s. o.) ist dieser Effekt bis 2050 noch gering, nach 2050 zum Teil deutlich ausgeprägt. Die Tabellen F und G geben die durchschnittlichen jährlichen Klimaschutzleistungen in Mio. t CO<sub>2</sub> (!)<sup>11</sup> für die Grundszenarien an. Abbildung D zeigt für die Grundszenarien den kumulierten Klimaschutzeffekt im Vergleich zur Speicherwirkung des Waldes (in t C).

Die Tabellen H und I und die Abbildung E stellen die entsprechenden Ergebnisse für die Kombinationsszenarien dar.

<sup>10</sup> Grundlage: heutiger Verwendungsschlüssel für Holz.

<sup>11</sup> Die durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung wird in t CO<sub>2</sub> ausgewiesen (entgegen der sonstigen Darstellung in t C), weil diese Werte die Schnittstelle zur allgemeinen Klimaschutzdiskussion darstellen und von vielen Adressaten dieses Berichts besser eingeordnet werden können.

Durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung abhängig von der Bewirtschaftungsform (2011–2050)	Wald-speicher [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Holz-speicher [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Energie-subst. [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Material-subst. [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Summe [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]
Massenoptimierer	-1,0	2,9	5,1	8,6	15,8
Wertoptimierer	7,5	1,2	2,9	4,5	16,0
Speicheroptimierer	11,2	0,0	1,4	2,2	14,8

Tabelle F: Durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz in Nordrhein-Westfalen abhängig von der Bewirtschaftungsform (Grundszenarien) (2011–2050) (in Studie Tab. 29)

Durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung abhängig von der Bewirtschaftungsform (2011–2100)	Wald-speicher [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Holz-speicher [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Energie-subst. [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Material-subst. [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Summe [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]
Massenoptimierer	2,5	1,4	5,0	7,6	16,5
Wertoptimierer	0,5	1,5	4,5	7,0	13,5
Speicheroptimierer	5,5	0,5	2,1	3,3	11,5

Tabelle G: Durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz in Nordrhein-Westfalen abhängig von der Bewirtschaftungsform (Grundszenarien) (2011–2100) (in Studie Tab. 28)

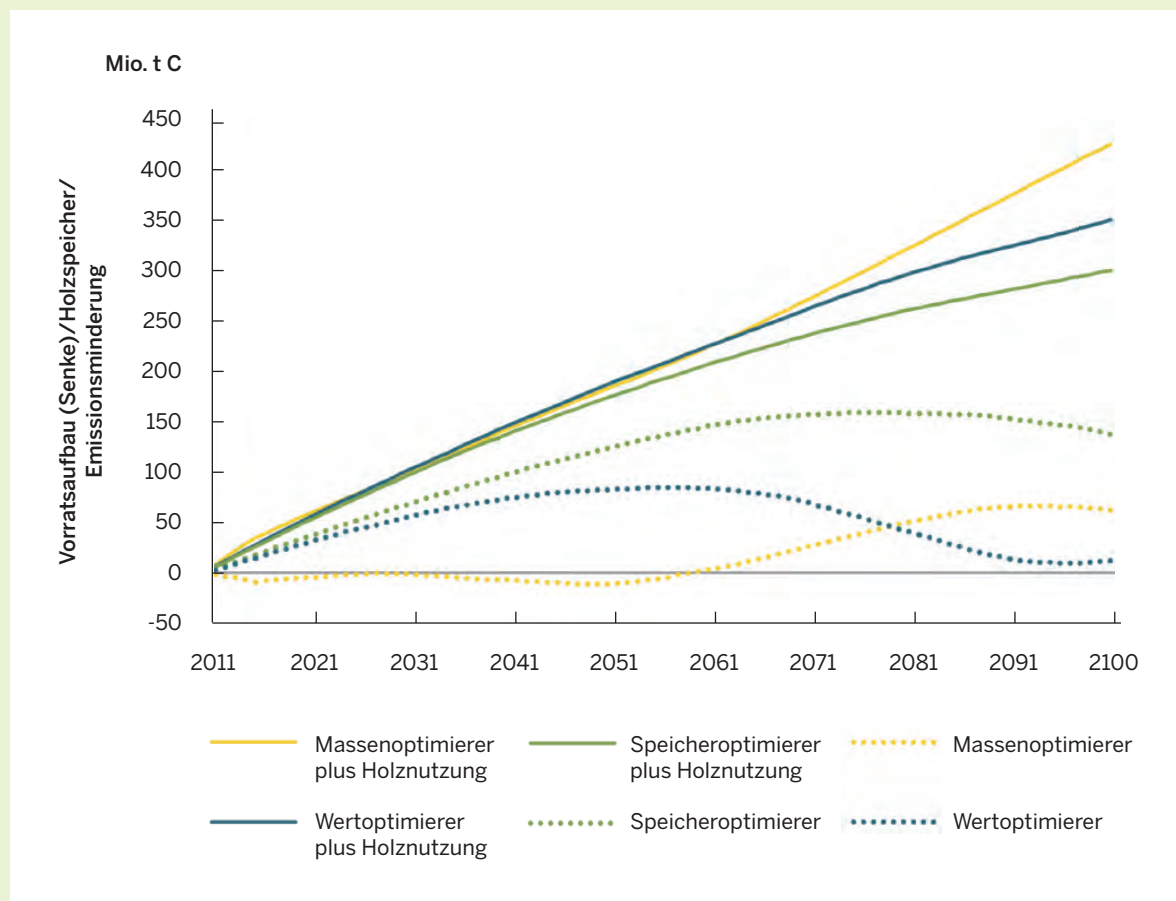


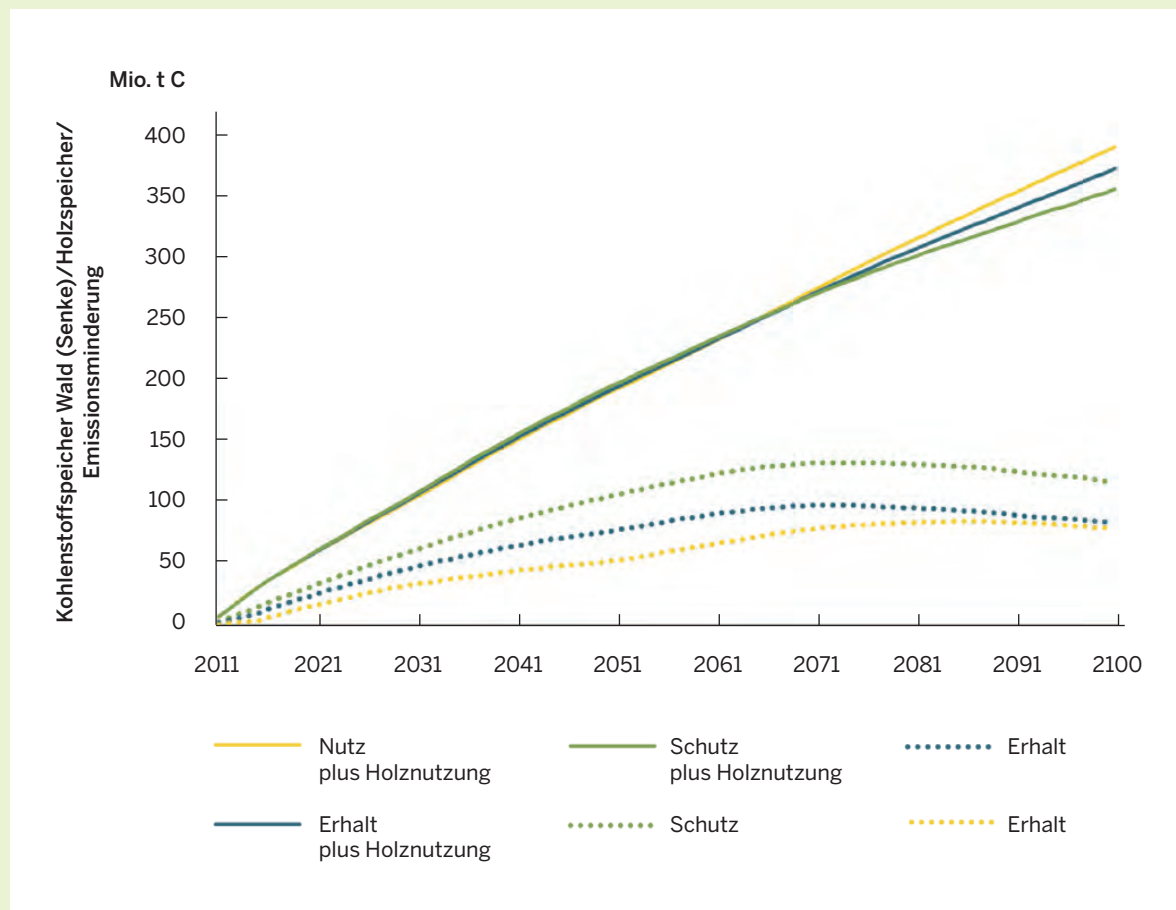
Abbildung D: Entwicklung (kumuliert) der Kohlenstoffspeicher (2011 bis 2100) im Wald für die Grundszenarien (gepunktete Linien) und für alle Klimaschutzleistungen des Systems Wald–Holzverwendung (Wald- und Holzspeicher und Emissionseinsparung durch energetische und stoffliche Substitution; durchgezogene Linien) (in Studie Abb. 20)

Durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung abhängig von der Bewirtschaftungsform (2011–2050)	Waldspeicher [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Holzspeicher [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Energie-subst. [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Material-subst. [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Summe [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]
Nutz	4,6	1,7	3,6	5,9	15,8
Erhalt	6,8	1,3	3,0	4,9	16,0
Schutz	9,3	0,8	2,4	3,8	16,3

**Tabelle H:** Durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz in Nordrhein-Westfalen abhängig von der Bewirtschaftungsform (Basisszenario der Kombinationsszenarien) (2011–2050) (in Studie Tab. 35)

Durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung abhängig von der Bewirtschaftungsform (2011–2100)	Waldspeicher [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Holzspeicher [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Energie-subst. [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Material-subst. [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Summe [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]
Nutz	3,1	1,2	4,1	6,3	14,7
Erhalt	3,3	1,1	3,8	5,8	14,0
Schutz	4,6	0,8	3,1	4,8	13,3

**Tabelle I:** Durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz in Nordrhein-Westfalen abhängig von der Bewirtschaftungsform (Basisszenario der Kombinationsszenarien) (2011–2100) (in Studie Tab. 34)



**Abbildung E:** Entwicklung (kumuliert) der Kohlenstoffspeicher (2011 bis 2100) im Wald für die Kombinationsszenarien (gestrichelte Linien) und für alle Klimaschutzleistungen des Systems Wald–Holzverwendung (Wald- und Holzspeicher und Emissionseinsparung durch energetische und stoffliche Substitution; durchgezogene Linien) (in Studie Abb. 30)



Der Betrachtungszeitraum ist entscheidend dafür, welche Klimaschutzleistung entsteht. Es ist daher wissenschaftlich geboten, verschiedene Zeitpunkte zu betrachten. In kurzen Betrachtungszeiträumen ist eine reduzierte Holznutzung wegen der speziellen Waldsituation (Altersklassen, Totholzspeicher) nicht bzw. nur zum Teil nachteilig, längere Zeiträume sprechen eindeutig für eine (moderat) stärkere Nutzung.

Umstellungen des Waldmanagements hin zu einer Waldbewirtschaftung, die eine erhöhte Klimaschutzleistung von Wald und Holzverwendung zum Ziel hat, benötigen Zeit. Bewirtschaftungsstrategien mit einer erhöhten Holznutzung erbringen dauerhaft eine höhere Klimaschutzleistung über längere Zeiträume.

Klimaschutzeffekte aus Holzverwendung (Holzspeicher und Substitutionseffekte) sind bei den nicht speicherorientierten Szenarien größer als der Effekt aus der Senkenleistung des Waldes (vgl. Tabellen F bis I).

Die Klimaschutzeffekte aus Wald- und Holzspeicher bzw. energetischer und stofflicher Substitution sind in Abbildung F exemplarisch für das Grundscenario Wertoptimierer (kumuliert) dargestellt. Zu erkennen ist, dass die Substitutionseffekte im Zeitraum bis 2100 deutlich größer sind als die Speichereffekte. Gleichzeitig ist zu berücksichtigen, dass Speicherleistungen nur temporär sind. In allen Szenarien wurde der Waldspeicher bis 2100 zeitweise zu einer Kohlenstoffquelle, wobei dieser Quelleneffekt bei den speicherorientierten Szenarien (speicherorientiert, Schutz) am größten ist. Klimaschutzleistungen durch Substitution (energetische und vor allem stoffliche durch Holznutzung) werden dauerhaft erbracht. Die Substitutionsleistungen führen dazu, dass die Gesamtklimaschutzleistung in den Szenarien bis 2100 immer positiv ist – auch in den Jahren, wenn der Wald zu einer Kohlenstoffquelle wird.

**Betrachtungszeiträume entscheidend**

**Effekte aus der Umstellung der Waldbewirtschaftung nur langfristig sichtbar**

**4. Effekte aus Holznutzung größer als Effekte aus Senkenleistung des Waldes**

**5. Speicher/Senken sind temporär, Substitution ist dauerhaft**

**Substitution bedeutender als Speicher**

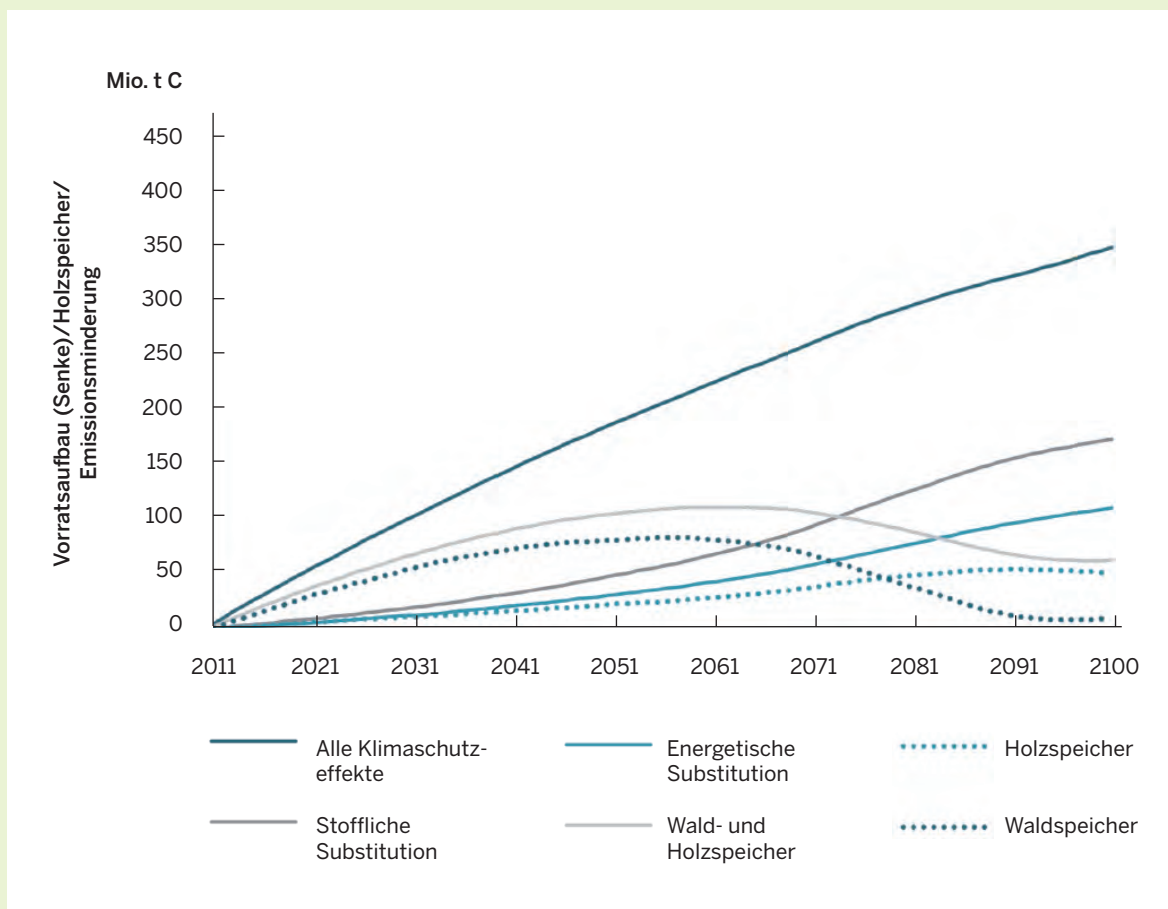


Abbildung F: Entwicklung (kumuliert) der Klimaschutzleistungen des Wertoptimierers (2011 bis 2100): Entwicklung der Speicher (Wald- und Holzproduktspeicher) und der Substitutionswirkung der Holzverwendung (Emissionseinsparung durch energetische und stoffliche Substitution) (in Studie Abb. 23)

**Umstellung der Waldbewirtschaftung auf höhere Holzproduktion nur sinnvoll, wenn sie mit einem stofflichen Nutzungskonzept verbunden ist**

Abbildung F zeigt auch, dass die stoffliche Substitution einen deutlich höheren Anteil an der Klimaschutzleistung hat als die energetische Substitution. Ein aus Klimaschutzgründen nutzungsorientiertes Waldmanagement ist nur sinnvoll, wenn damit ein Nutzungskonzept zur stofflichen Nutzung verbunden ist. Ein einseitig auf Holzenergienutzung ausgelegtes Nutzungskonzept jedoch wirkt sich im Zeitraum bis 2100 nachteilig auf die Klimaschutzeffekte von Wald- und Holzwirtschaft aus.

**6. Annahme der Substitution fossiler Energieträger ist methodisch sinnvoll und gerechtfertigt**

Die zur Beurteilung der Szenarien zugrunde gelegte Modellannahme des Substitutionsfaktors für die energetische Substitution  $SF_{EN}$  ist für die Berechnung und Bewertung entscheidend. In der Studie wurde der Substitutionsfaktor für die energetische Substitution mit  $SF_{EN} = 0,67 \text{ t C/t C}$  angesetzt. Solange noch fossile Energieträger verwendet werden, ist die Annahme einer Substitution fossiler Energieträger inhaltlich sinnvoll und methodisch begründet. In der Studie wurde daher die Substitution von leichtem Heizöl bzw. von Energieträgern des heutigen fossilen Energiemix zugrunde gelegt. Wegen des Einsatzes von Braunkohle als Energieträger in Nordrhein-Westfalen wäre es auch gerechtfertigt, die Substitution von Braunkohle als Energieträger

anzunehmen. Diese Annahme würde zu einer höheren Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz führen.

In einer CO<sub>2</sub>-freien Wirtschaft (die ggf. in der Zeit nach 2100 möglich ist) ist die Substitution grundsätzlich neu und anders zu beurteilen, da nur noch erneuerbare, CO<sub>2</sub>-freie Energieträger eingesetzt werden. Trotzdem würden Wald und Holzprodukte durch die Speicherwirkung die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre (temporär) senken.

In der Studie wurde der Substitutionsfaktor für die stoffliche Substitution mit  $SF_{MA} = 1,5 \text{ t C/t C}$  angesetzt.<sup>12</sup> Durch verschiedene Maßnahmen ist es möglich, den Substitutionsfaktor  $SF_{MA}$  und damit die Klimaschutzleistung zu erhöhen. Dabei haben auch anscheinend kleine Maßnahmen (z. B. Erhöhung der Ausbeute im Sägewerk, verlängerte Lebensdauer von Holzprodukten) eine große Auswirkung.

Es muss davon ausgegangen werden, dass für die Produkte, die zu Holzprodukten in Konkurrenz stehen (Alu, Kunststoff, mineralische Baustoffe etc.), die Möglichkeiten zur Produkt- oder Prozessverbesserung in Zukunft in Teilbereichen (z. B. Energieeinsatz, Recycling) mindestens genauso gut genutzt werden wie für Holzprodukte. Das heißt, es besteht die Möglichkeit, dass sich der Faktor  $SF_{MA}$  (als Relativfaktor) und damit auch die Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz trotz eigener Verbesserungen verschlechtern könnten.

Die Kaskadennutzung mit der zunächst stofflichen Nutzung des Holzes (ideal zusätzlich mit ein- oder mehrstufigem Recycling) erbringt eine deutlich größere Klimaschutzleistung als eine sofortige energetische Nutzung des Rohholzes. Die vorrangig stoffliche Nutzung des Holzes hat den größten Einfluss überhaupt auf die Klimaschutzleistung der Holzverwendung (und des Clusters ForstHolz).

Die stoffliche Nutzung des Holzes verschiebt die energetische Verwertung bis zum End-of-life der Produkte in die Zukunft. Bis zum Zeitpunkt dieser energetischen Verwertung bietet die Speicherwirkung der Produkte eine (Über-)Kompensation für die noch nicht erfolgte energetische Substitution (1 t C im Holzspeicher statt 0,67 t C durch Aufschieben der energetischen Substitution). Gleichzeitig stehen weiterhin prozessbedingt Resthölzer und Gebrauchtholz aus früherer Nutzung im Gesamtsystem als Energieträger zur Verfügung.

Der Vorteil der zunächst stofflichen Nutzung gegenüber der energetischen Nutzung lässt sich durch die Substitutionsfaktoren (in Bezug auf das Holzprodukt) quantifizieren:

- a) Rein energetische Nutzung:  
 $SF_{EN} = 0,67 \text{ t C/t C} (= 100 \%)$

### 7. Höhere Substitutionsfaktoren durch Verbesserungen in Holzverwendung möglich

### 8. Kaskadennutzung wichtig – vorrangig stoffliche Nutzung des Holzes hat den größten Einfluss auf die Klimaschutzleistung der Holzverwendung

<sup>12</sup> In der Literatur sind unterschiedliche Faktoren angegeben. In der Metastudie von Sathre und O'Connor (2010) wird ein Faktor von 2,1 t C/t C angegeben. Wegen der unsicheren Datenlage und Inkonsistenz in der Primärliteratur wird in der Studie konservativ ein Wert von 1,5 t C/t C angenommen.

- b) Kaskadennutzung I (erst rein stofflich, dann energetisch):  
 $SF_{MA} + SF_{EN} = 2,17 \text{ t C/t C} (= 324 \% \text{ von a})$
- c) Kaskadennutzung II (erst rein stofflich, dann  $\frac{1}{2}$  [stoffliches] Recycling einmalig, dann energetisch):  
 $SF_{MA} + SF_{MA^*} + SF_{EN} = 2,92 \text{ t C/t C} (= 435 \% \text{ von a})$

Daneben ist noch der (temporäre) Speicherfaktor von 1,0 t C/t C zu berücksichtigen.

#### 9. Notwendigkeit, für zukünftig höheres Laubholzaufkommen Verwendungen zu finden

Eine an Bedeutung gewinnende Möglichkeit zur Ausweitung der stofflichen Nutzung und damit der Erhöhung der Klimaschutzleistung der Holzverwendung besteht insbesondere darin, für Laubholz stoffliche Nutzungen zu entwickeln und zu realisieren. Die Simulationen zeigen, dass in NRW in der Zukunft vermehrt Laubholz zur Verfügung stehen wird.

#### 10. Sekundäre Klimaschutzeffekte bieten zusätzliches Beurteilungskriterium

Klimaschutzeffekte, die ihre Ursache in Senkenleistungen (Wald- und Holzspeicher) bzw. in Emissionsminderungen durch Substitution (energetische und stoffliche Substitution) haben, werden in der Studie als primäre Klimaschutzleistungen definiert. Darüber hinaus erbringen Wälder in einer multifunktionalen Waldbewirtschaftung auch weitere Leistungen, die unter Klimaschutzgesichtspunkten berücksichtigt werden können. Sie wurden in der Studie als sekundäre Klimaschutzleistungen definiert. Darunter fallen insbesondere die mit der Holznutzung verbundenen ökonomischen Effekte (volkswirtschaftliche und fiskalische Effekte), die für Klimaschutzmaßnahmen genutzt werden können. Dabei handelt es sich nicht um reale Emissionsminderungen (in t C bzw. t CO<sub>2</sub>), sondern um monetäre Effekte (in Euro), die zu Klimaschutzmaßnahmen innerhalb und außerhalb des Sektors ForstHolz genutzt werden können und damit primäre Emissionsminderungen (in t C bzw. t CO<sub>2</sub>) zur Folge haben.

Die sekundären Klimaschutzeffekte sind ein wichtiges zusätzliches Beurteilungskriterium, denn bei Betrachtung von Abbildung E könnte man (fälschlich) zu dem Schluss gelangen, dass es bis ca. 2070 aus Sicht des Klimaschutzes irrelevant ist, wie der Wald bewirtschaftet bzw. genutzt wird. Es zeigt sich kaum eine Differenz bei den Linien.

Bei dieser Betrachtung wird jedoch der sozioökonomische Nutzen der Waldwirtschaft, der sekundär Klimaschutzleistungen erbringt (die wiederum primäre Leistungen ermöglichen), außer Acht gelassen. Betrachtet man z. B. die Differenz der Rohholzbereitstellung des Kombinationsszenarios Erhalt mit der des Szenarios Schutz, so erbringt Erhalt von 2011–2100 durchschnittlich ca. 1,5 Mio. m<sup>3</sup> Rohholz mehr pro Jahr. Diese Rohholzmenge entspricht einer volkswirtschaftlichen Wertschöpfung von ca. 800 Mio. Euro/Jahr (Steuereinnahmen von ca. 270 Mio. Euro/Jahr). Aus diesen Steuereinnahmen lässt sich eine durchschnittliche Klimaschutzleistung von 13,5 bis 36 Mio. t CO<sub>2</sub>/Jahr (CO<sub>2</sub>-Zertifikatspreis 7,50 Euro/t CO<sub>2</sub> bzw. CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten 20 Euro/t CO<sub>2</sub>) sekundär generieren (vgl. primäre Klimaschutzleistung des Erhalt-Szenarios durchschnittlich 14,0 Mio. t CO<sub>2</sub>/Jahr).

## 4. Maßnahmen – Monitoring

Maßnahmen zur Erhöhung der Klimaschutzleistung können auf der Ebene der Waldbewirtschaftung, der Holzverwendung/-verwertung und der Effizienzsteigerung bei den Prozessen der (Forst- und) Holzwirtschaft ansetzen.

Ansätze auf der Waldseite liegen zum einen in der Ausdehnung forstwirtschaftlich genutzter Flächen (z. B. auf Grenzertragsflächen und Haldenbepflanzung als Alternative zu Kurzumtriebsplantagen: MUPs = Plantagen mit mittlerer Umtriebszeit) oder der Erhöhung der Produktivität durch Waldbaustrategien und/oder durch den (aus Naturschutzgründen teilweise umstrittenen) Anbau nicht heimischer, schnellwüchsiger Baumarten (z. B. *Pseudotsuga menziesii*, *Abies grandis*). Daneben bietet sich auch die Möglichkeit, das Potenzial heimischer Baumarten (z. B. Eiche, Fichte, Kiefer) zu erhöhen (Verbesserung der Pflanzenzüchtung, Optimierung bei Standortwahl etc.).

Da Unsicherheiten bestehen, ob die Holzwirtschaft in der Lage ist, die zukünftig vermehrt anfallenden Mengen an Laubholz deutlich über das heutige Maß hinaus stofflich zu nutzen, kommt den Anstrengungen, im Rahmen des Waldumbaus auch weiterhin klimaangepasste Nadelholzarten zu kultivieren, eine besondere Bedeutung zu. Die in dieser Studie berechneten Klimaschutzleistungen des nordrhein-westfälischen Clusters ForstHolz basieren heute zu einem bedeutenden Teil auf Nadelholzprodukten. Steht zukünftig weniger Nadelholz zur Verfügung und gelingt es nicht, Laubholz in ähnlicher Weise stofflich zu nutzen, führt dies zu einer abnehmenden Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz.

Auf Seiten der Holzverwendung hat die Strategie der Kaskadennutzung (stofflich-energetisch) die höchste Priorität. Die Anstrengungen, Holz zunächst stofflich und dann erst energetisch zu nutzen, sind vorrangig zu verfolgen. Da u. a. durch die Energiewende Biomasse als Energieträger stark nachgefragt ist, sind dabei mehr und deutlichere Anstrengungen als heute in der Förderung der stofflichen Nutzung notwendig. Die Marktkräfte sind u. a. wegen Kosten-Nutzen-Relationen und Eingriffen von außen in Richtung vermehrter energetischer Holznutzung gerichtet. Daher ist es von großer Bedeutung, mittels Fördermaßnahmen eine verstärkte stoffliche Nutzung von Holz, besonders Laubholz, anzuregen. Hier sind in hohem Maße Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen notwendig.

Auf der anderen Seite sind Maßnahmen zur Ausweitung der energetischen, primären Verwendung von Holz zu hinterfragen, besonders bei den derzeitigen Verbrennungstechnologien. In Bezug auf die Klimawirkung ist die direkte Verbrennung von Holz in dem betrachteten Zeitraum bis 2100 die schlechteste aller Optionen, schlechter als die zeitweise Nichtnutzung (zumindest in bewirtschafteten Wäldern).

**Maßnahmen auf den Ebenen  
Waldbewirtschaftung – Holzver-  
wendung – Holzwirtschaft**

**Ausweitung der Waldflächen  
Erhöhung der Produktivität**

**Bei der Waldbewirtschaftung  
sollte im Blick bleiben, dass Na-  
delholz heute die Rohstoffbasis  
für die Klimaschutzleistung des  
Clusters ForstHolz ist**

**Kaskadennutzung und Laubholz-  
nutzung**

Es gibt aber ein großes Potenzial der Effizienzsteigerung bei der energetischen Holzverwertung, auch in Nordrhein-Westfalen. Viele Prozesse (Stromerzeugung ohne Wärmenutzung, Scheitholzverbrennung in Einzelfeuerstätten mit schlechten Wirkungsgraden etc.) bieten Ansatzpunkte für Verbesserungen, unterstützt durch Fördermaßnahmen. Insofern sind Maßnahmen zur Verbesserung der energetischen Verwertung sinnvoll und empfehlenswert.

#### **Verbesserungen in Holzverwendung und Holzverwertung**

Daneben liegen noch Verbesserungspotenziale in Maßnahmen bei der stofflichen Holzverwendung selbst, wie zum Beispiel:

- Erhöhung des Einsatzes langlebiger Produkte, z. B. im Bauwesen oder in hochwertigen (langlebigen) Möbeln
- Reduktion des Energieeinsatzes zur Herstellung von Holzprodukten (z. B. Trocknung, Aufschlussprozesse)
- Sparsamer Umgang mit Holzressourcen bei gleicher Erfüllung der Funktionen in der Verwendung, z. B. tragfähigere Hölzer, Leichtbau für Möbel („weniger Holz für die gleiche Funktion“)

#### **Monitoring der Klimaschutzleistung**

In der Studie wird ein Monitoring der Klimaschutzleistung des nordrhein-westfälischen Clusters ForstHolz auf Basis der heutigen Datenlage vorgeschlagen. Daneben werden Vorschläge gemacht, wie sich mittels vertiefender Studien (u. a. auch in einer Fortschreibung der Clusterstudie NRW) die Genauigkeit der Aussagen verbessern lässt.

## 5. Resümee

Die Studie „Beitrag des NRW Clusters ForstHolz zum Klimaschutz“ ermittelt einen bedeutenden Beitrag des Clusters ForstHolz zum Klimaschutz. Insgesamt stellt der Cluster ForstHolz seine Produkte nicht nur (netto) CO<sub>2</sub>-frei zur Verfügung, sondern er erbringt darüber hinaus noch einen bedeutenden positiven Beitrag zum Klimaschutz. Der positive Beitrag ist mehrfach höher als die eigenen CO<sub>2</sub>-Emissionen (Negativ-Emissions-Cluster).

Die heutige Klimaschutzleistung kann durch Maßnahmen in Wald- und Holzwirtschaft weiter verbessert werden. Der Kohlenstoffspeicher des Waldes und Maßnahmen der Waldbewirtschaftung haben in dem untersuchten Rahmen einer nachhaltigen, multifunktionalen Waldwirtschaft einen geringeren Einfluss auf die Klimaschutzleistung als die Wirkungen und die Maßnahmen in der Holzverwendung. Dabei sind langlebige Holzprodukte und solche mit hohen Substitutionsfaktoren im Vergleich zu anderen Produkten sowie die Kaskadennutzung von größter Bedeutung. Die direkte energetische Nutzung von Holz (ohne vorherige stoffliche Verwendung), vor allem mit Techniken mit geringem energetischem Wirkungsgrad, ist eher kontraproduktiv für den Klimaschutz.

Die Substitution fossiler Energieträger (energetische und stoffliche Substitution) erbringt den wichtigsten Beitrag der Forst- und Holzwirtschaft zum Klimaschutz. Da Substitutionsfaktoren Relativgrößen sind, sind Anstrengungen notwendig, damit die Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz weiter verbessert wird und sich nicht verringert.

Aufgrund des Marktdrucks durch die verstärkte Verwendung von Biomasse zur energetischen Nutzung, verstärkt durch den zukünftig höheren Anfall von Laubholz, für das heute unzureichend Möglichkeiten der stofflichen Nutzung bestehen, besteht die Möglichkeit, dass sich die Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz in Zukunft verschlechtert.

Die Bewertungen beziehen sich – in Anlehnung an das Leitmodell III (Wald in NRW und Holz aus NRW) – auf die heutige oder eine nur leicht veränderte Markt- und Wirtschaftsstruktur bzw. auf die Möglichkeiten der Rohstoffbereitstellung aus nordrhein-westfälischen Wäldern. Bezieht man sich auf die Leitmodelle I und II, dann bedeutet jede Steigerung der Verwendung von Holzprodukten in Nordrhein-Westfalen eine Erhöhung der Klimaschutzleistung (Leitmodell I). Maßnahmen zur Steigerung der Herstellung von Holzprodukten in NRW aus lokal erzeugtem Holz oder auch auf Basis importierten Rohholzes bzw. die Ansiedlung neuer holzwirtschaftlicher Betriebe in NRW führen nach Leitmodell II zu einer Erhöhung der Klimaschutzleistung.

## 2. Ziele der Studie

<b>Ziele der Studie</b>	Im Forschungsvorhaben „Beitrag des NRW Clusters ForstHolz zum Klimaschutz“ (Berichtszeitraum 15.11.2011–15.11.2012) werden die derzeitigen und zukünftigen potenziellen Klimaschutzleistungen des Clusters Forst und Holz in Nordrhein-Westfalen bewertet.
<b>Bestimmung der Senken und Speicher</b>	
<b>Klimaschutzleistung Wald – Senkenleistung des Waldes – Waldspeicher</b>	In der Studie wird eine Aussage zur Abschätzung der Klimaschutzleistung des nordrhein-westfälischen Waldes (Kohlenstoffsenke Wald) getroffen. Dabei werden das Waldwachstum und die jährliche Entwicklung des Kohlenstoffspeichers in Abhängigkeit von der Waldbewirtschaftung modelliert und diskutiert (Szenarien der Nutzung mit Darstellung der sich daraus ergebenden Vorrats- und Speicherentwicklung).
<b>Klimaschutzleistung Holz – Senkenleistung der Holzverwendung/der Holzprodukte – Holzproduktespeicher</b>	In der Studie wird der Holz(producte)speicher (C-Speicher Holz in NRW) ermittelt und bewertet. Dabei ist die dynamische jährliche Entwicklung des C-Speichers Holzprodukte = Nettospeicherleistung (Zugänge, Abgänge) für die Klimaschutzleistung relevant.
<b>Bestimmung der Emissionsminderung durch Substitution</b>	
<b>Klimaschutzleistung Holz – Emissionsminderung durch Holzenergie</b>	Die CO <sub>2</sub> -Emissionsminderung beim Ersatz fossiler Energieträger durch energetische Verwertung von Holz (energetische Substitution) wird ermittelt.
<b>Klimaschutzleistung Holz – Emissionsminderung durch Materialsubstitution</b>	Die CO <sub>2</sub> -Emissionsminderung durch die Substitution von Nichtholzprodukten durch Produkte aus Holz und die daraus erzielte Energieeinsparung werden ermittelt.
<b>Potenziale für eine Erhöhung der Klimaschutzleistung</b>	Die Studie gibt Ansätze für eine Erhöhung der Klimaschutzleistung in NRW durch Waldbaustrategien und Holzverwendungsstrategien.
<b>Diskussion, Interpretation und Empfehlungen</b>	Dabei wird die Gesamtwirkung von Waldbewirtschaftung und Holzverwendung diskutiert und bewertet.
<b>Potenzialbetrachtung – Szenarien für die Klimaschutzleistung</b>	Neben der Bestimmung der heutigen Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz in NRW werden in Abhängigkeit von der Waldbewirtschaftung (s. o.) Szenarien für potenzielle Klimaleistungen bis 2100 erarbeitet.



## 25 Ziele der Studie

In der Studie wurden die Teilziele und inhaltlichen Schwerpunkte auch während der Bearbeitungszeit der Studie angepasst (Partizipation und Einbezug der Fachleute und Stakeholder).<sup>13</sup>

Die primäre Frage, die in der Studie mit Hinblick auf zukünftige Maßnahmen beantwortet werden soll, lautet: Wie ist im Cluster ForstHolz (physisch) die größte Klimaschutzleistung zu erzielen? Diese Frage wird auf Basis naturwissenschaftlicher Grundlagen und im Einklang mit wissenschaftlichen Standards und Festlegungen des Kyoto-Prozesses (IPCC), aber unabhängig von (erwarteten) politischen Festlegungen/Anerkennungen im Kyoto-Prozess beantwortet.

Erst sekundär ist die Frage: Wie wird die Klimaschutzleistung innerhalb des internationalen Klimaregimes anerkannt bzw. angerechnet? Diese Hierarchisierung ist aus wissenschaftlicher Sicht unabdingbar, weil die Anrechnungen auch politisch motiviert/begründet sind und es nicht bzw. nur begrenzt möglich ist vorherzusagen, was zukünftig anerkannt wird (in einem Nachfolgeabkommen zu Kyoto bzw. in einem Post-Post-...-Kyoto-Abkommen). Gleichzeitig ist nicht prognostizierbar, wie und ob internationale Abkommen inhaltlich einheitlich (national) geregelt bzw. umgesetzt werden.<sup>14</sup>

Nicht alle klimapolitischen Entscheidungen sind in einem allgemeinen Verständnis ökologisch. Es ist für die wissenschaftliche Betrachtung des Themas wichtig, dass Maßnahmen, die dem Klimaschutz dienen, inhaltlich sauber von den Maßnahmen getrennt werden, die politisch als ökologisch gelten. Es sollte vermieden werden, dass neben echten Klimaschutzargumenten auch andere Argumente für Klimaschutz angeführt werden (Naturschutz, Biodiversität etc.). Solche allgemein ökologischen Argumente (die dem Klimaschutz zum Teil sogar entgegenstehen) sind (unbestritten) allgemein anerkannt, aber sie sollten getrennt betrachtet werden und am Ende von Bürgern und Politik in ihrer Bedeutung bewertet werden.<sup>15</sup>

**Studie als partizipativer und offener Prozess**

**Studie beantwortet die Frage, welche Klimaschutzleistungen (physisch) erbracht werden**

**Trennung von Klimaschutzargumenten von sonstigen Argumenten**

---

<sup>13</sup> Es fanden u. a. Workshops und Präsentationen im Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, im Landesbetrieb Wald und Holz und mit Stakeholdern aus der Praxis (Forst- und Holzwirtschaft, Waldbesitz; auf Einladung des Landesbetriebs) statt. Insgesamt fanden fünf Veranstaltungen statt. Daneben wurde zu Einzelfragen die Expertise der Fachleute des Landesbetriebs Wald und Holz, aus der Holzwirtschaft und den Statistikbehörden eingeholt.

<sup>14</sup> Wenn es bei der Beantwortung der beiden Fragen zu Widersprüchen kommt, dann kann dieser Widerspruch nur politisch aufgelöst werden und nicht (natur-)wissenschaftlich.

<sup>15</sup> Das Gleiche gilt auch für die Bewertung der Rolle von Biomasse in der Energiewende und (konkurrierend dazu) im Klimaschutz.

### 3. Die Rolle der Forst- und Holzwirtschaft im Klimaschutz

#### 3.1 Stand der wissenschaftlichen Diskussion

**Zahlreiche Studien zum Klimaschutz des Clusters ForstHolz in den letzten 20 Jahren**

Seit ca. 20 Jahren beschäftigen sich Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus der Forst- und Holzwirtschaft und angrenzenden Wissenschaftsbereichen mit dem Beitrag der Forst- und Holzwirtschaft zum Klimaschutz.

Als erste Autoren haben Burschel et al. die Bedeutung von Wald und Holzprodukten als Kohlenstoffspeicher und damit als Klimaschutzmaßnahme umfassend dargestellt (Burschel et al. 1993). Während sich zahlreiche Wissenschaftler mit Wald als Kohlenstoffspeicher beschäftigten, erfassten erstmals Frühwald et al. (1994) den Holzproduktespeicher am Beispiel von Deutschland. In der Folgezeit sind zahllose Publikationen entstanden, die Einzelaspekte, Waldbaustrategien, Holzverwendung betrafen, aus denen jedoch kein Gesamtbild (z. B. für ein Land) abgeleitet wurde.

In den letzten fünf Jahren wurde das Thema sowohl auf der Ebene einzelner Bundesländer (z. B. in Baden-Württemberg von Pistorius 2007 oder in Niedersachsen von Wördehoff et al. 2011) als auch von Wissenschaftlern des (damaligen) von Thünen Instituts (vTI) (u. a. Rüter et al. 2011, Rüter 2011a, Köhl et al. 2011) und des Bundeslandwirtschaftsministeriums BMELV (Heuer 2011) auf gesamtdeutscher Ebene betrachtet.

**Bislang keine umfassende Betrachtung auf der Ebene Nordrhein-Westfalens**

Für Nordrhein-Westfalen wurden bislang Einzelaspekte, insbesondere auf der Forstseite, beschrieben (z. B. von Joosten et al. 2004). Eine umfassende Bewertung der Klimaschutzleistung der nordrhein-westfälischen Forst- und Holzwirtschaft bzw. des Clusters ForstHolz fehlt jedoch bislang. Sie soll durch die vorliegende Studie erfolgen.

**Schwierigkeit der Erfassung der Substitutionsleistungen**

Die Einbeziehung der Speicherwirkung von Wald im Protokoll von Kyoto hat die Klarheit eines Gesamtbildes nicht wesentlich fördern können. Während die Speicheraspekte noch erfassbar erscheinen (und in Anerkennungsprozesse eingegangen sind), sind Substitutionsprozesse ungleich schwieriger erfassbar. Vor allem die stoffliche Substitution setzt prinzipiell ökobilanzmäßige Betrachtungen zwischen Produkten gleicher Verwendungsstrukturen (funktionelle Einheiten) voraus.

Diese Voraussetzung ist bei Einzelbetrachtungen erfüllt. Zahlreiche solche Einzelbetrachtungen wurden in den letzten Jahren publiziert (vgl. das Projekt Ökopot<sup>16</sup>; Albrecht et al. 2008). Für die exakte Bewertung einer zeitlich-räumlichen Substitutionsleistung (z. B. für NRW 2012) ist die Verwendungsstruktur von Holz und Holzprodukten in ihrer Substitution von Produkten aus anderen

Materialien unabdingbar. Eine solche Betrachtung ist theoretisch möglich, aber praktisch mit einem sehr großen Aufwand verbunden.

Substitutionsfaktoren aus Einzelvergleichen (z. B. Fenster aus Holz oder PVC) oder auch die Zusammenfassung von Substitutionsfaktoren, wie z. B. in Sathre/O'Connor (2010), sind ohne Holzverwendungsanalyse nicht sinnvoll anwendbar bzw. zu verallgemeinern.

In der Schweizer Studie „CO<sub>2</sub>-Effekte der Schweizer Wald- und Holzwirtschaft“ von Taverna et al. (2007) findet sich erstmals ein umfassender Ansatz zum differenzierten Einbezug der Holzprodukte. Ansätze für eine Stoffstromanalyse für Holzendprodukte finden sich bei Neubauer-Letsch et al. (2012) – jedoch ohne Analyse der Substitutionsprodukte.

Setzen Studien in der Vergangenheit eher bei der Untersuchung der Forstwirtschaft (Senkenleistung des Waldes) ihren Schwerpunkt, so betrachten neuere Untersuchungen zunehmend ganzheitlich das Gesamtsystem aus Waldbewirtschaftung und Holzverwendung.

Bei der ganzheitlichen Betrachtung werden sowohl Senken und Speicher des Waldes infolge der Waldbewirtschaftung als auch die Einlagerung des Holzes in Holzspeicher betrachtet. Daneben haben die Substitutionseffekte durch die Holznutzung (durch Vermeidung von Emissionen fossiler Energieträger) eine große Bedeutung. Heuer (2011) berechnet, dass 84 % der positiven CO<sub>2</sub>-Bilanz ihre Ursache in der Holzverwendung und nicht im Aufbau des Waldspeichers haben.

Die bisher vorgelegten Studien betonen die große Bedeutung der Klimaschutzleistung der Forst- und Holzwirtschaft. Heuer (ebd.) benennt für die letzten Jahre die jährliche Gesamtklimaschutzleistung der deutschen Wald- und Holzwirtschaft mit ca. 125 Mio. t CO<sub>2</sub>. Er stellt diesen Wert dem Wert der bundesweiten Treibhausgasemissionen von 789 Mio. t CO<sub>2</sub> für das Jahr 2009 gegenüber. Damit würde die Klimaschutzleistung der Forst- und Holzwirtschaft ca. ein Sechstel der gesamten Treibhausgasemissionen Deutschlands betragen. Heuer resümiert diesen Sachverhalt folgendermaßen: „Die gesamten Treibhausgasemissionen von Deutschland wären ohne die Nettospeicherung von Kohlenstoff im Wald und in Holzprodukten sowie ohne vermiedene Emissionen der stofflichen und energetischen Substitution um 16 % größer.“ Für den Zeitraum 2013–2020 gehen Rüter et al. (2011) von einer jährlichen Klimaschutzleistung von ca. 128 Mio. t CO<sub>2</sub> aus. Bei zurückgehenden gesamtdeutschen Treibhausgasemissionen würde entsprechend der relative Klimaschutzbeitrag der Forst- und Holzwirtschaft noch größer.

Die Schweizer Studie von Taverna et al. (2007) nimmt besonders umfassend und ausführlich die Aspekte der Holznutzung in den Blick. Diese Ergebnisse sollen an dieser Stelle deshalb auch ausführlicher vorgestellt werden. Taverna et al. fassen ihre Studie in drei auch für Deutschland und Nordrhein-Westfalen relevanten Punkten zusammen und betonen dabei insbesondere die Bedeutung der Holznutzung für die Klimaschutzleistung der Forst- und Holzwirtschaft:

**Jüngere Studien betrachten zunehmend das Gesamtsystem von Waldwirtschaft und Holzverwendung**

**Große Bedeutung der Holzwirtschaft für den Klimaschutz**

**Ohne Beitrag der Forst- und Holzwirtschaft ca. 16 % höhere Treibhausgasemissionen in Deutschland**

**Schweizer Studie (Taverna et al. 2007) nimmt umfassend Holznutzung in den Blick**

**Ergebnisse der Schweizer Studie:**

**1. Art der Waldbewirtschaftung und Nutzung des anfallenden Holzes ist entscheidend für die CO<sub>2</sub>-Bilanz**

„Bezogen auf die CO<sub>2</sub>-Bilanz spielt es eine entscheidende Rolle, wie der Schweizer Wald bewirtschaftet und das anfallende Holz genutzt wird. Kurz- und langfristige CO<sub>2</sub>-Effekte können dabei sehr unterschiedlich ausfallen.“

**2. Kaskadennutzung (zunächst stoffliche und dann energetische Verwertung) liefert wesentlich bessere CO<sub>2</sub>-Bilanz als alleinige Holzverbrennung**

Die in den Bau-Szenarien<sup>17</sup> betrachtete Kaskadennutzung des Holzes (zuerst stoffliche, dann energetische Nutzung bei der Entsorgung) weist eine viel bessere CO<sub>2</sub>-Bilanz auf als die rein energetische Nutzung. Holz sollte demnach so hochwertig wie möglich eingesetzt und erst am Ende seiner Einsatzmöglichkeiten energetisch verwertet werden.

**3. Eine Waldbewirtschaftung, deren Ziel ein hoher Speicheraufbau ist, schafft kurzfristig große CO<sub>2</sub>-Reduktionen**

Eine Ausrichtung der Waldbewirtschaftung auf die Schaffung von Senken führt wohl kurzfristig zu grossen CO<sub>2</sub>-Emissions-Reduktionen, mittel- und langfristig werden diese Wälder aber zu CO<sub>2</sub>-Quellen. Stürme, Trockenperioden oder Borkenkäferbefall bilden ein immer grösser werdendes Risiko. Ausserdem steht bei diesem Szenario weniger Holz für die Bau- und Energiewirtschaft zur Verfügung, welches durch Nicht-Holzprodukte und fossile Energieträger ... ersetzt werden müsste.“  
(Taverna et al. 2007: 12)<sup>18</sup>

**Langfristig bestehen jedoch erhebliche Risiken**

**Gleichzeitig steht weniger Holz zur Substitution fossiler Energieträger zur Verfügung**

**Systemisches Modell, das Wald und Holzwirtschaft einbezieht,**

**versus**

**singuläre Betrachtung der Waldwirtschaft und der Holzindustrie**

Es existiert ein Dissens bezüglich der Bewertung der Klimaschutzleistung, wie sie von Wissenschaftlern, insbesondere aus den Forst- und Holzwissenschaften, getroffen wird und der Einschätzung in der breiten Öffentlichkeit bzw. den allgemeinen Umweltwissenschaften. Während die Untersuchungen in der Forst- und Holzwirtschaft einen ganzheitlichsystemischen Ansatz mit der Betrachtung von Waldwirtschaft samt Holznutzung verfolgen, betrachten einige Untersuchungen aus den Umweltwissenschaften lediglich isoliert die Waldbewirtschaftung (Ökosystemansatz). Die unterschiedliche Systemgrenze ist entscheidend für die Bewertung: Alle ausgewerteten Studien, die die Klimaschutzleistung von Forst- und Holzwirtschaft untersucht haben, bewerten die Holznutzung (im Rahmen einer nachhaltigen Forstwirtschaft) als positiv und empfehlen zum Teil auch die Ausweitung der Holznutzung. Untersuchungen, die dem Ökosystemansatz folgen, empfehlen Bewirtschaftungsformen mit einem höheren Aufbau des Waldspeichers und einer geringeren Holznutzung (vgl. u. a. aktuelles Gutachten des Sachverständigenrats für Umweltfragen der Bundesregierung, SRU 2012a).

**Hier vorgestellte Studie verfolgt systemisch-ganzheitlichen Ansatz**

Die hier vorgelegte Studie verfolgt ebenfalls einen systemisch-ganzheitlichen Ansatz zur Beurteilung der Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz. Gleichzeitig liefert die Studie einen Beitrag zum Diskurs über die beiden Ansätze (Wald-/Holznutzung versus Ökosystemansatz) dadurch, dass in den vorgestellten Modellen die Speicherung im Wald wie auch die Wirkung der Holznutzung dargestellt werden.

<sup>17</sup> Business-as-usual

<sup>18</sup> Die Modellbetrachtungen von Taverna et al. basieren im Gegensatz zu dem Ansatz dieser Studie (vgl. Kapitel 2) zum Teil auch auf Anrechnungsvorgaben des Kyoto-Protokolls. Daher schlagen sie eine Waldbewirtschaftung vor, die sich an den Anrechnungsgrenzen von Kyoto orientiert.

## 3.2 Stand der politischen Diskussion

### 3.2.1 Wald und Holz im internationalen Klimaschutzprozess (Kyoto-Prozess)

Unter dem Schlagwort Kyoto bzw. Kyoto-Prozess werden die internationalen Anstrengungen zur Reduktion der weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen beschrieben. Der Prozess von Kyoto ist dabei Teil des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (auch: Klimarahmenkonvention KRK; englisch: United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC).<sup>19</sup>

Die internationalen Bemühungen zum Klimaschutz konzentrieren sich auf eine dauerhafte Verminderung des Ausstoßes an sogenannten Klimagasen wie Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>), chlorierten Kohlenwasserstoffen usw. Im Protokoll von Kyoto (1997) sind vor allem die Industrieländer Verpflichtungen eingegangen, den Ausstoß an Klimagasen zu reduzieren. Diese damaligen Verpflichtungen sind von zahlreichen Ländern zwischenzeitlich freiwillig deutlich erhöht worden. Derzeit wird ein Folgeprotokoll zu Kyoto verhandelt, in dem weitergehende Verpflichtungen festgeschrieben werden sollen, neue Maßnahmen zur Emissionsreduktion vereinbart und Wege (einschließlich Finanzierung) zur Umsetzung festgelegt werden.

Wälder haben im Kyoto-Prozess eine herausragende Bedeutung – denn die Zerstörung der Wälder (insbesondere des tropischen Regenwaldes) trägt 15 bis 20 % zum weltweiten Treibhauseffekt bei (vgl. IPCC 2007a<sup>20</sup>).

Die Bewertung und Anrechnung von Wäldern erfolgt im Prozess von Kyoto im Sektor „Land Use, Land Use Change and Forestry“<sup>21</sup> LULUCF (u. a. UNFCCC 2002; IPCC 2003). Die internationalen Entscheidungen im Sektor LULUCF sind davon geleitet, dass sie einen institutionellen Rahmen schaffen, um das gravierende Problem der Zerstörung der Natur- und Primärwälder zu stoppen. Sie waren und sind daher auch nur bedingt auf die Bedürfnisse der deutschen und mitteleuropäischen nachhaltigen Forstwirtschaft ausgerichtet. Zu-/Abnahmen des Kohlenstoffvorrats durch Waldflächenveränderungen werden daher im Protokoll von Kyoto berücksichtigt (Art. 3.3 KP).

Im Protokoll von Kyoto (wie auch im jetzt diskutierten Folgevertragswerk) spielt der Wald wegen der Aufnahme von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre (durch Photosynthese und Waldwachstum) und der langfristigen Einlagerung des Kohlenstoffes (Kohlenstoffspeicher und Kohlenstoffsenske) eine wichtige Rolle. Die Steigerung des Vorrats an Biomasse bzw. Holz im Wald und die Anlage neuer Waldflächen sind im Kyoto-Protokoll anerkannte Minderungsmaßnahmen.

**Kyoto ist das Synonym für Klimaschutz geworden**

**Ziel der internationalen Klimaschutzanstrengungen: dauerhafte Verminderung des Ausstoßes an Klimagasen wie Kohlendioxid**

**Wälder im Kyoto-Prozess mit großer Bedeutung – Verhinderung der Zerstörung von Primärwäldern ist wichtiges Ziel**

**Bewertung der Forstwirtschaft im Sektor „Land Use, Land Use Change and Forestry“ LULUCF**

<sup>19</sup> Die Klimarahmenkonvention wurde 1992 (Umweltgipfel von Rio) ins Leben gerufen. Mit UNFCCC wird auch das Sekretariat bezeichnet, das die Umsetzung der Klimarahmenkonvention begleitet. Es hat seinen Sitz in Bonn (vgl. www.unfccc.int).

<sup>20</sup> Anteil von 17,3 % an anthropogenen Treibhausgasen (CO<sub>2</sub>-äq) durch Entwaldung, Abbau Biomasse usw. (ebd.: 36)

<sup>21</sup> Landnutzung, Landnutzungsänderung, Forstwirtschaft

**Deutschland hat die Anrechnungsoption Wald (3.4 KP) gewählt, hat sich also verpflichtet, über die Veränderung des Kohlenstoffspeichers Wald zu berichten**

2005 wurde die Möglichkeit geschaffen, dass auch Wald in sogenannten Annex-1-Staaten, also auch in Deutschland, innerhalb der Klimaberichterstattung anrechenbar ist. Deutschland hat, wie andere Länder, diese Anrechnungsoption Wald (3.4 KP) gewählt.<sup>22</sup> Das heißt, es wird fortlaufend Bericht über die Veränderungen im Kohlenstoffspeicher Wald erstattet. Nettozuwachs wird als Senke bewertet, der Holzeinschlag als Emissionen; aus der Differenz ergibt sich die Nettosenke. Die anrechnungsfähige Emissionsminderung ist jedoch begrenzt worden (CAP). Für Deutschland wurde in der sogenannten 1. Verpflichtungsperiode (2008–2012) eine Anrechnungsgrenze von 1,24 Mio. t C (entspricht ca. 4,5 Mio. t CO<sub>2</sub>) festgelegt. Damit bleibt die anrechenbare Leistung deutlich hinter dem zurück, was in den letzten Jahren in Deutschland real als Senkeneffekt erbracht wurde.<sup>23</sup>

**Offenheit, wie der Kyoto-Prozess nach 2013 fortgesetzt wird – Entscheidung in Doha (November/Dezember 2012) erwartet**

Wenn von der Zeit nach 2012 gesprochen wird, wird dafür der Begriff des Post-Kyoto-Prozesses gebraucht. Zum Zeitpunkt des Abschlusses dieser Studie ist unklar, ob und wie der Kyoto-Prozess nach 2012 fortgesetzt wird.

Auf der UN-Klimakonferenz in Durban (Südafrika) wurde beschlossen, dass es eine Fortsetzung des Kyoto-Prozesses mit einer 2. Verpflichtungsperiode (2013–2020 oder 2013–2017) geben soll. Im Dezember 2012 sollen auf der UN-Klimakonferenz in Doha, Katar, konkrete Reduktionsziele für die 2. Verpflichtungsperiode festgelegt werden. Eine alle Mitgliedstaaten umfassende Regelung soll bis 2015 erarbeitet werden und 2020 in Kraft treten.

**Regelung für LULUCF in Post-Kyoto beschrieben (Beschlüsse 2011 in Durban)**

Sollte in Doha beschlossen werden, dass der Kyoto-Prozess nach 2012 fortgesetzt wird, dann ist es wahrscheinlich, dass die Anrechnung im LULUCF-Sektor in der 2. Verpflichtungsperiode neu geregelt wird. Die Beschlüsse auf der Klimakonferenz in Durban geben den (wahrscheinlichen) Rahmen der Neuregelung für den Sektor LULUCF vor. Der Stand der künftigen Anrechnung von LULUCF und die neuen Anrechnungsregeln für die 2. Verpflichtungsperiode sollen hier zusammengefasst werden.<sup>24</sup> Die zukünftigen Regeln können jedoch erst abschließend beurteilt werden, wenn in Doha konkrete Beschlüsse gefasst wurden.

**Anrechnung des Forstbereichs wird (wahrscheinlich) zukünftig verpflichtend. Maßstab ist das forstliche Referenzlevel (FMRL)**

Die Anrechnung des Waldes ist verpflichtend. Das heißt, die Freiwilligkeit der Wahl der Anrechnungsoption in der 1. Verpflichtungsperiode gilt nicht mehr. Gut- und Lastschriften ergeben sich aus der Differenz von zukünftigen Nettoemissionen im Vergleich zum sogenannten Forest Management Reference Level (FMRL) = forstliches Referenzlevel. Das FMRL ist das zentrale Element für die Regelungen im Sektor LULUCF. Das FMRL wird

---

22 Die Schweiz hat ebenfalls die Anrechnungsoption Wald gewählt, Österreich hat sich dagegen entschieden.

23 Die auf den ersten Blick „ungerechte Bewertung“ und begrenzte Anrechnungsmöglichkeit der Senkenleistung deutscher Wälder hängt damit zusammen, dass der Kyoto-Prozess auf anthropogene Änderungen seit 1990 abstellt und die geforderten Anstrengungen an Annex-I-Länder zur Emissionsreduktion nicht über die Anrechnung natürlichen Waldwachstums verwässert werden sollten. Die Begrenzung auf 1,24 Mio. t C bedeutet nicht, dass keine größere Klimaschutzleistung erbracht wurde und wird. Es handelt sich um eine im politischen Aushandlungsprozess festgelegte Grenze.

24 Vgl. dazu den Artikel „LULUCF: Major Step in Durban“ (Grassi 2012). Der Artikel gibt einen Überblick, vgl. ebenfalls: UNFCCC 2011 und UNFCCC 2010a/b.

national – auf Basis einer transparenten gutachterlichen Bewertung – bestimmt. Die FMRL basieren auf Business-as-usual-Annahmen für die 2. Verpflichtungsperiode.

Das FMRL kann eine zurückgehende Senkenleistung von Wäldern (aufgrund von Altersklasseneffekten der Wälder) berücksichtigen. Damit vermeidet das FMRL, dass Wälder wegen ihrer Altersstruktur zukünftig als Kohlenstoffquelle bewertet werden müssen. Quelleneffekte durch natürliche Störungen und Katastrophen werden auch in gewissem Maße als nicht anthropogen anerkannt und damit aus der Bewertung herausgenommen.

Neben der Berücksichtigung des Waldspeichers und der Senkenwirkung der Wälder wird in der 2. Verpflichtungsperiode auch der Holz(producte)speicher (Harvested Wood Products HWP) in die Berechnung miteinbezogen. Für die Bewertung des Holzspeichers gibt es mehrere Möglichkeiten. Als Standardmethode kann die von der IPCC vorgeschlagene Methode mit einer mathematischen Zerfallskurve mit Halbwertszeiten (Papier 5 Jahre, Plattenwerkstoffe 25 Jahre und Schnittholz 35 Jahre) gewählt werden. Daneben können auch länderspezifische Lebenszyklen und alle Methoden, die mit den IPCC-Richtlinien in Einklang sind, zugrunde gelegt werden.<sup>25</sup>

Was bedeuten diese Festlegungen für den Cluster ForstHolz in Deutschland und Nordrhein-Westfalen? Mit der geplanten Anrechnung wird eine Forderung, die insbesondere vonseiten der Holzverwendung gestellt wurde, erfüllt: Die Speicherung von Kohlenstoff in Holzprodukten wird anerkannt. Bislang wurde die Holznutzung im Kyoto-Prozess als sofortige Emission des im Holz gebundenen Kohlenstoffs als CO<sub>2</sub> gewertet. Gleichzeitig wird zukünftig das Gesamtsystem Wald-Holznutzung bewertet. Jedoch hat der Bezug auf das forstliche Referenzlevel zur Folge, dass nur noch die Leistungen zu Gutschriften führen, die oberhalb des Referenzlevels liegen. Das heißt, nicht die Nettoveränderung des Holzproduktespeichers (Input-Output) wird bewertet, sondern die Nettoveränderung des Holzproduktespeichers, die ober- oder unterhalb des FMRL liegt. Das FMRL ergibt sich für Deutschland auf Basis der Prognosen von WEHAM<sup>26</sup> und einer sich daraus ergebenden Rohholzmenge, für die eine historische Verwendung (2005–2009) zugrunde gelegt wird (vgl. dazu u. a. Rüter et al. 2011 oder Rüter 2011b).

**Kohlenstoffabbau in Wäldern, der seinen Grund in der Altersstruktur des Waldes oder nicht anthropogenen Gründen hat, wird nicht als Quelle gewertet**

**Neben der Waldleistung wird zukünftig der Holz(producte)speicher in die Berechnungen einbezogen**

**Forderung der Holzwirtschaft nach Einbeziehung des Holzspeichers wird erfüllt; jedoch gibt es nur noch Gutschriften für Leistungen, die oberhalb des Referenzlevels liegen**

---

<sup>25</sup> „27. Emissions from harvested wood products removed from forests which are accounted for by a Party under Article 3 shall only be accounted for by that Party. Accounting shall be on the basis of [the first-order decay function with default half-lives of two years for paper, 25 years for wood panels and 35 years for sawn wood] [the default decay functions prescribed in annex Z]. Alternatively, for domestically produced and consumed harvested wood products only, a Party may use country-specific data to replace the default half-lives specified above, or to account for such products in accordance with the definitions and estimation methodologies in the most recently adopted IPCC guidelines and any subsequent clarifications agreed by the Conference of the Parties, provided that verifiable and transparent data are available. [Harvested wood products resulting from deforestation shall be accounted for on the basis of instant oxidation]“ FCCC/KP/AWG/2011/CRP.2/Rev.1 (UNFCCC 2010a).

<sup>26</sup> WaldEntwicklungs- und HolzAufkommensModellierung. Diese Prognose wird vom Institut für Waldökologie und Waldinventuren am von Thünen-Institut (Eberswalde) erstellt.

**Begleitung des wissenschaftlichen Prozesses durch IPCC – Sicherstellung eines hohen wissenschaftlichen Anspruchs**

Das IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change = Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen), zu Deutsch auch als Weltklimarat bezeichnet, gewährleistet die wissenschaftliche Begleitung des internationalen Klimaschutzprozesses. Das IPCC ist ein wissenschaftliches Gremium (weitgehend frei von politischer Einflussnahme).<sup>27</sup> Auch die Methoden der Berechnung im Sektor LULUCF (damit auch in Forestry) innerhalb des Kyoto-Prozesses sind über die IPCC-Grundsätze geregelt und wissenschaftlich international anerkannt. Diese Methoden sind auch Grundlage der Berechnungen in dieser Studie zur Klimaschutzleistung des nordrhein-westfälischen Clusters ForstHolz.

### 3.2.2 Umsetzung der internationalen Anforderungen für die Bewertung/Anrechnung von ForstHolz in Deutschland und NRW

**Deutschland hat Anrechnungsoption Wald gewählt und berichtet umfassend im Sektor LULUCF**

Wie im vorherigen Kapitel schon angesprochen wurde, hat Deutschland 2006 die Anrechnungsoption Wald (3.4 KP) gewählt und sich damit entschieden, über den Sektor LULUCF zu berichten (1. Verpflichtungsperiode 2008–2012). Es ist wahrscheinlich, dass Deutschland (wie alle europäischen Länder) zukünftig im Rahmen eines Referenzrahmens berichten muss (obligatorisch).

**Bislang wird nur über die Forstwirtschaft berichtet**

Entsprechend den bisherigen Vorgaben wird bislang nur über die Forstwirtschaft und nicht über die Holzverwendung berichtet. Für die Berichterstattung des deutschen Treibhausgasinventars Wald ist das von Thünen-Institut verantwortlich (Oehmichen et al. 2011). Das Treibhausgasinventar Wald geht in die nationale Berichterstattung „Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar“ (UBA 2011) ein.

Dabei wird entsprechend den internationalen methodischen Vorgaben die Senkenleistung über Differenzen der C-Pools bei Waldinventuren bestimmt und als durchschnittliche jährliche Leistung ausgewiesen (Bundeswaldinventuren BWI<sup>1</sup> 1987 und BWI<sup>2</sup> 2002). Die Daten der nächsten Bundeswaldinventur BWI<sup>3</sup> liegen erst Anfang 2015 vor. Für die Berichterstattung des von Thünen-Instituts wurde daher 2008 eine Waldinventur mit einem geringeren Stichprobenumfang durchgeführt (Inventurstudie 2008, vgl. auch Oehmichen et al. 2011).

**Treibhausgasinventar Nordrhein-Westfalen berücksichtigt LULUCF bislang ohne Daten**

Für Nordrhein-Westfalen wird vom Landesamt für Natur-, Umwelt- und Verbraucherschutz LANUV das „Treibhausgasinventar Nordrhein-Westfalen“ erstellt. Wurde der Sektor LULUCF im „Treibhausgasinventar Nordrhein-Westfalen 2009“ gar nicht berücksichtigt (Hoffmann/Opitz 2011), wird er in der aktuellen Fassung „Treibhausgasinventar Nordrhein-Westfalen 2010“ erwähnt (Hoffmann/Opitz 2012); jedoch werden keine Daten zu LULUCF aufgenommen (ebd.: 17). Dass die Daten im nordrhein-westfälischen Inventarbericht fehlen, hat seinen Grund darin, dass eine einfache Ableitung der nordrhein-westfälischen Daten

**Eine Berichterstattung ist erst nach einer Waldinventur auf Landesebene möglich**

---

<sup>27</sup> 2007 hat das IPCC zusammen mit Al Gore den Friedensnobelpreis bekommen.



aus den Daten des Nationalen Inventurberichts oder den Energiebilanzen (und ggf. anderen Informationsquellen) für LULUCF bzw. den Forstsektor nicht so einfach möglich ist. Hierzu wäre eine aktuelle Waldinventur notwendig. Die Inventurstudie 2008, die auch Nordrhein-Westfalen miteinbezogen hat, hat jedoch ein solch großes Stichprobenraster gewählt, dass statistische Aussagen zwar auf Ebene des Bundes möglich sind, aber nicht auf Ebene eines Bundeslandes. Das heißt, um entsprechend über den Bereich LULUCF berichten zu können, müssen die Ergebnisse der BWI<sup>3</sup> oder Ergebnisse einer Landeswaldinventur abgewartet werden. Diese werden für Nordrhein-Westfalen statistisch abgesichert vorliegen, so dass dann eine Berücksichtigung im nordrhein-westfälischen Treibhausgasinventar möglich ist.

Da die Holznutzung bislang als sofortige CO<sub>2</sub>-Emission gewertet wird, hat sich bislang auch kein System der Anrechnung etabliert. Mit der (wahrscheinlichen) Einführung eines forstlichen Referenzlevels (FMRL, s. o.) in der 2. Verpflichtungsperiode ab 2013 wurden dazu u. a. von Rüter (2011b) Vorschläge zur Einbeziehung und Anrechnung des Holzspeichers gemacht, die auch international Eingang gefunden haben. Wichtig ist dabei, dass die Speicherung von heimisch produzierten und verbrauchten Holzprodukten berücksichtigt wird (vgl. Rüter 2010).<sup>28</sup> Wie oben schon ausgeführt wurde, gibt es mehrere Möglichkeiten, den Nachweis des Verbleibs der Holzprodukte im Holzspeicher zu führen. Die zurzeit international praktizierte und anerkannte Standardmethode, die den Verbleib von Holzprodukten über mathematische Zerfallskurven beschreibt, wird auch in Deutschland favorisiert (Rüter 2011b). Andere Verfahren sind jedoch möglich.<sup>29</sup>

**Bislang keine Berichterstattung über Holzspeicher in NRW – Methoden sind vorhanden und werden national angewandt**

### 3.2.3 Honorierung der Klimaschutzanstrengungen der Forst- und Holzwirtschaft über den bundesweiten Waldklimafonds

Mit der im letzten Kapitel beschriebenen Anrechnung der Senkenleistung des Waldes in der 1. Verpflichtungsperiode und der geplanten Anrechnung der Senkenleistung des Waldes und des Holzproduktespeichers in der 2. Verpflichtungsperiode ist theoretisch die Grundlage geschaffen, um die Forstwirtschaft bzw. zukünftig die Forst- und Holzwirtschaft auch finanziell für die von ihr geleisteten Klimaschutzbemühungen zu honorieren.

**Grundlage für eine Honorierung der Klimaschutzleistung der Forstwirtschaft bzw. zukünftig der Forst- und Holzwirtschaft vorhanden**

Vertragspartner des Kyoto-Protokolls ist die Bundesrepublik Deutschland. Damit ist der Bund bezüglich des Sektors LULUCF international Verpflichtungen eingegangen und profitiert auch von den Vorteilen, die die Anerkennung bringt. Aus verschiedenen Gründen wurde davon Abstand genommen, dass dieser Nutzen (ggf. über die einzelnen Bundesländer) dem Waldbesitz bzw. zukünftig auch der Holzwirtschaft zufließt. Neben rechtli-

**Vertragspartner des Kyoto-Protokolls ist Deutschland; auf Ebene des Bundes entstehen Verpflichtungen und Ansprüche**

<sup>28</sup> Bei Exporten müssen wissenschaftlich abgesicherte Erkenntnisse über den Verbleib im Holzproduktespeicher vorliegen. Dann können auch sie angerechnet werden.

<sup>29</sup> So könnte auch auf Basis der CO<sub>2</sub>-Bank des Landesbeirats Holz NRW ein Nachweis des Verbleibs im Holzspeicher erbracht werden.

chen und technischen Gründen (vgl. dazu Elsasser 2008) gab es in der Vergangenheit auch eine gewisse Zurückhaltung des Waldbesitzes: Denn eine – wie auch immer geschaffene – Inwertsetzung auf der Waldseite würde bei einer möglicherweise eintretenden zukünftigen Quelle den einzelnen Waldbesitzer in Anspruch nehmen. Da bislang Kalamitäten (z. B. wie beim Sturm Kyrill) Kohlenstoffquellen sind, wäre eine Anrechnung auf Seiten des Waldbesitzes auch mit hohen finanziellen Risiken für den einzelnen Waldbesitzer verbunden.<sup>30</sup>

**Keine direkte Honorierung der Klimaschutzleistung der Forst und Holzwirtschaft geplant**

**Honorierung über Waldklimafonds ab 2013**

Insgesamt wurde bisher keine Lösung gefunden, die Klimaschutzleistungen der Forst- und Holzwirtschaft so zu bewerten, dass eine direkte finanzielle Honorierung von Waldbesitz und Holzwirtschaft erfolgt. Da die Politik die Erkenntnis gewonnen hat, dass die Forst- und Holzwirtschaft einen erheblichen Beitrag zum Klimaschutz leistet, wurde zur Honorierung dieser Leistungen unter Federführung des Bundeslandwirtschaftsministeriums (BMELV) und des Bundesumweltministeriums (BMU) der sogenannte Waldklimafonds eingerichtet. Der Waldklimafonds ist jährlich mit ca. 24,5 Mio. Euro ausgestattet<sup>31</sup> und soll helfen, die positiven Klimaschutzleistungen der Forst- und Holzwirtschaft zu sichern und auszubauen (BMELV 2012).

**Der Waldklimafonds bezieht Substitutionsleistungen ausdrücklich ein und betrachtet sie als gleichwertig zu Senken und Speicher**

Gefördert werden „Maßnahmen zur Erschließung des CO<sub>2</sub>-Minderungs-, Energie- und Substitutionspotenzials von Wald und Holz sowie zur Anpassung der deutschen Wälder an den Klimawandel“ (ebd.). Das heißt, die Klimaschutzleistung wird unter Einbeziehung der Forstwirtschaft wie auch der Vorteile der Holzverwendung (Produktspeicher wie auch Substitution fossiler Energie) bewertet.

### 3.2.4 Der ganzheitliche Ansatz der Klimabetrachtung – Kyoto versus Cluster

**Klimaschutzleistungen aus Senken/Speicher im Kyoto-Prozess sichtbar im Sektor LULUCF**

**Emissionsreduktionen aufgrund von Substitution „versteckt“ in Sektoren Industrie und Energie und damit ohne Bezug zum Cluster ForstHolz**

Mit der ganzheitlichen Betrachtung von Waldwirtschaft und Holzverwendung setzen BMELV und BMU (siehe letzten Abschnitt) bei der Einrichtung des Waldklimafonds andere Systemgrenzen als das Protokoll von Kyoto. Dort wird die Waldbewirtschaftung und zukünftig der Holzproduktespeicher in LULUCF betrachtet; die anderen Leistungen des Waldes und der Holzverwendung durch die Substitution finden sich desaggregiert in den Sektoren Industrie und Energie. Das heißt, die dort anfallenden Leistungen werden nicht als Leistungen der Forst- und Holzwirtschaft sichtbar. Durch ihre Stellung im Sektor LULUCF im Vertragswerk von Kyoto ist die Klimaschutzleistung von Wäldern herausgehoben und wird als solche sichtbar. Die Substitutionsleistungen jedoch werden nicht angebunden an die Forst- und Holzwirtschaft gesehen (nicht sichtbare Klimaschutzleistungen der Forst- und Holzwirtschaft).

<sup>30</sup> Eine Anrechnung auf der Ebene des Waldbesitzes könnte eventuell auch zu Fehlanreizen führen (z. B. könnten die Waldbesitzer die klimapositive Holznutzung (s. o.) einschränken, weil sie die Vorteile durch die Holznutzungen nicht honoriert bekommen).

<sup>31</sup> 2013 werden 28,5 Mio. Euro bereitgestellt.

Diese isolierte Betrachtung wurde in den zahlreichen Publikationen, die auch in Kapitel 3.1 zitiert wurden, aufgehoben und ist mittlerweile sowohl national (siehe Einrichtung des Waldklimafonds) als auch international anerkannt (IPCC 2007b): „In the long term, a sustainable forest management strategy aimed at maintaining or increasing forest carbon stocks, while producing an annual sustained yield of timber, fibre or energy from the forest, will generate the largest sustained mitigation benefit.“ Diese ganzheitliche Betrachtung ist nicht nur notwendig, um die Klimaschutzleistung der Forst- und Holzwirtschaft adäquat zu würdigen (und ggf. auch zu honorieren), sie ist notwendig, um bei Sektorbetrachtungen die Entscheidungen zu treffen und die Maßnahmen einzuleiten, die die größten Klimaschutzleistungen erbringen.

Die hier vorgelegte Studie „Beitrag des NRW Clusters ForstHolz zum Klimaschutz“ verwendet statt des Begriffs der Forst- und Holzwirtschaft den Begriff des Clusters.

Die Betrachtung von Clustern ist ein wirtschafts- und regional-politischer Ansatz. Er berücksichtigt die gesamte Wertschöpfung und ist in der deutschen Forst- und Holzwirtschaft zum tragenden Konzept von Wirtschaftsentwicklung und Wirtschaftsförderung geworden. Der Begriff „Cluster“ geht auf den amerikanischen Wirtschaftswissenschaftler Michael Porter zurück (u. a. Porter 1996).

Die Klimaschutzleistung der Forst- und Holzwirtschaft kann nur bewertet werden, wenn der Cluster ForstHolz in Gänze bewertet wird. In der folgenden Tabelle ist die Systematik des Clusters ForstHolz der Betrachtungsweise, wie sie im Prozess von Kyoto verwendet wird, gegenübergestellt.

**National wie auch international werden Senken/Speicher und Substitutionsleistungen als wichtige und gleichberechtigte Wege im Klimaschutz betrachtet**

**Begriff des Clusters in der Studie**

**Cluster berücksichtigt die gesamte Wertschöpfung**

**Systematik des Clusters ForstHolz**

**Systematik und Betrachtungsweise Kyoto**

Systematik des Clusters ForstHolz			Systematik und Betrachtungsweise Kyoto	
Forstwirtschaft	Forstbetriebe und Forstdienstleister (02)	... Forstwirtschaft (A)	LULUCF	
1. Absatzstufe	Sägeindustrie (20.1) Holzwerkstoffindustrie (20,2)	Holzgewerbe (DD)  Möbelindustrie (DN 36)	Industrie/Energieerzeugung/...	
2. Absatzstufe	Holzfertigbauindustrie (20.3) Holzpackmittelindustrie (20.4) Sonstige Holzverarbeitung (20.5) Möbelindustrie (36.1)			
Holzhandwerk	Zimmerei (45.22.3) Bautischlerei (45.42) Parkettlegerie (45.43.1)			Baugewerbe (F)
Holzhandel	Holzhandel (51**)			Handel (G)
Papierindustrie	Papierherstellung (21.1) Papierverarbeitung (21.2) Druckereiwesen (22.1) Verlagswesen (22.2)	Papier-, Verlags- und Druckgewerbe (DE)		

**Tabelle 1:** Gegenüberstellung des Wirtschaftsclusters ForstHolz (nach Hagemann et al. 2010) und der aktuellen Systematik der internationalen Klimabemühungen

## 4. Entwicklung eines Modells zur Beurteilung und Bewertung von Klimaschutzleistungen des Clusters ForstHolz am Beispiel NRW

### 4.1 Die vier Bereiche Wald, Verbrauch, Produktion und eigene Rohholzversorgung als Untersuchungsgegenstand

#### Untersuchte Bereiche des Clusters ForstHolz

Die Fragestellung nach der Bedeutung des Clusters ForstHolz für die Aspekte des Klimaschutzes in Nordrhein-Westfalen kann in vier einzelne Bereiche unterteilt, getrennt betrachtet und vergleichend diskutiert werden:

- A System Wald in NRW
- B Beitrag zum Klimaschutz durch Gebrauch/Nutzung aller Holzprodukte in NRW und gesamte Holzenergie NRW
- C Beitrag zum Klimaschutz durch Holzindustrie (bzw. sonstige Holzverarbeitung) in NRW und Holz als Energieträger
- D Stoffliche/energetische Verwertung von Holz aus dem Einschlag in NRW

#### A System Wald in NRW

Gesamtfläche Wald: 915.000 ha  
Modellierung von Handlungsalternativen für das Forstmanagement. Dabei werden folgende Szenarien betrachtet:  
Grundszenarien (Definition siehe Kapitel 6.1):  
(a) Massenoptimierer  
(b) Wertoptimierer  
(c) Speicheroptimierer

Kombinationsszenarien (Definition siehe Kapitel 6.1):  
(a) Nutz  
(b) Erhalt  
(c) Schutz

Die Szenarien untersuchen im Zeitraum 2011 bis 2050 und 2011 bis 2100 die Entwicklung der oberirdischen und unterirdischen lebenden Baumbiomasse und der unter- und oberirdischen toten Biomasse.

#### B Verbrauch aller Holzprodukte in NRW und gesamte Holzenergie NRW

Die Klimaschutzwirkungen von stofflicher und energetischer Verwertung von Holz werden mit Substitutionsfaktoren (Vergleichswerte) und der Speicherwirkung von Holzprodukten bewertet. Weniger als die Hälfte aller in NRW verbrauchten Produkte stammt (mengenmäßig) aus dem Wald in NRW. Der Verbraucher in NRW bestimmt aber durch seine Entscheidung für Holzprodukte und Holzenergie über die Klimaschutzwirkung des Sektors Holzprodukte/Holzenergie.

#### C Holzindustrie in NRW und Beitrag zum Klimaschutz sowie Holz als Energieträger

Die Herstellung von Produkten aus Holz verbraucht weniger Energie als die Herstellung der meisten Alternativprodukte aus anderen Materialien/Rohstoffen. Insofern leistet der Wirtschaftssektor einen positiven Beitrag zum Klimaschutz im Sinne der Wirtschafts-/Klimapolitik.

### 37 Entwicklung eines Modells zur Beurteilung und Bewertung von Klimaschutzleistungen des Clusters ForstHolz am Beispiel NRW

Zudem wird ein erheblicher Teil der für Holzprodukte benötigten Energie aus Holzreststoffen selbst hergestellt. Daher wird der Gesamtumfang der Bereitstellung von Holzprodukten (aus NRW-Holz oder Nicht-NRW-Holz, für NRW-Verbraucher oder Nicht-NRW-Verbraucher) untersucht. Ergänzend wird die Nutzung von Holz zur Energieerzeugung in NRW bewertet.

Auf Basis derzeitiger Verwendungsstrukturen (Anteile stofflich/energetisch) und Produkttypen sowie Mengen für Holzprodukte wird die Klimawirkung der Nutzung von Holz (stofflich und energetisch) aus Nordrhein-Westfalen bestimmt.

Lediglich bei D) ist der Bezug zum nordrhein-westfälischen Wald A) inhaltlich vollkommen gerechtfertigt. Mit der gemeinsamen Betrachtung von A) und D) kann das System Wald und Holzverwendung ganzheitlich betrachtet werden.

Neben den drei Betrachtungen für die Holzverwendung B) bis D) wird jeweils der nordrhein-westfälische Wald A) betrachtet, um eine Aussage über die Gesamtklimaschutzleistung des Clusters ForstHolz zu treffen.<sup>32</sup>

#### D Stoffliche/energetische Verwertung von Holz aus dem Einschlag in NRW

## 4.2 Drei Fragen und Leitmodelle zur umfassenden Erfassung der Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz in Nordrhein-Westfalen

Es ergeben sich drei Fragen, wie die Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz beurteilt werden kann:

1. „Was leisten nordrhein-westfälischer Wald und nordrhein-westfälische Verbraucher/innen?“ A) und B), siehe Kapitel 4.1)
2. „Was leisten nordrhein-westfälischer Wald und Holzwirtschaft in NRW?“ A) und C), siehe Kapitel 4.1)
3. „Was leisten nordrhein-westfälischer Wald und daraus entnommenes Holz?“ A) und D), siehe Kapitel 4.1)

Diese drei Fragen sind zur Beurteilung der Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz und zur Entwicklung von Maßnahmen zur Erhöhung des Klimaschutzes relevant. Ist die 3. Frage „Was leisten nordrhein-westfälischer Wald und daraus entnommenes Holz?“ insbesondere für die Ausrichtung der Forstwirtschaft in Nordrhein-Westfalen entscheidend, so ist die 2. Frage „Was leisten Wald und Holzwirtschaft in NRW?“ an der Systematik von (Post-)Kyoto orientiert und setzt auf der Seite der Emittenten an. Maßnahmen zur Verbesserung der CO<sub>2</sub>-Bilanz würden hier z. B. auf der Ebene der industriellen Prozesse ansetzen. Die 1. Frage fokussiert auf die

**Klimaschutzleistung ist von Betrachtung abhängig – drei Fragen zur Beurteilung der Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz:**

„Was leisten nordrhein-westfälischer Wald und nordrhein-westfälische Verbraucher/innen?“

„Was leisten nordrhein-westfälischer Wald und Holzwirtschaft in NRW?“

„Was leisten nordrhein-westfälischer Wald und daraus entnommenes Holz?“

<sup>32</sup> Bei der Betrachtung des Verbrauchs von Holzprodukten und in der nordrhein-westfälischen Holzwirtschaft verarbeiteten Holzprodukte müssten zur Bewertung ein fiktiver Wald herangezogen werden, der Holzprodukte in dem Umfang bereitstellt, wie sie in Nordrhein-Westfalen verarbeitet oder eingesetzt werden.

**Die drei Fragen repräsentieren die Leitmodelle I bis III der Studie**

Verbraucher/innen und die Möglichkeiten, durch klimagerechte Konsumententscheidungen einen Beitrag für den Klimaschutz zu leisten. Maßnahmen auf der Ebene der Verbraucher/innen versuchen, den Konsum besonders klimafreundlicher Produkte (und den Verzicht auf klimaschädliche Produkte) zu fördern.

Wegen ihrer Bedeutung werden die drei Fragen mit den Begriffen „Leitmodell I bis III“ verbunden:

1. Was leisten nordrhein-westfälischer Wald und nordrhein-westfälische Verbraucher/innen? = Leitmodell I (CO<sub>2</sub>-Fußabdruck bzw. klimaorientierter Holzeinsatz)
2. „Was leisten nordrhein-westfälischer Wald und Holzwirtschaft in NRW?“ = Leitmodell II (Post-)Kyoto-orientiert
3. „Was leisten nordrhein-westfälischer Wald und daraus entnommenes Holz?“ = Leitmodell III Wertschöpfungsorientiert (zugleich: Basis des Simulationsmodells für die Szenarien der potenziellen Waldentwicklung bis 2100)

**Die heutige wissenschaftlich-klimapolitische Systematik setzt einseitig auf der Seite der Emittenten an**

Kyoto ist eine internationale Übereinkunft, die sich an politischem Konsens, Machbarkeit und Konformität orientiert. Kyoto fokussiert auf Emissionsreduktion, setzt also auf der Emittentenseite an und legt die Verantwortung für eine Emission in die Hände der Emittenten (Industrie, Haushalte, Verkehr). Neben der Emittentenseite ist es sinnvoll, auch die Konsumentenseite (bzw. die Seite der Investoren) in den Blick zu nehmen, also das, was man in den 1980er-Jahren mit dem Schlagwort „ökologischer Konsum“<sup>33</sup> benannte, heute mit dem Blick auf Klimaschutz „Carbon Footprint“.

**Was leisten nordrhein-westfälischer Wald und nordrhein-westfälische Verbraucher/innen? = Leitmodell I**

Das Leitmodell I setzt auf der Konsumentenseite an und wird bewusst als gleichwertiges Modell zu dem auf der Emittentenseite ansetzenden Leitmodell II gesehen. In der nationalen Diskussion der letzten Monate in Deutschland setzte sich zunehmend die Meinung durch, dass wirksamer Klimaschutz nur betrieben werden kann, wenn das Konsumverhalten der Menschen bewertet wird.

**CO<sub>2</sub>-Fußabdruck – klimaorientierter Holzeinsatz**

**Carbon Footprint als Gegenentwurf zur Systematik von Kyoto**

Das Thema „Carbon Footprint“ wird in der allgemeinen Diskussion (vgl. die Berichterstattung in den deutschen Leitmedien, z. B. „Zeit“ 2011) oder in wissenschaftlichen Beiträgen (z. B. Aichele/Felbermayr 2011) intensiv diskutiert. Aichele und Felbermayr vom ifo-Institut argumentieren, dass es notwendig ist, von der Betrachtungsweise des Kyoto-Prozesses abzurücken und zukünftig den Carbon Footprint als zentrale Größe im Klimaschutz zu etablieren (ebd.). Sie halten die im Kyoto-Prozess erhobenen Kennziffern aufgrund von Leakage-Effekten, also Verlagerung von Emissionen ins Ausland, für unzureichend (ebd.).

**Modelle in Studie gleichberechtigt**

In der Studie zum Klimaschutz des nordrhein-westfälischen Clusters ForstHolz soll keine Bewertung getroffen werden, welcher Ansatz generell der zielführendere ist. Daher werden beide Modelle (Post-Kyoto und Carbon Footprint) gleichberechtigt nebeneinandergestellt.

### 39 Entwicklung eines Modells zur Beurteilung und Bewertung von Klimaschutzleistungen des Clusters Forst-Holz am Beispiel NRW

Im Leitmodell I wird die Frage gestellt, mit welchem Fußabdruck die Produkte behaftet sind, die von Nordrhein-Westfalen gekauft und konsumiert werden. Der Begriff „ökologischer Konsum“ hat in der Historie der deutschen Umweltbewegung eine große Bedeutung.<sup>34</sup>

Mit dem Begriff „ökologischer Konsum“ ist jedoch impliziert, dass Produkte nicht nur hinsichtlich Ihres CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks, sondern insgesamt ökologisch umfassend bewertet werden. Dies ist zwar sinnvoll, kann jedoch im Rahmen einer auf Klimaschutz orientierten Betrachtung nur zum Teil erfolgen. Daher wurde der Begriff „klimaorientiert“ statt „ökologisch“ favorisiert. Statt „Konsum“ wird der Begriff „(Holz-)Verwendung“ gewählt, weil der Begriff des Konsums zu kurz greift. Konsum umfasst lediglich den unmittelbaren und täglichen Ge- und Verbrauch von Gütern. Jedoch haben im Holzsektor gerade der langlebige Gebrauch und die Investition (Bauen mit Holz) eine große Bedeutung. Daher wird allgemein von Holzverwendung bzw. von Holzeinsatz gesprochen.

Die Betrachtung hat auch für den Cluster Forst-Holz eine bedeutende Auswirkung: Findet die Bewertung lediglich auf der Basis des Holzes aus nordrhein-westfälischen Wäldern statt oder auf Basis der Holzprodukte, die in Nordrhein-Westfalen eingesetzt werden? Würde der Einsatzort komplett vernachlässigt werden, wären ökologische Konsumententscheidungen bzw. klimabewusste Konsumententscheidungen irrelevant. Da Nordrhein-Westfalen ein großes Verbraucherland ist und eine dagegen kleine Urproduktion von Holz besitzt, hat dieses Thema gerade für den Cluster Forst-Holz eine große Relevanz. In der Klimastudie wurde daher daran gearbeitet, zur Beurteilung und Bewertung von Klimaschutzleistungen die beiden Leitmodelle „CO<sub>2</sub>-Fußabdruck – klimaorientierter Holzeinsatz“ und „Post-Kyoto-orientiert“ nebeneinanderzustellen.

Das Leitmodell II ist mit der Frage „Was leisten Wald und Holzwirtschaft in NRW?“ verknüpft. Es wird als (Post-)Kyoto-orientiertes Modell bezeichnet. Denn zum einen wird der Wald in Nordrhein-Westfalen und das aus dem Wald in Nordrhein-Westfalen entnommene Holz betrachtet. Damit wird der Bereich abgedeckt, der (wahrscheinlich) in einer Post-Kyoto-Regelung (vgl. Kapitel 3.2.1) im Sektor LULUCF seine Bewertung und Anerkennung erfährt. Zum anderen werden die Holzwirtschaft und das in Nordrhein-Westfalen zur Verbrennung eingesetzte Holz betrachtet und bewertet. Dadurch werden die beiden Bereiche bewertet, die Substitutionsleistungen erbringen. Die dort erbrachte Substitutionsleistung findet (nicht sichtbar; vgl. Kapitel 3.2.4) ihren Niederschlag im Treibhausgasinventar des Landes Nordrhein-Westfalen. Dort trägt sie zu einer Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in den Sektoren Energie und Industrie bei.

**Betrachtung des Verbrauchermarktes gerade für ein bevölkerungsreiches Bundesland wie NRW notwendig**

**Was leisten Wald und Holzwirtschaft in NRW?“ = Leitmodell II**

**(Post-)Kyoto-orientiert**

---

34 Vgl. das grüne Parteiprogramm „Umbau der Industriegesellschaft“ 1986; dort werden sowohl Produktion als auch Konsum beurteilt: „Ökologisch orientierte Produktion und Konsumtion“.

**40 Entwicklung eines Modells zur Beurteilung und Bewertung von Klimaschutzleistungen des Clusters ForstHolz am Beispiel NRW**

**Was leisten nordrhein-westfälischer Wald und daraus entnommenes Holz? = Leitmodell III – wertschöpfungsorientiert**

**Basis des Simulationsmodells für die Szenarien der potenziellen Waldentwicklung bis 2100**

Das Leitmodell III mit der Frage „Was leisten nordrhein-westfälischer Wald und daraus entnommenes Holz?“ hilft bei der Bewertung, welche Bewirtschaftung der nordrhein-westfälischen Wälder mit dem größten Klimaschutzeffekt verbunden ist. Dieses Modell wird als wertschöpfungsorientiert bezeichnet. Damit soll zum Ausdruck gebracht werden, welche Wertschöpfung mit dem aus den eigenen Wäldern entnommenen Holz verbunden ist. Das Modell ist die Basis für die Simulation bis 2100 (vgl. Kapitel 6).

Typen der Beurteilung von Klimaschutzleistungen	Bereich der Emissionsminderung/Speicher/Senke				
	Wald Klimaschutzleistung Wald – Senkenleistung des Waldes	Holzspeicher Klimaschutzleistung Holz – Senkenleistung des Holzspeichers	Energetische Substitution Emissionsminderung durch Holzenergie		Stoffliche Substitution Emissionsminderung durch Materialsubstitution/ Holzverwendung
			aus Brennholz	aus Nutzholz	
[CO <sub>2</sub> ]	[CO <sub>2</sub> ]	[CO <sub>2</sub> ]	[CO <sub>2</sub> ]	[CO <sub>2</sub> ]	
<p>„Was leisten nordrhein-westfälischer Wald und nordrhein-westfälische Verbraucher/innen?“</p> <p><b>Leitmodell I: verbraucherorientiert</b> CO<sub>2</sub>-Fußabdruck – klimaorientierter Holzeinsatz</p>	Wald NRW	Alle in NRW verwendeten Holzprodukte	Alles in NRW energetisch verwertete Holz	Alle in NRW verwendeten Holzprodukte	
<p>„Was leisten Wald- und Holzwirtschaft in NRW?“</p> <p><b>Leitmodell II: (Post-)Kyotoorientiert</b></p>	Wald NRW	Produkte aus Holz nordrhein-westfälischer Wälder	Alles in NRW energetisch verwertete Holz	In NRW be-/verarbeitetes Holz	
<p>„Was leisten nordrhein-westfälischer Wald und daraus entnommenes Holz?“</p> <p><b>Leitmodell III: wertschöpfungsorientiert</b> Basis des Simulationsmodells (Szenarien der potenziellen Waldentwicklung bis 2100)</p>	Wald NRW	Produkte aus Holz nordrhein-westfälischer Wälder	Energetische Verwertung des Holzes aus Wald NRW	Produkte aus Holz nordrhein-westfälischer Wälder	

**Tabelle 2:** Matrix/Typologie für die Beurteilung von Klimaschutzleistungen eines regional abgegrenzten Clusters ForstHolz am Beispiel NRW



## 5. Bestimmung der heutigen Klimaschutzleistung des Waldes und der Holzverwendung

### 5.1 Methodische Grundannahmen zur Ableitung der Klimaschutzleistung

#### 5.1.1 Grundsätzliches Vorgehen

Zur Bestimmung der Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz in Nordrhein-Westfalen werden je nach Betrachtung (vgl. Tabelle 2) verschiedene Methoden und Quellen genutzt. Sie werden in diesem 5. Kapitel in Bezug zu den Leitmodellen gemäß Tabelle 2 ausführlich vorgestellt. Dazu werden zunächst einige Grundannahmen zur Bewertung der Klimaschutzleistung beschrieben (5.1) und anschließend in Bezug auf die verschiedenen Betrachtungsweisen nach Tabelle 2 (5.2 bis 5.6) angewandt.

Für die Bewertung der Klimaschutzleistung werden bestimmte Grundannahmen getroffen:

1. Festlegung eines Nutzungsschlüssels für das aus dem Wald (NRW) entnommene Holz
2. Festlegung von Methoden zur Bestimmung der Veränderung des Holzproduktespeichers
3. Festlegung von weiteren Parametern des Nutzungsverhaltens von Holzprodukten (z. B. Recyclingquoten, Anteil des nicht energetisch genutzten Gebrauchtholzes)
4. Festlegung eines Substitutionsfaktors  $SF_{EN}$  für die Beurteilung der Emissionsminderung bei der energetischen Nutzung des Holzes
5. Festlegung eines Substitutionsfaktors  $SF_{MA}$  für die Beurteilung der Emissionsminderung durch die Materialsubstitution (stoffliche Substitution)

Für die Beurteilung der Klimaschutzleistung kommt den beiden Substitutionsfaktoren eine entscheidende Bedeutung zu. Daher wurden die bislang in der Literatur verwendeten Faktoren intensiv geprüft und im Falle des Faktors der Materialsubstitution  $SF_{MA}$  angepasst.

Diese Studie bietet eine umfassende Bewertung der Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz in Nordrhein-Westfalen. Es hat sich gezeigt, dass zu einer detaillierteren Bewertung oftmals die bundeslandspezifische Datenbasis fehlt. In diesem Fall wurden bundesweite Daten regionalisiert bzw. es wurden gutachterliche Annahmen (die im Text immer als solche kenntlich gemacht sind) getroffen. Es ist eine weitere Aufgabe dieser Studie, zukünftig zu erhebende Daten zu benennen (z. B. in einer Fortschreibung der Clusterstudie NRW; siehe Kapitel 9). Neben der fehlenden Datenbasis stößt die Betrachtung auf Ebene eines Bundeslandes an methodische Grenzen, die auch bei anderer Datenerhebung nicht vollkommen beseitigt werden können: Die Stoff- und Warenströme von/nach Nordrhein-Westfalen können lediglich als „echte“ Importe/Exporte ins Ausland

#### Festlegung von Grundannahmen zur Modellierung

#### Grenzen der Betrachtung

bzw. aus dem Ausland erfasst werden (Außenhandelsstatistik). Innerdeutsche Warenströme können auf Basis der Statistik nicht abgebildet werden. Hierzu sind empirische Erhebungen notwendig. Zugleich werden teilweise statistische Daten, die auf Ebene des Bundes vorliegen, aus Gründen des Datenschutzes nicht auf Ebene eines Bundeslandes<sup>35</sup> übermittelt.

### 5.1.2 Festlegung eines Nutzungsschlüssels für das aus dem Wald entnommene Holz

#### **Festlegung eines Nutzungsschlüssels auf Basis der Holzeinschlagstatistik von 2006–2010**

Eine wichtige Aufgabe dieser Studie ist die Bewertung der Klimaschutzleistung des Holzes aus nordrhein-westfälischen Wäldern („Was leistet Holz aus NRW?“). Im 6. Kapitel wird dargestellt, welche Klimaschutzleistung Holz aus nordrhein-westfälischen Wäldern in Zukunft (bis 2100) erbringen kann. Als Grundlage wurde ein Holznutzungsschlüssel für das Holz aus Nordrhein-Westfalen auf Basis der offiziellen Holzeinschlagsstatistik ermittelt. Dazu wurde ein idealisiertes Stoffstrommodell von der Rohholzbereitstellung (laut Einschlagstatistik) bis zu den Endprodukten entwickelt. Diese Betrachtung erfolgte getrennt nach Laub- und Nadelholzsortimenten (unterschiedliche Ausbeuten und Nutzung des Industrieholzes). Die Endprodukte orientieren sich an dem international anerkannten (UNFCCC 2010a/b) und von Rüter (2011a) vorgestellten und Wördehoff et al. (2011: 32 ff) in der niedersächsischen Kohlenstoffstudie ausführlich beschriebenen Verfahren. Nach diesem Verfahren werden Holzprodukte in vier Produktkategorien differenziert: Produkte mit langer, mittlerer und kurzer Lebensdauer (= Papier) sowie Energieholz.

#### **Bestimmung des Verwendungsschlüssels für Rohholz**

Auf Basis verschiedener Quellen<sup>36</sup> leitet Seintsch (2008) einen Verwendungsschlüssel für Rohholz ab. Für Industrieholz weist Seintsch (ebd.) folgende Werte aus: Nadelholz mit HWI 59 %, Zellstoff 41 % und Laubholz mit HWI 63 %, Zellstoff 37 %. Diese von Seintsch als bundesweite Kennwerte ermittelten Zahlen könnten als Grundlage für die Festlegung eines Sortimentschlüssels dienen und bieten auch für NRW in der Größenordnung plausible Ergebnisse, auch wenn die Wirtschaftsstruktur im Holzwerkstoff- und Papierbereich in NRW nicht exakt der Struktur in Deutschland entspricht.

Für die Sortimente Stammholz und Industrieholz konnte der Landesbetrieb Wald und Holz NRW auf Basis der Kundenlisten eine differenzierte und von den bundesweiten Zahlen abweichende Verwendung angeben. Dieser Verwendungsschlüssel wurde zur Berechnung in dieser Studie verwandt. Aus Vertraulichkeitsgründen werden diese Daten (und der damit verbundene Stoffstrom) nicht im Einzelnen in dieser Studie dargestellt.

---

35 Selbst in einem großen Bundesland wie Nordrhein-Westfalen mit sehr vielen Marktteilnehmern hat die Statistik (z. B. Produktionsstatistik) Lücken.

36 u. a. bundesweite Clusterstudie Forst und Holz, Forschungsergebnisse zum Holzmarkt von Mantau, Daten des Statistischen Bundesamtes

Die Verwendung des Industrierestholzes wurde auf Basis der Untersuchungen von Mantau (z. B. Mantau/Bilitewski 2010) bzw. auf Basis gutachterlicher Annahmen getroffen. Diese Annahmen wurden von Experten aus den entsprechenden Industrien bzw. deren Verbandsvertretern bestätigt (z. B. Kottwitz 2012, Kibat 2012).

### 5.1.3 Festlegung von Methoden zur Bestimmung der Veränderung des Holzproduktespeichers

In dieser Studie kommen (je nach Modell, Tabelle 2) zwei Methoden zur Anwendung, wie das Nutzungsverhalten von Holzprodukten und damit die Veränderung des Holzproduktespeichers bestimmt wird:

1. Input-Output-Messung zur Abschätzung des Holzproduktespeichers (modifiziertes Modell in Anlehnung an das Stoffstrommodell von Mantau/Bilitewski 2010, vgl. Kapitel 5.3.1) – dieses Modell wird angewandt, um den Holzspeicher für in NRW eingesetzte Holzprodukte (Leitmodell I – „Was leisten die nordrhein-westfälischen Verbraucher/innen?“) zu bestimmen.
2. Bestimmung des Inputs von Holzprodukten in den Holzproduktespeicher und Festlegung eines Ausscheidens nach Produktgruppen anhand einer mathematischen Funktion (exponentielle Zerfallskurve; gemäß UNFCCC 2010a/b) – dieses Modell wird angewandt, um die Veränderung des Holzspeichers für Holzprodukte auf Basis von Holz aus nordrhein-westfälischen Wäldern zu bestimmen (alle anderen Betrachtungen außer Leitmodell I).

### 5.1.4 Festlegung von weiteren Parametern bei der Nutzung von Holzprodukten

In dieser Studie wird die Substitutionswirkung der Emissionsminderung bei der energetischen Nutzung von Holz zum Zeitpunkt ihres Eintretens berücksichtigt (dynamisches Modell).<sup>37</sup> Bei der Berechnung wird also die Emissionsreduktion durch die energetische Verwertung dann als Gutschrift bewertet, wenn das Holz auch (physisch) verbrannt wird (also beim End of Life auch erst zu dem Zeitpunkt des Ausscheidens eines Holzprodukts aus der Nutzung).<sup>38</sup> Diese dynamische und zeitpunktbezogene Betrachtung unterscheidet sich von der Interpretation und Bewertung, wie sie in Ökobilanzen getroffen wird, wo alle Ereignisse

#### **Zeitgenaue Bewertung der Substitutionsleistungen**

---

<sup>37</sup> Lediglich für das Wald- und Energieholz wird vereinfachend davon ausgegangen, dass es sofort eingesetzt wird, also zu dem Zeitpunkt, wenn es als Energieholz aus dem Wald entnommen wird bzw. im industriellen Prozess als Restholz anfällt bzw. zu Energieprodukten weiterverarbeitet wird.

<sup>38</sup> Lediglich bei Produkten mit einer kurzen Lebensdauer (Papier) und Energieholz wird vereinfachend von einer sofortigen Gutschrift ausgegangen. Die sich daraus ergebenden möglichen Verzerrungen sind vernachlässigbar.

auf den Zeitpunkt null bezogen sind. Dies führt dazu, dass die ausgewiesene Klimaschutzleistung in dieser Studie (im zeitlichen Bezug) niedriger ist als in anderen vergleichbaren Klima- bzw. Kohlenstoffstudien,<sup>39</sup> denn dort wird oftmals vereinfachend davon ausgegangen, dass mit der erstmaligen Verwendung eines Holzproduktes alle Gutschriften ausgelöst werden und zum Zeitpunkt null (bzw. eins) angerechnet werden können.<sup>40</sup>

**80 % Verwertung des Gebrauchtholzes (60 % energetisch, 20 % stofflich)**

Bei der Alt- bzw. Gebrauchtholznutzung wird davon ausgegangen, dass nur 80 % des Holzes verwertet werden. Die restlichen 20 % gehen verloren und werden nicht energetisch verwertet (Verrotten, offenes Feuer ohne Wärmeausnutzung o. ä.). Es wird also unterstellt, dass 20 % der Altholzmenge einmalig stofflich verwertet werden (überwiegend Herstellung von Spanplatten). Bezogen auf das Fertigprodukt ergibt sich bei der Annahme einer Ausbeute an Produkten aus dem Altholz von 60 % so eine stoffliche Nutzung von 12 %. Die restlichen 68 % des Altholzes werden energetisch genutzt (energetische Substitution).

**Bewertung des Außenhandels**

In dieser Studie wird für exportierte Holzprodukte das gleiche Nutzungsverhalten unterstellt wie für Holzprodukte, die in Deutschland bzw. NRW eingesetzt werden. Exporte und Importe werden nur im Außenhandelsaldo berücksichtigt. Das heißt, eingeführte Fertigprodukte werden auf die gleiche Weise bewertet wie im Inland hergestellte Produkte.

**Bedingung: Eingesetztes Holz kann als CO<sub>2</sub>-neutral betrachtet werden**

Die im letzten Abschnitt getroffene Annahme verlangt, dass das eingesetzte Holz als CO<sub>2</sub>-neutral betrachtet werden kann. Das heißt, die Holzentnahme muss jeweils in den Herkunftsländern des Holzes als Emission berücksichtigt sein (vgl. Rüter 2010). Dies ist bei Ländern, die ihre Treibhausgasbilanz ihrer Wälder im Rahmen des Kyoto-Protokolls anrechnen lassen, der Fall. Andernfalls wird davon ausgegangen, dass lediglich Holz aus nachhaltiger Bewirtschaftung eingesetzt wird und die Bedingung der CO<sub>2</sub>-Neutralität damit ersatzweise erfüllt wird. Diese Bedingung ist heute für das in Deutschland eingesetzte Holz überwiegend erfüllt. Spätestens mit dem Inkrafttreten der Holzhandelsrichtlinie im März 2013 in Deutschland ist sie als weitgehend gesichert anzusehen.

**Diese Bedingung verlangt eine nachhaltige Bewirtschaftung der Wälder**

---

39 Dieser Effekt macht sich insbesondere bei der Betrachtung kürzerer Zeiträume bemerkbar.

40 Um die Vergleichbarkeit zu diesem vereinfachenden (die aktuelle Klimaschutzwirkung überzeichnenden) Verfahren herzustellen, wird jeweils ausgewiesen, wie hoch die noch nicht realisierte „potenzielle“ Klimaschutzleistung ist. Sie ergibt sich grundsätzlich als Differenz des hier gewählten Ansatzes der zeitgenauen Berechnung zur alternativen Berechnung zum Zeitpunkt Null. Lediglich die Tatsache, dass nicht das gesamte Altholz genutzt wird (siehe nächsten Abschnitt) führt dazu, dass die Summe aus erbrachter und potenzieller Klimaschutzleistung etwas geringer ist als die in anderen Studien ausgewiesene Klimaschutzleistung

### 5.1.5 Festlegung eines Substitutionsfaktors $SF_{EN}$ für die Beurteilung der Emissionsminderung bei der energetischen Nutzung des Holzes

Die energetische Verwertung von Holz geschieht über Verbrennungsprozesse (einschließlich Aspekten der Vergasung) primär zur Erzeugung von thermischer Energie (Wärme, Dampf) und, in geringerem Umfang, dann sekundär, von elektrischer Energie (unterstützt durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz). Holz (wie auch andere erneuerbare Energien) ersetzt damit fossile Brennstoffe.

#### Begriff, Definition

In aktuellen (mitteleuropäischen) Publikationen zum Thema „energetische Substitution des Holzes“ wird ein Substitutionsfaktor von  $SF_{EN} = 0,67 \text{ t C/t C}$  zugrunde gelegt (z. B. Rüter 2011a, mit einer geringen Abweichung Taverna et al. 2007<sup>41</sup>). Rüter (ebd.: 17) verwendet den Faktor auf der Basis, dass Holz leichtes Heizöl als Energieträger ersetzt. Die Menge an C bzw.  $CO_2$  wird bestimmt, die bei der Verbrennung des Heizöls emittiert worden wäre, und gilt als Substitutionsfaktor.  $SF_{EN} = 0,67 \text{ t C/t C}$  bedeutet also, dass durch die energetische Nutzung von Holz mit dem Inhalt von 1 t Kohlenstoff<sup>42</sup>  $CO_2$ -Emissionen von 0,67 t C (entspricht  $0,67 \text{ t } CO_2 * 3,67 = 2,46 \text{ t } CO_2$ ) vermieden werden.

$$SF_{EN} = 0,67 \text{ t C/t C}$$

Deutlich ist auch, dass der Substitutionsfaktor je nach Wirkungsgrad der Verbrennung und je nach zu ersetzendem Energieträger unterschiedlich ist. Die Grenzen liegen etwa bei 0,5 und 1 t C/t C.<sup>43</sup>

Der meistens verwendete Substitutionsfaktor von  $0,67 \text{ t C/t C}$  wurde überprüft. Dazu wurde die vom Umweltbundesamt vorgeschlagene Methodik verwendet (UBA 2009, 2012a,b): Für alle Energieträger wird bei Berücksichtigung der Vorketteneffekte für Transport etc. ein energieträger- und verbrennungstechnischer  $CO_2$ -Substitutionsfaktor angegeben. Dieser Faktor legt bei regenerativen Energieträgern einen Mix an fossilen Energieträgern zugrunde, der alternativ verbrannt worden wäre. Statt eines einzigen fossilen Energieträgers (leichtes Heizöl, s. o.) wird also ein Mix an fossilen Energieträgern betrachtet. Das UBA bildet dabei nicht den Mix der bundesdeutschen (Primär-)Energie ab, sondern differenziert nach den Anwendungen (z. B. Verbrennung in Pelletöfen). Wegen der Vielzahl von Verbrennungsanlagen für Holz und dem Fehlen eines übergreifenden Verteilungsschlüssels (vgl. Kapitel 5.4.2) wird für die energetische Verwertung von Holz folgender  $CO_2$ -Emissionsfaktor für Holz vorgeschlagen und in der Studie angewandt:  $ca. 290 \text{ g } CO_2/kWh_{\text{Endenergie}}$  bzw.  $300 \text{ g } CO_2\ddot{a}q/kWh_{\text{Endenergie}}$ . Auf Basis dieses Faktors und des durchschnittlichen Heizwertes<sup>44</sup> von Holz lässt sich so der Faktor  $SF_{EN} = 0,67 \text{ t C/t C}$  bestätigen.

41 Die Schweizer Studie von Taverna et. al (2007) gibt den Wert umgerechnet als  $600 \text{ kg } CO_2/m^3 \text{ Holz}$  an. Dies entspricht  $0,65 \text{ t C/t C}$ .

42 Entspricht ca. 2 t Holz, je nach Holzart und holzartenspezifischer Rohdichte ca.  $4 \text{ m}^3$ .

43 Substitution von Braunkohle als fossilem Energieträger hat einen höheren Faktor als die Substitution von Gas.

44  $4\text{--}4,3 \text{ kWh/kg}$  luro Holz; Nadelholz hat einen etwas höheren Heizwert als Laubholz. Wichtig ist dabei, dass der Heizwert stark von der Holzfeuchte abhängt (trockenes Holz mit einem deutlich höheren Heizwert).

Zu diskutieren wäre, ob in Nordrhein-Westfalen für die Substitution fossiler Energieträger durch Holz nicht ein Energiemix angesetzt werden müsste, der die überdurchschnittliche Verwendung von Braunkohle in NRW berücksichtigt. Diese Berücksichtigung führt zu einer höheren Substitutionsleistung (größerer Substitutionsfaktor). Aus Konformitätsgründen wird auf diese Anpassung verzichtet und mit dem in Deutschland einheitlichen Substitutionsfaktor von  $SF_{EN} = 0,67 \text{ t C/t C}$  gerechnet. Dieser Faktor wird verwendet, um die heutige Klimaschutzleistung (2002–2010) durch energetische Substitution zu berechnen.

**Substitution von fossiler Energie heute und in Zukunft inhaltlich sinnvoll und methodisch gerechtfertigt (vgl. dazu ausführlich 6.2.1)**

Auch für die Szenarienberechnung (bis 2100) in Kapitel 6.2 findet der Faktor  $SF_{EN} = 0,67 \text{ t C/t C}$  Anwendung. Dort wird im Methodenkapitel zu den Simulationen (6.2.1) noch einmal ausführlich begründet, weshalb es inhaltlich sinnvoll und methodisch gerechtfertigt ist, heute wie auch insbesondere in der Zukunft die Substitution fossiler Energieträger anzunehmen, und der Bezug auf einen allgemeinen Energiemix nicht sinnvoll ist.

## 5.1.6 Festlegung eines Substitutionsfaktors $SF_{MA}$ für die Beurteilung der Emissionsminderung durch die Materialsubstitution

### Begriff, Definition

Unter Materialsubstitution wird der Unterschied im Energieaufwand zur Herstellung von Produkten aus einem Material A (z. B. Nichtholz) im Vergleich zu einem Produkt gleicher Leistung aus Material B (z. B. Holz) verstanden.

Der Energieaufwand wird jeweils berechnet in Primärenergie (PE). Der Primärenergieaufwand kann umgerechnet werden in kg C-Emissionen unter Anwendung eines bestimmten Energiesystems.

Grundsätzlich müssen für die zu vergleichenden Produkte aus unterschiedlichen Materialien das gleiche Energiesystem, die gleiche Funktion der Produkte (funktionelle Einheit), die identischen Systemgrenzen (z. B. Cradle-to-Gate) und eine vergleichbare Nutzungsdauer zugrunde gelegt werden. Nur dann sind die Produkte hinsichtlich Energieaufwand und Emissionen vergleichbar.

$$\Delta_{PE} = \text{Primärenergie Produkt A} - \text{Primärenergie Produkt B}$$

$$\Delta_{C\text{-Emission}} = \text{C-Emission Produkt A} - \text{C-Emission Produkt B}$$

Meist wird der Energieaufwand bzw. werden die C-Emissionen auf die Kohlenstoffgehalte (bzw. Differenzen) der beiden Produkte bezogen. Somit ergibt sich für den Vergleich Nichtholzprodukt zu Holzprodukt der Faktor Materialsubstitution zu

$$SF_{MA} = \frac{\text{C-Emission Nichtholzprodukt} - \text{C-Emission Holzprodukt}}{\text{C-gehalt Holzprodukt} - \text{C-gehalt Nichtholzprodukt}}$$

(nach Sathre/O' Connor 2010)

In der Schweizer Studie geben Taverna et al. (2007) die Substitutionsfaktoren  $SF_{MA}$  in kg  $\text{CO}_2$  pro kg Holz im Produkt an (Taverna

et al. 2007: 91). Diese Angaben können in die von Sathre und O´Connor (2010) verwendete Definition umgerechnet werden: Stahlbetondecke zu Holzdecke  $SF_{MA} = 2,86 \text{ kg CO}_2/\text{kg Holz}$  (nach Taverna et al.) entspricht nach Sathre und O´Connor  $SF_{MA} = 1,60 \text{ kg C /kg C im Holz}$ .

Taverna et al. (ebd.) geben die Substitution der Materialien und die Unterschiede für das End of Life auch getrennt an. End of Life bedeutet dabei energetische Verwertung. Beispiel:

- a) Holzbalkendecke total (0,548 + 0,558) kg CO<sub>2</sub>/kg (Herstellung + End of Life)
- b) Stahlbetondecke total (2,860 + 0,982) kg CO<sub>2</sub>/kg

Aus a) und b) ergibt sich:

Substitutionsfaktor (Substitutionseffekt) 2,736 kg CO<sub>2</sub>/kg Holz. Umgerechnet bedeutet dies -1,48 kg C/kg C (das Minus bedeutet: Holz hat niedrigere Emissionen).

Sathre und O´Connor gehen davon aus, dass auch in Nichtholzprodukten (geringe) Holzanteile vorhanden sind und berücksichtigen dies in ihrer Auswertung (s. o.). Taverna et al. machen dazu keine weiteren Angaben.

Unterschiedliche Betrachtungsweisen:

Wie oben postuliert, erfordert ein exakter Vergleich den Ansatz Primärenergie aus dem gleichen Energiesystem, identische funktionelle Einheiten, Nutzungszeiten und Systemgrenzen.

Von diesem Postulat wird häufig abgewichen, zum Beispiel:

- Es wird im Holzsystem die Energieerzeugung Rest- und Althölzern gutgeschrieben (z. B. bei Taverna et al. für Altholz bzw. bessere Entsorgung). Dies gilt teilweise auch bei den von Sathre und O´Connor referierten Arbeiten. Dadurch ergeben sich zum Teil erheblich unterschiedliche Faktoren.
- Es werden teilweise nur die eingekauften bzw. fremdbezogenen Energien bilanziert; selbst in Energie umgesetzte Reststoffe werden vernachlässigt.
- Es werden End of Life-Szenarien eingerechnet oder nicht. Durch die Gutschriften bei der Verwertung von Altholz zu Energie oder auch zur stofflichen Nutzung kommt es zu erheblichen Unterschieden, die nicht nachvollziehbar sind.
- Die Lebensdauer der vergleichbaren Produkte ist oft unterschiedlich.
- Die Einrechnung oder Nichteinrechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Zementherstellung (chemische Umsetzung) oder die Einbeziehung des stofflichen Kohlenstoffes bei Holz (und anderen organischen Materialien [vergleiche EN 15084]) führt zu deutlichen Unterschieden.

Fazit: In der Literatur mitgeteilte Materialsubstitutionsfaktoren sind oft unterschiedlich definiert und ermittelt. Daher ist bei Vergleichen und ungeprüften Übernahmen größte Vorsicht geboten. Ein Ansatz zur graduellen Verbesserung solcher Vergleiche ergibt sich aus den in EPD (ökologischen Produktdeklarationen) mitgeteilten Daten für Baustoffe.<sup>45</sup> Zwar werden auf Basis der Norm

45 EPDs finden sich unter [www.bau-umwelt.com](http://www.bau-umwelt.com).

EN 15804 Energiedaten, Energieträger und C/CO<sub>2</sub>-Emissionen für eine jeweilige Einheit des Produkts (z. B. 1 m<sup>2</sup> Parkett oder 1 m<sup>2</sup> Keramikfliesen) mitgeteilt, eine direkte Vergleichbarkeit der Produkte (z. B. hinsichtlich Lebensdauer, Instandhaltung, End of Life) ist trotzdem meist nicht gegeben.

**Festlegung von Rechenwerten für die Materialsubstitution (Deutschland und NRW)**

In der Literatur sind zwar Angaben zum Energieaufwand für Konkurrenzprodukte zu finden, die Angaben sind aber nicht systematisch und verallgemeinerbar, da sie aus (einzelnen) Ökobilanzen stammen. Nur bedingt kann daraus auf Produktgattungen geschlossen werden, z. B. bei Richter et al. (1996): Fenster bzw. Fensterrahmen aus Holz, PVC, Aluminium.

Die meisten Angaben für Produkte sind nicht vergleichbar bzw. nachvollziehbar, da in ihnen ein bestimmter Konstruktionstyp steckt, der Grundregeln folgt, jedoch individuelle Produktgestaltung (und damit Produkteigenschaften) außer Acht lässt. Beispiele bei Sathre und O'Connor: „Finish Construction Sector“ oder „Single family house“. Meist stammen diese Untersuchungen aus Einzelobjekten und sind nicht repräsentativ (vgl. Tabelle 3).

Systemvergleich	Sathre/O'Connor [t C/t C]	Taverna et al. [kg CO <sub>2</sub> /kg Holz]	Bemerkungen
Office Buildings Timber vs. Concrete	0,9 – 1,0		
Holzbalkendecke vs. Stahlbetondecke		2,736 ± 1,5 t C/t C	Taverna 50 % höher
Window Frame (material not mentioned)	1,7 – 4,6		Keine Angaben bei Taverna
Flooring Wood vs. Stone	0,4 – 1,2		
3-Schicht-Parkett vs. Keramikfliesen		2,062 ± 1,1 t C/t C	Bei Taverna bis zu doppelt so hoch
Single family house	2,3 – 3,3 1,4 – 1,9	1,90 ± 1,0 t C/t C	Mittelwert (je 1/3) aus Wänden, Dächern, Decken Taverna doppelt so hoch
Verpackung Holz vs. Propylen (W)		3,143 ± 1,7 t C/t C	Keine Angaben bei Sathre/O'Connor

**Tabelle 3:** Vergleiche und Beispiele für die Substitutionsfaktoren (Materialsubstitution)



Für den Bereich tragende Bauteile (z. B. Wände, Decken und Dächer) sind außerdem die (nationalen) Baunormen bzw. Bauregeln unterschiedlich, da sie den Materialien u. U. sehr unterschiedliche Tragfähigkeiten zuordnen. Insofern sind länderübergreifende Vergleiche problematisch.

Eine weitere, letztlich nicht zu klärende Unsicherheit besteht darin, wie in den Studien der Energieaufwand bewertet wurde (nur Herstellungskette, Gebrauchsphase, Entsorgung) in Einheiten Primärenergie, welche Energiemodelle zugrunde gelegt werden und ob z. B. Produktionsreststoffe (biogen erneuerbar oder auch nicht erneuerbar) beim Energieaufwand vorher abgezogen wurden („nur externe Energie“).

In fachlicher Bewertung von knapp 100 Veröffentlichungen, besonders der Veröffentlichung von Taverna et al. (2007) und den Studien aus der Metastudie von Sathre und O’Connor (2010), und aus langjähriger eigener Erfahrung mit Ökobilanzen und Kohlenstoffbilanzen werden in Tabelle 4 Substitutionswerte/-faktoren vorgeschlagen und in den Modellierungen verwendet.

Systemvergleich	kg CO <sub>2</sub> -Emiss./ kg Holz	kg C-Emiss./ kg C Holz
1. Rundholz (Masten, Gala Bau, auch getränkt gegen Stahl, Beton (Aluminium))		-2,40 Gala Bau 2,20 Masten 2,60
2. Nadelschnittholz sägerau, feucht z. B. Verpackungen, Schalung gegen Kunststoff (Folie, Formteile)	-3,2	-1,80
3. Nadelschnittholz gehobelt, getrocknet z. B. Baukonstruktionen gegen Beton, Stahl, Ziegel	-2,6	-1,40
4. Nadelholz – verleimte Vollholzprodukte z. B. BSH, BSP gegen Stahl, Beton, Ziegel	-2,4	-1,30
5. Sperrholz, auch beschichtet gegen Alu-Profile, GFK	-3,0	-1,62
6. Holzwerkstoffe Span, MDF, OSB z. B. Wand, Decken, Dächer gegen Gipskarton, Putz, Beton, Mauerwerke	-2,0	-1,10
7. Allg. DIY-Produkte Vollholz, Platten gegen mineralische Werkstoffe, Kunststoffplatten, Kunststoff-/Aluprofile	-2,5	-1,35
8. Parkett (Ein-, Mehrschicht) Laminatboden gegen Fliesen, Kunststoff u. a.	-2,5	-1,35

9. Türen (z. B. Innen/Außen) nur Konstruktion- gegen PVC, Aluminium, Stahl	-3,0	-1,62
10. Fenster (nur Rahmen) gegen PVC, Aluminium	-3,0	-1,62
11. Wohnmöbel – Vollholz gegen Glas, Kunststoff, Metall	-3,0	-1,62
12. Wohnmöbel – Holzwerkstoffe gegen Glas, Kunststoff, Metall	-2,7	-1,46
13. Küchenmöbel incl. Beschichtungen gegen Glas, Kunststoff, Metall	-3,0	-1,62
14. Sitzmöbel (außer Polsterung) gegen Metall, Glas, Kunststoff	-3,0	-1,62
15. Verpackungen gegen Kunststoff, Metalle	-2,5	-1,35
16. Transportsektor gegen Kunststoffe, Metalle	-3,0	-1,62

**Tabelle 4:** Vorschlag für Substitutionsfaktoren  $SF_{MA}$  (Materialsubstitution) – für Berechnungen verwendete Substitutionsfaktoren  $SF_{MA}$

### Festlegung von Rechenwerten für die Materialsubstitution von Produktgruppen

Die Substitutionsfaktoren können im Einzelfall bei Abwägung der Materialauswahl für bestimmte Produkte (Funktionen) eingesetzt werden, z. B. Deckenkonstruktionen für Wohnhäuser aus Holz oder Beton. Sie lassen sich, bei Kenntnis der Materialmengen und Materialanteile für komplexe Konstruktionen, z. B. Wandelemente, Dachsysteme modellhaft zusammensetzen.

Für die Abschätzung ganzer Wirtschaftssektoren, z. B. Holz-Fertigbau im Vergleich zum Massivbau, müssen die Produkte sehr detailliert modelliert und ggf. für einzelne Werkstofftypen verfeinerte Substitutionsfaktoren gefunden werden. Eine Basis dafür bilden ökologische Produktdeklarationen (EPD), wie sie unter [www.bau-umwelt.com](http://www.bau-umwelt.com) veröffentlicht werden (vgl. oben).

Für den gesamten Holzsektor in NRW werden die bundesweit erfassten Stoffströme (die in ihrer Struktur für NRW übernommen werden) mit den in den verschiedenen Produktbereichen vorhandenen Holzmengen mit den Substitutionsfaktoren bewertet um (a) zu einem Durchschnittsfaktor zu kommen und (b) die gesamte Substitutionsleistung zu bewerten.

Mithilfe dieser detaillierten Faktoren  $SF_{MA}$  aus Tabelle 4 kann unter Anwendung einer Zuordnung der Holzprodukte in Verwendungssektoren, u. a. nach Mantau/Bilitewski (2010), ein mittlerer spezifischer Substitutionsfaktor für die Bereiche

## 51 Bestimmung der heutigen Klimaschutzleistung des Waldes und der Holzverwendung

- Bauwesen,
- Möbel,
- Verpackung und Transport,
- sonstige

hergeleitet werden (Tabelle 5). Anschließend wird dieser mittlere spezifische Substitutionsfaktor für alle Bereiche zusammengefasst (Tabelle 6).

Anwendungsbereich/ Produktgruppen	SF <sub>MA</sub>	Anteile der Einzel- produktgruppen	SF <sub>MA</sub> * anteilig
<b>Bauwesen</b>			
Nadelschnittholz			
nass	1,80	0,15	0,27
trocken	1,40	0,45	0,62
verleimt (BSH, BSP; Parkett, Türen, Fenster)	1,30	0,15	0,19
Holzwerkstoffe			
Span, Faser, OSB, auch Laminat, Türen, Sperrholzprodukte	1,30	0,24	0,30
sonstige Holzwerkstoffe	1,35	0,01	0,01
<b>SF<sub>MA</sub> Bauwesen</b>		<b>0,60</b>	<b>1,38</b>
<b>Möbel</b>			
Wohnmöbel	1,52	0,60	0,91
Küchenmöbel	1,62	0,25	0,41
sonstige Möbel (u. a. Sitzmöbel)	1,62	0,15	0,24
<b>SF<sub>MA</sub> Möbel</b>		<b>1,00</b>	<b>1,56</b>
<b>Verpackung/Transport</b>			
Verpackung	1,35	0,8	<b>1,08</b>
Transport	1,62	0,2	<b>0,32</b>
<b>SF<sub>MA</sub> Verp./Transport</b>		<b>1,0</b>	<b>1,40</b>
<b>sonstige (Außenbau, Masten) SF<sub>MA</sub></b>	<b>2,40</b>	<b>1,00</b>	<b>2,40</b>

**Tabelle 5:** Ermittlung eines nach Produktgruppen differenzierten Substitutionsfaktors SF<sub>MA</sub> (Materialsubstitution) [t C/t C], eigene Berechnungen unter Verwendung der Mengenverteilungen von Mantau/Bilitewski (2010)

Produktgruppen	SF <sub>MA</sub> *	anteiliges Volumen	anteilig SF <sub>MA</sub>
Bauwesen	1,38	0,54	0,75
Möbel	1,56	0,26	0,41
Verpackung/Transport	1,40	0,16	0,22
sonstige	2,40	0,04	0,10
<b>alle</b>		<b>1,00</b>	<b>1,47</b>

**Tabelle 6:** Ermittlung eines produktgruppenübergreifenden Substitutionsfaktors SF<sub>MA</sub> (Materialsubstitution) [t C/t C], eigene Berechnungen unter Verwendung der Mengenverteilungen von Mantau/Bilitewski (2010)

### SF<sub>MA</sub>=1,5 t C/t C

Da in der Bewertung der Stoffströme hin zu Endprodukten wie Möbeln und Bauteilen bzw. Endprodukten wie Häusern Unsicherheiten bestehen und generell die Substitutionswerte mit höherer Veredelung ebenfalls höher werden (Ausnahme: ungetrocknetes Schnittholz), wird auf Basis des in Tabelle 6 ermittelten Wertes von SF<sub>MA</sub>=1,47 t C/t C ein durchschnittlicher Substitutionsfaktor für die Materialsubstitution von SF<sub>MA</sub>=1,5 t C/t C für die weitere Modellierung und Bewertung angenommen. Der Wert von SF<sub>MA</sub>=1,5 t C/t C gilt für die reine Materialsubstitution und schließt keine energetische Substitution mit ein.

### Spezifische Substitutionsfaktoren der wichtigsten Holzproduktgruppen liegen nahe am allgemeinen Substitutionsfaktor von SF<sub>MA</sub> = 1,5 t C/t C

Die spezifischen Substitutionsfaktoren der Produktgruppen Bauwesen, Möbel und Verpackung/Transport weichen nur gering von dem ermittelten durchschnittlichen Faktor von SF<sub>MA</sub>=1,5 t C/t C ab (bei Möbeln 4 % höher, bei Verpackungen 7 % und Bauwesen 8 % niedriger). Lediglich bei sonstigen Produkten ist der spezifische Substitutionsfaktor mit SF<sub>MA</sub>=2,4 t C/t C höher, doch deren Anteil beträgt nur ca. 4 %.

Die geringe Differenz bei den spezifischen Substitutionsfaktoren der Holzproduktgruppen hat den großen Vorteil, dass bei einem abweichenden Holzverwendungsschlüssel der Fehler gering ist (im Extremfall maximal 8 %).<sup>46</sup>

Da in Nordrhein-Westfalen die Möbelindustrie im Vergleich zum Bundesdurchschnitt überrepräsentiert ist (Möbelcluster Ostwestfalen), bedeutet dies, dass die Annahme des Substitutionsfaktors von SF<sub>MA</sub>=1,5 t C/t C als konservativ betrachtet werden muss.<sup>47</sup>

<sup>46</sup> Es könnte ein größerer Fehler höchstens dadurch entstehen, dass der in Tabelle 5 angenommene Verwendungsschlüssel differiert.

<sup>47</sup> Zumindest ist das Aufrunden von SF<sub>MA</sub>=1,47 t C/t C auf SF<sub>MA</sub>=1,5 t C/t C gerechtfertigt.

Der Faktor  $SF_{MA} = 1,5 \text{ t C/t C}$  wird aufgeteilt in einen Faktor  $SF_{MA_{Prod}} = 1,3 \text{ t C/t C}$  für den Anteil der stofflichen Substitution im Herstellungsprozess und  $SF_{MA_{EoL}} = 0,2 \text{ t C/t C}$  für den Anteil der stofflichen Substitution bei der Entsorgung. Dabei handelt es sich nicht um die energetische Substitution. Diese wird getrennt betrachtet. Eine Gutschrift aus der energetischen Nutzung von Rest- und Altholz (bzw. Altkunststoffen) wird nicht unter Materialsubstitution einbezogen, sondern unter Energiesubstitution. Die Aufteilung des Faktors der stofflichen Substitution ist eine konservative Annahme innerhalb dieser Studie und folgt methodisch der Schweizer Studie von Taverna et al. (2007).

Die Aufteilung des Substitutionsfaktors in Herstellungsprozess und End of Life hat einen großen methodischen Vorteil, denn dadurch ist der Substitutionseffekt beim End of Life aus stofflicher und energetischer Substitution (und ggf. aus Recycling) zusammen in etwa so groß wie die Kohlenstoffbindung im Holzspeicher ( $1,0 \text{ t C/t C}$ ). In der Simulation in Kapitel 6 hat sich bei der Annahme realer In- und Outputgrößen ein Gesamtsubstitutionsfaktor für das End of Life von  $0,91 \text{ t C/t C}$  ergeben. Bei höherer Verwertungsquote des Gebrauchtholzes in der energetischen Verwertung oder einem stärkeren Recycling kann der Wert auch bei  $1,0 \text{ t C/t C}$  (oder sogar höher) liegen. Das heißt, der Klimaschutzeffekt, den man beim Input von Holzprodukten in den Holzproduktespeicher berechnet ( $1,3 \text{ t C/t C}$  für die stoffliche Substitution +  $1,0 \text{ t C/t C}$  für die Speicherung im Holzspeicher) führt bei der Herausnahme aus dem Holzproduktespeicher lediglich zu einer Nettoemission von  $0,09 \text{ t C/t C}$  ( $-1,0 \text{ t C/t C}$  für die Herausnahme aus dem Holzspeicher +  $0,91 \text{ t C/t C}$  für den Gesamtsubstitutionsfaktor für das End of Life). Dies bedeutet, dass schon zum Zeitpunkt null (Herstellung, Input in den Holzproduktespeicher) eine Klimaschutzleistung berechnet werden kann, die zu späteren Zeitpunkten nicht durch den Ausweis höherer Nettoemissionen korrigiert werden muss. Damit werden mögliche Quelleneffekte des Holzspeichers in der Zukunft fast vollständig kompensiert.

**Differenzierung in Produktion und End of Life:**

$SF_{MA_{Prod}} = 1,3 \text{ t C/t C}$  und

$SF_{MA_{EoL}} = 0,2 \text{ t C/t C}$

**Differenzierung des Substitutionsfaktors in Produktion und End of Life hat folgenden Nebeneffekt: Sie führt zu einer kontinuierlichen Bewertung der Klimaschutzleistung**

## 5.2 Bestimmung der Senkenleistung des Waldes (2002–2010) und des aktuellen Waldspeichers (2010)

Diese Studie ist in Bezug auf die Abschätzung zukünftiger Klimaschutzleistungen (vgl. Kapitel 6) eine Potenzialstudie, ist also nur näherungsweise in der Lage, die jährliche Senkenleistung in nordrhein-westfälischen Wäldern zu bestimmen. Zwar wird auf Basis der Bundeswaldinventur 2 (BWI<sup>2</sup>) für das Jahr 2010 ein Wert für den Kohlenstoffspeicher der Wälder in NRW berechnet, der sich in Beziehung zu den Werten der BWI<sup>2</sup> im Jahr 2002 setzen lässt, um dadurch eine Veränderung des Waldspeichers (und damit die Senkenleistung der nordrhein-westfälischen Wälder) abzuleiten. Die in dieser Studie verwendete Herangehensweise ist jedoch Grundlage einer Szenarienbetrachtung und darf nicht

**Konservative (vorsichtige) Abschätzung der jährlichen Senkenleistung: ca. 4,0 Mio. t CO<sub>2</sub>**

als Prognose verstanden werden. Zudem ist die Bestimmung und Modellierung der Vorratsentwicklung seit 2002 u. a. wegen des Sturms Kyrill (2007) mit großen Unsicherheiten behaftet. Auf Grundlage der Modellierung und Simulation lässt sich für den Zeitraum von 2002–2010 jedoch konservativ abschätzen und vertreten, dass man bis zum Vorliegen der BWI<sup>3</sup> (Vorliegen der Auswertung Anfang 2015<sup>48</sup>) von einem jährlichen Anstieg des Waldspeichers zwischen 2002 und 2010 von ca. 4,0 Mio. t CO<sub>2</sub> (=jährliche Senkenleistung) ausgehen kann. Da dieser Wert mit einer gewissen Unsicherheit behaftet ist, wird er in der Ergebnistabelle (vgl. Tabelle 11) in Klammern gesetzt.

Grundsätzlich gilt, dass bislang eine korrekte Bestimmung der Senkenleistung nur durch den Vergleich zweier Waldinventuren erfolgen kann.<sup>49</sup> Auf Bundesebene ist eine Inventurstudie mit kleinerer Stichprobe 2008 durchgeführt worden – aus ihr lässt sich eine Entwicklung der Senkenleistung von 2002–2008 ableiten (Oehmichen et al. 2011). Aus Gründen der statistischen Sicherheit sind die Ergebnisse der Inventurstudie jedoch nur bundesweit und nicht für einzelne Bundesländer ausgewiesen worden und stehen damit auf Bundeslandebene (also Nordrhein-Westfalen) nicht zur Verfügung.

**Auf Basis der Simulation kann man einen mit großen Unsicherheiten behafteten Wert für den (absoluten) Kohlenstoffspeicher des Waldes in NRW mit ca. 165 Mio. t C (ohne C Boden) ableiten; dies entspricht ca. (605 Mio. t CO<sub>2</sub>)**

Mit einer genauso großen Unsicherheit ist auch die Bestimmung des aktuellen Waldspeichers verbunden. In der Simulation (vgl. Kapitel 6.2) wird für 2010 lediglich die oberirdisch lebende Biomasse als Wert ausgewiesen (117 Mio. t C). Für die weiteren Kohlenstoffpools wird gemäß der Forschungsfragestellung nur die Veränderung in der Zukunft modelliert. Daher kann auf Basis der Simulation kein sicherer Wert für den C-Gesamtvorrat des Waldspeichers in Nordrhein-Westfalen für 2010 angegeben werden. Es lässt sich für den Waldspeicher aber ein mit entsprechend großen Unsicherheiten behafteter Wert berechnen, indem zur Abschätzung der weiteren Kohlenstoffpools Durchschnittswerte aus der bundesweiten Inventurstudie 2008 (Oehmichen et al. 2011) herangezogen werden. Für Totholz weist die Inventurstudie einen bundesweiten Durchschnittswert von 3,25 t C/ha (ebd.: 66) aus, für Streu einen mittleren C-Vorrat von 19,8 t C/ha an (ebd.: 69). Zudem lässt sich ein durchschnittliches Verhältnis von unterirdischer zu oberirdischer Biomasse von 0,235 bei einer Baumbiomasse von zusammen 114 t C/ha ableiten (ebd.: 2). Dieses Verhältnis liegt ganz im Sinne einer konservativen Schätzung im unteren Bereich der in den IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (2006) angegebenen Verhältniswerte. Setzt man diesen bundesweiten Relativwert auch für NRW an, so ergibt sich eine konservative Schätzung für die unterirdische Biomasse von knapp 30 t C/ha. Für die Waldfläche von NRW mit 915.000 ha lässt sich so ein C-Vorrat von ca. 165 Mio. t C für den Waldspeicher ohne Waldboden berechnen. Es muss betont werden, dass diese Ableitung nur zur Abschätzung der Größen-

48 Mit Erlass vom 1. Oktober 2012 wurde Wald und Holz mit der Durchführung einer Landeswaldinventur beauftragt, deren Ergebnisse 2016 vorliegen werden. Es handelt sich dabei um eine verdichtete Bundeswaldinventur mit einem 2x2-km-Raster, die nach den Grundsätzen der Bundeswaldinventur ausgewertet wird. Mit den Daten der Landeswaldinventur sind ab 2016 vertiefende Auswertungen möglich.

49 Es ist damit zu rechnen, dass zukünftig einfachere und kostengünstigere Aufnahmeverfahren auch Zwischeninventuren ermöglichen.

ordnung des nordrhein-westfälischen Waldspeichers dienen kann. Die anstehende Landeswaldinventur in NRW soll hier zur Verbesserung der Datenlage führen.

### 5.3 Bestimmung der Veränderung des Holzproduktespeichers und Abschätzung der Größe des aktuellen Holzproduktespeichers

Für die Bewertung der (zukünftigen) Klimaschutzleistung ist in erster Linie nicht die absolute Höhe des Holzspeichers entscheidend, sondern die Veränderung des Speichers. Das heißt, es ist entscheidend, ob mehr Holzprodukte in Verwendung gebracht werden als aus der Verwendung ausscheiden. Im Folgenden wird daher in erster Linie die Veränderung des Holzspeichers bzw. Holzproduktespeichers bestimmt.

Es wird unterschieden zwischen dem Holzspeicher des in NRW eingesetzten Holzes (also Holz, das sich physisch in den Landesgrenzen Nordrhein-Westfalens befindet, auch wenn die Holzprodukte außerhalb Nordrhein-Westfalens produziert und nach NRW importiert wurden) und dem Holz, das aus nordrhein-westfälischen Wäldern stammt. Wird Holz nach Nordrhein-Westfalen importiert (egal ob über den Außenhandel oder im Handel mit anderen Bundesländern), wird unterstellt, dass das Holz aus nachhaltiger Bewirtschaftung stammt. Für das Holz aus nordrhein-westfälischen Wäldern wird angenommen, dass es bei der Verwendung außerhalb Nordrhein-Westfalens der gleichen Verwendung unterliegt wie bei einem Einsatz innerhalb der Landesgrenzen.

Im Gegensatz zu einem heute noch wachsenden Holzspeicher wird der Speicher für Produkte mit kurzer Lebensdauer (Papier) als konstant betrachtet (vgl. weitgehend konstanten rechnerischen Verbrauch von Papierprodukten in Deutschland, in vdp 2012). Ebenso wird davon ausgegangen, dass sich der Speicher für Brennholz nicht verändert. Beide Speicher (Papier wie Brennholz) sind absolut klein gegenüber dem Speicher der anderen Holzprodukte (Bau, Möbel usw.).

Die Bestimmung der absoluten Speicherhöhe ist je nach verwendeter Methode schwieriger als die Bestimmung der Veränderung. Kann die Veränderung des Holzproduktespeichers über die Ableitung des In- und Outputs aus amtlichen Statistiken zum Teil noch bewertet und durch gutachterliche Bewertungen ergänzt werden, so ist dies für das Holz, das in früheren Zeiten (netto) in den Holzproduktespeicher „geflossen“ ist und sich dort noch befindet, nur mit großen Unsicherheiten möglich. Einige Studien zum Klimaschutz der Forst- und Holzwirtschaft betrachten diesen Aspekt, so auch Würdehoff et al. (2011: 30 ff.). Jedoch sind die jeweils getroffenen Annahmen mit relativ großer Unsicherheit behaftet. Die Studie trifft in den folgenden Kapiteln 5.3.1 und 5.3.2 auch eine Aussage über die absolute Größe des aktuellen Holzspeichers.

**Bewertung der Veränderung des Holzspeichers relevant**

**Holzspeicher des in NRW eingesetzten Holzes und Holzspeicher auf Basis des Holzes aus nordrhein-westfälischen Wäldern**

**Papier- und Energieholzspeicher wird als konstant angenommen**

**Bestimmung der absoluten Speicherhöhe schwierig und mit Unsicherheit behaftet**

### 5.3.1 Holzproduktespeicher für in NRW verwendete Holzprodukte

#### **Basis Stoffstrommodell Mantau/Bilitewski (2010) mit Modifikation**

Der Holzproduktespeicher für das in NRW eingesetzte Holz wird auf der Basis des Stoffstrommodells von Mantau und Bilitewski für das Jahr 2007 bestimmt (Mantau/Bilitewski 2010). Dabei wird das Stoffstrommodell von Mantau mit zwei Annahmen für diese Studie angepasst:

1. Der Verlust/Verschnitt bei der Herstellung von Fertigprodukten auf der Basis von Halbwarenprodukten wird nach Analyse der industriellen Prozesse der Holzverarbeitung gutachterlich mit 25 % festgelegt.<sup>50</sup>
2. Es wird davon ausgegangen, dass 50 % der Produkte, die als Fertigprodukte eingesetzt werden, zusätzlich im Holzspeicher verbleiben (Mantau/Bilitewski gehen von 71,5 % aus; ebd.: 13) und bei 50 % der Produkte ein (1:1) Ersatz stattfindet. Das heißt, der Holzspeicher wächst zurzeit mit 50 % der Menge, die als Fertigprodukte erstmalig zum Einsatz kommen.<sup>51</sup>

Die Untersuchungen von Mantau/Bilitewski (ebd.) lassen lediglich eine Aussage für Deutschland zu. Der Anteil Nordrhein-Westfalens wird auf Basis des Bevölkerungsanteils NRWs an der deutschen Gesamtbevölkerung (sowie weiteren Kennzahlen) abgeleitet (21,8 %).<sup>52</sup>

#### **Holzspeicher für das in Nordrhein-Westfalen eingesetzte Holz wächst um 3,3 Mio. t CO<sub>2</sub> (2007).**

Auf Basis dieser Überlegungen und der Zahlen von Mantau/Bilitewski (ebd.: 15) ergibt sich für Nordrhein-Westfalen ein Fertigprodukteinsatz von ca. 7,1 Mio. m<sup>3</sup> (1,78 Mio. t C) und damit eine Erhöhung des Holzspeichers um 0,89 Mio. t C (entspricht 3,3 Mio. t CO<sub>2</sub>).

#### **Abschätzung der absoluten Höhe des nordrhein-westfälischen Holzproduktespeichers: 5 t C/Einwohner entsprechen ca. 90 Mio. t C (330 Mio. t CO<sub>2</sub>)**

Die hier vorgestellte Methode hilft auch dabei, die absolute Höhe des Holzproduktespeichers in NRW grob (!) abzuschätzen. Frühwald et al. (1994) haben die absolute Höhe des Holzspeichers pro Einwohner mit 4 t C bestimmt. In der Berechnung oben wurde für NRW ein Speicherzuwachs von ca. 0,89 Mio. t C bestimmt, pro Einwohner entspricht dies ca. 0,05 t C. Geht man davon aus, dass sich seit der Betrachtung von Frühwald et al. der nordrhein-westfälische Holzproduktespeicher in jedem Jahr um

50 Der so ermittelte Wert für die Reststoffe liegt damit etwas höher als bei Mantau/Bilitewski (ebd.: 15) angenommen.

51 Aufgrund von Plausibilitätsberechnungen wird davon ausgegangen, dass das von Mantau vorgeschlagene Input-Output-Modell mit der Outputmessung über die Abfallstatistik den Verbleib im Holzspeicher überschätzt. Der alternative Vorschlag, der in dieser Studie verwendet wird, ist eine gutachterliche Schätzung auf Basis einer Betrachtung des Austauschs wichtiger Produktgruppen. Rüter geht in einer gutachterlichen Schätzung davon aus, dass lediglich 70 % der Altholzmenge in der Abfallstatistik erfasst sind (Rüter 2011a: 18), und stützt damit die Überlegung, dass das von Mantau vorgeschlagene Input-Output-Modell mit einem gutachterlich bestimmten Abschlag modifiziert werden sollte.

52 Neben der Einwohnerzahl wurden auch andere nordrhein-westfälische Kennzahlen mit dem bundesdeutschen Durchschnitt verglichen (BIP, Anzahl der Haushalte, Wohnfläche, Baugenehmigungen). Insgesamt kann man für die Holzverwendung das Fazit ziehen, dass die Basiszahlen NRWs dem bundesdeutschen Durchschnitt entsprechen und es daher statthaft ist, dass die Bevölkerungszahl als relativer Maßstab dient. Lediglich die Zahl der Einfamilienhäuser ist in NRW etwas geringer, als es dem Bevölkerungsanteil NRWs entspräche (Riemhofer 2012). Neben der Herangehensweise über den Vergleich der Kennzahlen ließ sich die Plausibilität der getroffenen Annahme über einen Vergleich der Abfallstatistik bestätigen. Auch wenn die Altholzmenge in dieser Studie nicht als alleiniger Maßstab für den Output aus dem Holzspeicher betrachtet wird, so ist die Altholzmenge doch ein Indikator für die Verwendung von Holzprodukten (und ihre Beseitigung) und stellt damit eine Möglichkeit dar, Zahlen eines Bundeslandes näherungsweise mit den Zahlen des Bundes zu vergleichen.



0,05 t C/Einwohner erhöht hat, so ergibt dies eine Erhöhung des Holzspeichers um 1,0 t C/Einwohner in 20 Jahren. Damit ergibt sich in Fortschreibung der Zahlen von Frühwald et al. ein absoluter Wert von aktuell ca. 5 t C/Einwohner in Nordrhein-Westfalen, also insgesamt 90 Mio. t C für Nordrhein-Westfalen. Dies entspricht ca. 330 Mio. t CO<sub>2</sub>.

Waldspeicher (vgl. Kapitel 5.2) und Holzspeicher in NRW binden zusammen mehr ca. 255 Mio. t C (Wald 165 Mio. t C, Holzprodukte 90 Mio. t C; entspricht zusammen ca. 935 Mio. t CO<sub>2</sub>). Dies entspricht ca. dem 3-Fachen der aktuellen jährlichen nordrhein-westfälischen Treibhausgasemissionen.<sup>53</sup>

**In Wald- und Holzspeicher in NRW sind ca. 255 Mio. t C (ohne C Boden) gebunden (entspricht ca. 935 Mio. t CO<sub>2</sub>)**

### 5.3.2 Holzproduktespeicher für Produkte aus Holz nordrhein-westfälischer Wälder

Die Bestimmung des Holzproduktespeichers für Produkte aus Holz nordrhein-westfälischer Wälder erfolgt nach der von Wördehoff et al. (2011: 32 ff.) in der niedersächsischen Kohlenstoffstudie beschriebenen und angewandten Methode. Vom Ansatz entspricht sie dem, was in den internationalen Klimaverhandlungen vorgeschlagen und von Rüter (2011a) vorgestellt wurde. Bei dieser Methode wird davon ausgegangen, dass sich das Ausscheiden von Holzprodukten aus dem Produktspeicher durch eine mathematische Funktion (exponentieller Abbau) beschreiben lässt:

$$t_i = -(\ln(1 - \frac{i}{100}))/k$$

k: Zersetzungskonstante in Abhängigkeit von der Lebensdauer der Holzprodukte  
t: Lebensdauer; entnommen Wördehoff et al. (2011: 32)

Den vier Holzprodukteklassen „Produkte mit langer, mittlerer und kurzer Lebensdauer“ bzw. „Energieholz“ (siehe oben) werden individuell Zersetzungskonstanten (k) zugeordnet, die die unterschiedliche Dauer des Verbleibs im Holzspeicher berücksichtigen (Anhang 2, Kapitel 13.1).

Dieses Verfahren ist ein Modell zur Beschreibung der realen Vorgänge. Es versucht, komplexe Entscheidungen (auch von Konsumenten) in einer mathematischen Funktion vereinfachend und idealisiert zu fassen. Das Modell fokussiert allein auf den Input als entscheidenden Faktor für die Entwicklung des Holzspeichers. Damit ist dieses Verfahren natürlich mit Schwächen behaftet;<sup>54</sup> jedoch stellt es zurzeit die beste Möglichkeit dar, die Entwicklung des Holzspeichers zu erfassen. Die Methode hat insbesondere drei große Vorteile:

**Berechnung des Holzproduktespeichers gemäß der international vorgeschlagenen Methode**

53 Laut THG-Inventar ca. 314 Mio. t CO<sub>2</sub>-äq (2010).

54 Die Herangehensweise ist idealisiert. Die Zuordnung auf Basis der Primärprodukte (Schnittholz als Basis für langlebige Holzprodukte und Holzwerkstoffe als Basis für Holzprodukte mit einer mittleren Lebensdauer) ordnet nicht immer passend zu: Holz, das für Verpackung, Gartenholz verwandt wird, wird in seiner Lebensdauer überschätzt, andere Sortimente wie Holzwerkstoffe, die langfristig in Baukonstruktionen verwendet werden, werden in ihrer Lebensdauer unterschätzt.

- Sie ist (international) anerkannt (UNFCCC)
- Sie führt zu keiner Überschätzung des Holzspeichers,
- sie ist praktikabel, weil sie auf der (leicht) erfassbaren Größe des Inputs basiert.

Diese Methode hat aber auch Nachteile: Sie berücksichtigt keine regionalen oder nationalen Besonderheiten in der Holzverwendung. Zugleich ist es durchaus möglich, dass die Größe des Holzproduktespeichers unterschätzt wird. Daher sollte in einer vertiefenden Studie geprüft werden, ob sich diese Methode zukünftig verbessern und auf die nordrhein-westfälischen Verhältnisse anpassen lässt (z. B. auf Basis von Daten aus der CO<sub>2</sub>-Bank des Landesbeirats Holz NRW).

### Bestimmung des Holzspeichers heute über die Auswertung der Holzeinschlagstatistik von 1951–2010

Bei Anwendung dieser Methode ist es notwendig, dass nicht nur der Speicher heute bestimmt wird, sondern es ist notwendig, dass der gesamte (historische) Input in den Holzspeicher bestimmt wird. Dazu wurden alle verfügbaren amtlichen Holzeinschlagstatistiken ausgewertet. IT NRW konnte Statistiken zurück bis 1951 zur Verfügung stellen.<sup>55</sup> Die Sortimente der Holzeinschlagstatistik wurden für den gesamten Zeitraum Verwendungen zugeordnet. Dabei werden langlebige Holzprodukte (45 % des Stammholzes) und Produkte mit mittlerer Lebensdauer (100 % des Industrieholzes<sup>56</sup>) unterschieden. Der Papier- und Brennholzspeicher wurde als konstant betrachtet. Diese gutachterliche Annahme erfolgte auf Basis einer Modifikation des heutigen Verwendungsschlüssels (s. o.).<sup>57</sup>

Der Holzspeicher im Jahr 1951 lässt sich nur mittels einer Schätzung herleiten. Für den Holzspeicher im Jahr 1951 wurde folgende Annahme getroffen: 6 Mio. t C.<sup>58</sup>

Es wurde angenommen, dass der Holzspeicher im Jahr 1951 einem Holzspeicher zum Zeitpunkt der Halbwertszeit  $t_{50}$  entspricht und sich lediglich langlebige Holzprodukte in ihm befinden. Das heißt, Basis ist ein Holzspeicher von ca. 12 Mio. t C. Das Basisjahr null ist 1914. Auf Grundlage dieser Annahme ist es möglich, das Ausscheiden der Produkte mittels der Gleichung (s. o.) zu bestimmen.<sup>59</sup> 2002 sind noch ca. 17 % vom ursprünglichen Wert im Speicher vorhanden, also 2,1 Mio. t C.

---

55 Für 1962–1964 sind keine Statistiken verfügbar. Daher wurden für diese Jahre die Einschlagswerte aus den Statistiken 1961 und 1965 linear interpoliert.

56 100 % des Industrieholzes sind eine rechnerische Größe, die sich dadurch ergibt, dass Reststoffe aus der Schnittholzerstellung für mittlere Produkte genutzt werden.

57 Diese Modifikation war notwendig, weil die heutige Technologie der Holzbearbeitung und -verarbeitung sich von der historisch seit 1951 eingesetzten Technologie unterscheidet (so führte z. B. die Spanertechnologie in der Schnittholzerstellung zu einem größeren Anfall von Hackschnitzeln als Industrierestholz).

58 Dieser Wert für den Holzspeicher 1951 sollte hergeleitet werden über die retrograde Fortschreibung des Einschlags/der Verwendung von 1951 bis 1961 (ca. 300.000 t C/Jahr) und eine mathematische Herleitung des Speichers mit dem 40-fachen Input (12 Mio. t C). Dieser Wert wird wegen WK II (Zerstörung, Nutzung des Holzes in Nachkriegszeit) auf 50 % reduziert (6 Mio. t C). Die Bedeutung des Holzspeichers im Jahr 1951 darf aber auch nicht überschätzt werden. Bei dem angenommenen Ausscheiden aus dem Holzspeicher (s. o.) würde ein doppelt so hoher Holzspeicher (also 12 statt 6 Mio. t C) zu einer Verringerung des ausgewiesenen Holzspeichers von ca. 13 % führen. Das kommt daher, dass absolut doppelt so viel Holz bzw. Kohlenstoff ausscheidet. Jedoch würde dieser niedrigere Wert im Holzspeicher zu ca. 58 % durch die energetische bzw. stoffliche Verwertung ausgeglichen, so dass sich ein insgesamt doppelt so hoher Holzspeicher 1951 lediglich mit einer Veränderung von heute 5 % (bezogen auf den im Holzspeicher ausgewiesenen Wert) bemerkbar machen würde.

59 Zerfallskurve ab dem 36. Jahr

Für die Bestimmung der heutigen Veränderung des Holzspeichers wird der Durchschnitt der Jahre 2002 bis 2010 betrachtet. Bei Berücksichtigung der historischen Verwendung ergibt sich für die Periode ein durchschnittlicher Speicheraufbau von ca. 300.000 t C pro Jahr (entspricht gerundet 1,1 Mio. t CO<sub>2</sub>).

Der auf diese Weise ermittelte Wert von 300.000 t C stützt die oben getroffene gutachterliche Annahme (vgl. Kapitel 5.3.1), dass man davon ausgehen kann, dass der Holzspeicher zurzeit mit 50 % bezogen auf den Input an Fertigprodukten wächst.<sup>60</sup>

Auf Grundlage der oben gezeigten Herleitungen wurde ein Holzspeicher von ca. 18 Mio. t C für 2010 berechnet. Dies entspräche einem Kohlenstoffspeicher von ca. 1 t pro Einwohner Nordrhein-Westfalens. Dieser niedrige Wert überrascht, haben doch schon Frühwald et al. 1994 – wie oben gezeigt wurde – für den Holzspeicher in Deutschland eine Größe von ca. 4 t C pro Einwohner errechnet. In Kapitel 5.3.1 wurde dieser Wert fortgeschrieben, so dass ein Wert von 5 t C pro Einwohner angesetzt wurde. Die Differenz von ca. 1 t pro Einwohner zu 5 t C pro Einwohner lässt sich zur Hälfte dadurch erklären, dass sich der aktuell ermittelte Wert nur auf die Stoffflüsse aus dem nordrhein-westfälischen Wald bezieht, so dass bei theoretischer Annahme eines für Deutschland an der Bevölkerungszahl vergleichbaren Holzaufkommens der Bezug auf Einwohner den 2,8-fachen Wert ergäbe. Es muss vermutet werden, dass die Differenz von 2,8 t C zu 5 t C pro Einwohner ihren Grund darin hat, dass die zur Berechnung verwendete Methode die Größe des Holzspeichers, wie oben schon erwähnt wurde, konservativ abschätzt, da die Größe des Holzspeichers nicht überschätzt werden soll. Die Differenz ist jedoch so groß, dass eine vertiefende Betrachtung gerechtfertigt ist (vgl. Vorschlag für eine vertiefende Studie in Kapitel 9).

**Holzspeicher für das in Nordrhein-Westfalen gewachsene Holz wächst um 1,1 Mio. t CO<sub>2</sub> (2002–2010).**

**Absoluter Holzproduktespeicher nach dieser Methode: 18 Mio. t C (2010)**

## 5.4 Bestimmung der Emissionsminderung durch Holzenergie (energetische Substitution)

Bei den Modellen zur Bestimmung der Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz in NRW (vgl. Tabelle 2) erfolgt die Bestimmung der Emissionsminderung aus der Holzverbrennung auf Basis des in Nordrhein-Westfalen energetisch verwerteten Holzes. Entscheidend ist dabei, welche Endenergiemenge, die bislang zur Verbrennung fossiler Brennstoffe eingesetzt wurde, zukünftig durch die Bereitstellung bzw. Umwandlung von Holz zur Energieherstellung zur Verfügung steht. Das heißt, Maßstab ist die Substitution fossiler Energieträger durch den nachwachsenden Energieträger Holz und die damit verbundene Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen aus fossilen Brennstoffen. Die Vermeidung von CO<sub>2</sub>-Emissionen durch

**Energetische Substitution = Vermeidung von CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe**

<sup>60</sup> In Kapitel 5.3.1 wurde für den Holzproduktespeicher ein Wert von 890.000 t C berechnet. Umgerechnet auf den Bevölkerungsanteil Nordrhein-Westfalens ergibt sich aus dem Wert von 300.000 t C ein Wert von ca. 800.000 t C. Dieser Wert liegt mit einer Abweichung von 10 % in der gleichen Größenordnung wie die 890.000 t C.

die Verbrennung fossiler Brennstoffe wird in der Diskussion in der Forst- und Holzwirtschaft vereinfachend als energetische Substitution bezeichnet.

**Holzverbrennung setzt CO<sub>2</sub> frei**

**CO<sub>2</sub>-Neutralität wird angenommen, weil das freigesetzte CO<sub>2</sub> zuvor aus der Atmosphäre durch Baumwachstum gebunden wurde**

Bei der Verbrennung von Holz entsteht durch den chemischen Vorgang der Oxydation von Kohlenstoff ebenso CO<sub>2</sub> wie bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe. Das Emissionsverhalten von Holz mit der Freisetzung von CO<sub>2</sub> unterscheidet sich also grundsätzlich nicht von dem fossiler Brennstoffe. Im Vergleich zum Einsatz von Erdgas wird bei der Verbrennung von Holz bei gleicher Energieausbeute mehr CO<sub>2</sub> freigesetzt. Der Unterschied: Holz wächst nach. Daher kann man vereinfachend unterstellen, dass bei der Verbrennung von Holz lediglich so viel CO<sub>2</sub> emittiert wird, wie beim Baumwachstum der Atmosphäre zuvor in einem absehbaren Zeitraum als CO<sub>2</sub> entzogen wurde. Vor dem Hintergrund dieser Überlegung und der Einbeziehung des Baumwachstums kann die energetische Verwertung von Holz (und auch anderer nachwachsender Energieträger) als CO<sub>2</sub>-neutral bezeichnet werden. Lediglich ein kleinerer (fossiler) Anteil an CO<sub>2</sub>-Emissionen wird für Waldbewirtschaftung, Aufbereitung, Transport etc. als so genannte Vorkettenleistung angenommen (s. u.).

**Im Kyoto-Prozess wird die Holzentnahme im Wald als sofortige CO<sub>2</sub>-Emission betrachtet – daher steht Holz emissionsfrei zur Verfügung**

Neben dieser naturwissenschaftlichen Betrachtung kann man die Verbrennung von Holz auch aus der Systematik des Kyoto-Prozesses heraus als CO<sub>2</sub>-neutral bezeichnen. Denn die Holzentnahme aus dem Ökosystem Wald wird als Vorratsabbau (bzw. Kohlenstoffabbau) bzw. geringerer Vorratsaufbau bewertet (vgl. Kapitel 6.1) und es wird (bislang) mit der Holzentnahme die sofortige Emission des im Baum gebundenen CO<sub>2</sub> angenommen. Das heißt, die später stattfindende Emission durch Holzverbrennung („chemische Emission“ oder auch biologischer Abbau) ist damit bilanziell schon als stattgefundene bzw. vorweggenommene Emission berücksichtigt und verbucht. Daher kann die Holzverbrennung vor dem Hintergrund der grundsätzlichen Systematik des Kyoto-Prozesses als CO<sub>2</sub>-neutral betrachtet werden.

**Vorketteneffekte reduzieren die energetische Substitutionsleistung durch Holz**

Der CO<sub>2</sub>-Neutralität von Holz wird in verfügbaren Ökobilanzdatenbanken (z. B. GEMIS) Rechnung getragen. Dort wird die Verbrennung von Holz grundsätzlich als CO<sub>2</sub>-neutral betrachtet und nur mit den CO<sub>2</sub>-Emissionen angesetzt, die in den Vorketten für Brennstoffaufbereitung und -transport u. ä. entstehen. Die zu berücksichtigenden CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für Holzheizungen aus den Vorketten machen im Schnitt weniger als ein Zehntel der Emissionen aus, die bei der Verbrennung von fossilen Energieträgern entstehen<sup>61</sup> (2010; GEMIS 4.7).

Die Vorketteneffekte werden in der nordrhein-westfälischen Berichterstattung seit 2009 berücksichtigt (IWR 2010: 69 f.).<sup>62</sup>

61 Die CO<sub>2</sub>-Emissionen liegen z. B. bei Scheitholzanlagen im Haushalt bei ca. 7 g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>Endenergie</sub> bzw. 17 g CO<sub>2</sub>äq/ kWh<sub>Endenergie</sub>, bei Pelletanlagen bei 21 g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>Endenergie</sub> bzw. 23 g CO<sub>2</sub>äq/ kWh<sub>Endenergie</sub> (2010; GEMIS 4.7).

62 Durch die erstmalige Berücksichtigung der Vorkette liegt die CO<sub>2</sub>-Minderung für erneuerbare Energie für 2009 in Nordrhein-Westfalen im Vergleich zum Wert, der sich aus der zuvor angewandten Methodik ergibt, um mehr als 1 Mio. t CO<sub>2</sub> niedriger (bei insgesamt ausgewiesenen 10,8 Mio. t CO<sub>2</sub> durch regenerative Energien; vgl. IWR 2010: 69 f.).

Grundlage für die Berücksichtigung der Vorketteneffekte ist ein Gutachten des Umweltbundesamtes (UBA 2009) und die damit insgesamt ausgelöste veränderte Berichterstattung zur Bewertung von Substitutionsleistungen von erneuerbaren Energien. Die erstmalig für 2007 festgelegten Substitutionsfaktoren (ebd.) wurden auf Basis eines Expertenworkshops im Sommer 2011 (UBA 2012a) im März 2012 fortgeschrieben und für das Jahr 2010 aktualisiert (UBA 2012b). Die Methodik des Umweltbundesamtes bildet im Weiteren auch die Grundlage zur Bestimmung der CO<sub>2</sub>-Minderung, die durch die energetische Verwertung von Holz in NRW (energetische Substitution) erfolgt.

Die Berichterstattungen zur Bedeutung der erneuerbaren Energien verwenden den Begriff der Biomasse<sup>63</sup>. Der Begriff Biomasse umfasst feste Biomasse, gasförmige Biomasse (Biogas) und biogene Treibstoffe. Für den Cluster ForstHolz ist die feste Biomasse relevant. Der Begriff feste Biomasse umfasst zwar überwiegend Holz bzw. sonstige Biomasse aus der Waldwirtschaft, aber zu einem kleinen Anteil auch andere Sortimente wie Landschaftspflegematerial bzw. Scheitholz aus der Gartenpflege. Damit ist der Begriff der festen Biomasse nicht deckungsgleich mit Holz bzw. Biomasse aus der Waldwirtschaft. Die in den Statistiken ausgewiesene Menge an fester Biomasse ist also höher als die Menge, die man dem Cluster ForstHolz in einer engen Betrachtung (die nur Lignocellulosen aus Waldbewirtschaftung einbezieht) zurechnen kann. Wie hoch ist diese Abweichung? Für 2008 errechnet Mantau (2009) bundesweit einen Anteil von Landschaftspflegematerial am Aufkommen für Energieholz von knapp 9 %. Mantau ging bis 2012 von einer weiteren zukünftigen Steigerung des Anfalls in diesem Sortiment aus. Er bezieht das Landschaftspflegematerial traditionell bei seinen Betrachtungen zu den Stoffströmen im Forst- und Holzbereich (z. B. Holzrohstoffbilanz) mit ein (ebd.) und verortet es damit implizit im Cluster ForstHolz.

Landschaftspflegematerial wird auch als Abfall gesammelt und erfasst und findet sich in den Energiebilanzen zum Teil als „biogener Anteil des Abfalls“ und wird als solcher in den Energiebilanzen auch nicht der festen Biomasse zugeordnet. Das heißt, nur ein Teil des Landschaftspflegematerials wird als „feste Biomasse“ statistisch verbucht. Es wird angenommen, dass dieser Anteil in etwa dem Altholz entspricht, das als biogener Abfall beseitigt wird und nicht als „feste Biomasse“ verbucht wird. Aus diesem Grunde wird im Folgenden die feste Biomasse als Bezugsgröße für die Beurteilung der Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz angenommen. Ein möglicher Fehler einer Überschätzung ist vorhanden, wird aber als gering beurteilt und muss wegen unzureichender Datenlage zur Bedeutung von Landschaftspflegematerial akzeptiert werden.<sup>64</sup>

**Die in Statistiken ausgewiesene „feste Biomasse“ wird in dieser Studie als Grundlage für die Beurteilung der energetischen Substitution im Cluster ForstHolz genommen**

63 Bis ca. 2003 war der Begriff „nachwachsende Rohstoffe“ in der Statistik verbreitet, vgl. LDS NRW 2003.

64 Angesichts einer prognostizierten zukünftig wachsenden Bedeutung des Landschaftspflegematerials (s. o.) wird empfohlen, bei zukünftigen Studien zum Rohstoffeinsatz zur Verbrennung fester Biomasse in Nordrhein-Westfalen dieses Sortiment entsprechend zu berücksichtigen.

### 5.4.1 Schwierigkeit der Differenzierung der energetischen Verwertung des Holzes in die Sortimente Brennholz und Energieholz aus Nutzholz (gemäß Variante A des Leitmodells I)

#### Differenzierung von Nutz- und Brennholz statistisch nicht möglich

Für das Leitmodell I „Was leisten nordrhein-westfälische Verbraucher/innen?“ ist die Differenzierung von Nutz- und Brennholz nicht eindeutig, sondern nur ersatzweise möglich. Die Daten zu Brennholz oder Energieholz werden statistisch nicht eindeutig erhoben, weil die Käufer/innen von (Roh-)Holz die Verwertung selbst bestimmen. Zwar wird in der Holzeinschlagsstatistik das Sortiment Brennholz ausgewiesen, doch ist davon auszugehen, dass dieses Sortiment unterschätzt wird (vgl. AGR 2012). Gleichzeitig werden Brennholzprodukte (z. B. insbesondere Pellets und Briketts) auch aus Waldholz hergestellt, das nicht als Brennholz klassifiziert wurde, sondern z. B. als Industrieholz.

Die energetische Verwertung aus Nutzholz erfolgt insbesondere auf Basis von zwei Holzsortimenten: Altholz, das am Ende der Einsatzdauer von Holz (End of Life) energetisch verwertet wird, und Industrierestholz, das während des Be- und Verarbeitungsprozesses von Holz als Kuppelprodukt anfällt. Industrierestholz (einschließlich Rinde) wird energetisch verwertet oder meist rindenfrei als Rohstoff in der Holzwerkstoff- und der Zellstoff-/Papierindustrie eingesetzt. Die energetische Verwertung erfolgt dabei über verschiedene Wege: z. B. direkte Nutzung insbesondere zur Wärmeerzeugung im eigenen Betrieb, Erzeugung von Strom (auch in KWK) und Einspeisung des Stroms in das öffentliche Stromnetz, Erzeugung von Energieholzprodukten wie Pellets oder direkten Verkauf an private Haushalte (ggf. auch über den Handel). Bei der Erzeugung von Kuppelprodukten ist es in der Holzwirtschaft und dabei insbesondere in der Sägeindustrie möglich, Hauptprodukte, z. B. Schnittholz, und Nebenprodukte, z. B. Hackschnitzel, zu differenzieren. Mit steigenden Energiepreisen kann sich die Entwicklung der Angleichung der Preise von Industrierestholz an die Preise des Hauptprodukts weiter fortsetzen. Damit entwickelt sich das ursprünglich als Nebenprodukt entstehende Energieholz immer mehr als eigenständiges, dem Nutzholz vergleichbares Sortiment. Ein Monitoring dazu ist über die Ausbeute von (Nadelholz-)Sägewerken einerseits und den Einsatz von Sägerestholz in der Platten-, Papier- und Zellstoffindustrie möglich. Damit ist für den Forst ein Instrument der Marktbeobachtung gegeben.

### 5.4.2 In NRW energetisch verwertetes Holz

#### Regelmäßige Berichterstattung zur Verwendung fester Biomasse in NRW in den Publikationen des MKULNV

Innerhalb der Energieberichterstattung Nordrhein-Westfalen hat NRW für 2010 Daten zur Energiebereitstellung aus Biomasse veröffentlicht (MKULNV 2011). Die Daten wurden in den beiden letzten Jahren durch das Internationale Wirtschaftsforum Regenerative Energien (IWR) in Münster aufbereitet und basieren auf umfangreicheren Studien des IWR „Zur Lage der Regenerativen Energiewirtschaft in NRW“ (z. B. IWR 2010).

Die Daten werden nach Strom- und Wärmeerzeugung differenziert dargestellt. Als Vergleich werden den Daten aus Nordrhein-Westfalen die Daten für Deutschland gegenübergestellt. Die Tabellen 7 und 8 sind der Publikation „Energie.Daten NRW 2011“ (MKULNV 2011) entnommen. Darin wird für NRW eine Stromerzeugung aus fester Biomasse von 1,4 TWh ausgewiesen. Damit beträgt der nordrhein-westfälische Anteil an der deutschen Stromerzeugung auf Basis von fester Biomasse 11,9 %.

**Stromerzeugung auf Basis fester Biomasse: 1,4 Mrd. kWh (2010)**

**Dies entspricht einem Anteil von 11,9 % des bundesweit erzeugten Stroms aus fester Biomasse**

Stromerzeugung regenerativ (TWh)

	2010		2009		2005	
	NRW	(Bund)	NRW	(Bund)	NRW	(Bund)
Windenergie	3,9	(37,8)	4,1	(38,6)	2,8	(27,2)
Biomasse	4,8	(33,4)	4,5	(30,3)	2,5	(14,0)
– feste Biomasse	1,4	(11,8)	1,3	(11,4)	0,7	(7,0)
– Biogas	1,2	(13,3)	0,9	(10,8)	0,3	(1,7)
– flüssige Biomasse	0,3	(1,8)	0,4	(2,0)	n.b.	(0,3)
– biogener Abfall	1,4	(4,7)	1,4	(4,4)	1,0	(3,0)
– Klärgas	0,3	(1,1)	0,3	(1,1)	0,2	(0,9)
– Deponiegas	0,2	(0,7)	0,2	(0,8)	0,3	(1,1)
Wasserkraft	0,6	(20,6)	0,5	(19,1)	0,5	(19,6)
Photovoltaik	1,2	(11,7)	0,7	(6,6)	0,1	(1,3)
Tiefengeothermie	–	(0,03)	–	(0,02)	–	(0,0)
<b>Gesamt Regenerativ</b>	<b>10,5</b>	<b>(103,5)</b>	<b>9,8</b>	<b>(94,6)</b>	<b>6,0</b>	<b>(62,1)</b>
Grubengas	0,8	(1,2)	0,9	(1,2)	1,1	(1,4) <sup>1</sup>
<b>Gesamt Klimaschutz</b>	<b>11,3</b>	<b>(104,7)</b>	<b>10,7</b>	<b>(95,8)</b>	<b>7,1</b>	<b>(63,5)</b>

Daten: BMU/Agee-Stat, BDEW, IT.NRW, GVSt, IWR

1 = nur Grubengasverstromung gemäß Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)

**Tabelle 7:** Stromerzeugung auf Basis regenerativer Energieträger (MKULNV 2011: 4) – NRW und Bundesrepublik Deutschland

Wärmeerzeugung auf Basis  
fester Biomasse: 5,6 Mrd. kWh  
(2010)

Dies entspricht einem Anteil von  
ca. 5,4 % der bundesweit erzeug-  
ten Wärme aus fester Biomasse

Wärmeerzeugung regenerativ (TWh)

	2010		2009		2005	
	NRW	(Bund)	NRW	(Bund)	NRW	(Bund)
<b>Biomasse</b>	8,6	(125,3)	8,1	(111,5)	3,9	(84,4)
– feste Biomasse	1,6	(n.b.)	1,6	(n.b.)	1,3	(n.b.)
– Einzelfeuerstätten	2,7	(n.b.)	2,7	(n.b.)	n.b.	(n.b.)
– Holzheizungen	1,3	(n.b.)	1,2	(n.b.)	0,5	(n.b.)
– Biogas	0,5	(7,6)	0,4	(6,5)	n.b.	(n.b.)
– flüssige Biomasse	n.b.	(4,1)	n.b.	(4,6)	n.b.	(3,6)
– biogener Abfall	2,4	(11,9)	2,2	(10,9)	2,1	(4,7)
– Klärgas	n.b.	(1,1)	n.b.	(1,1)	n.b.	(n.b.)
– Deponiegas	n.b.	(0,4)	n.b.	(0,4)	n.b.	(n.b.)
Solarthermie	0,5	(5,2)	0,4	(4,7)	0,2	(2,8)
oberflächennahe Geothermie	1,4	(5,3)	1,2	(4,6)	0,5	(2,2)
Tiefengeothermie	n.b.	(0,3)	n.b.	(0,3)	n.b.	(0,1)
<b>Gesamt Regenerativ</b>	<b>10,4</b>	<b>(136,1)</b>	<b>9,7</b>	<b>(121,2)</b>	<b>4,6</b>	<b>(89,5)</b>
Grubengas	0,1	(n.B.)	0,1	(n.b.)	0,2	(n.b.)
<b>Gesamt Klimaschutz</b>	<b>10,5</b>	<b>(136,1)</b>	<b>9,8</b>	<b>(121,2)</b>	<b>4,7</b>	<b>(89,5)</b>

Daten: BMU/Agee-Stat, IWR

**Tabelle 8:** Wärmeerzeugung auf Basis regenerativer Energieträger (MKULNV 2011: 4) – NRW und Bundesrepublik Deutschland

Tabelle 8 aggregiert für NRW eine Wärmeerzeugung von insgesamt 5,6 Mrd. kWh aus fester Biomasse. Dabei wird differenziert in feste Biomasse<sup>65</sup> (1,6 Mrd. kWh), Einzelfeuerstätten (2,7 Mrd. kWh) und Holzheizungen (1,3 Mrd. kWh).

Die Tabelle weist den Vergleichswert für Deutschland für die Sortimente der festen Biomasse nicht aus. Dieser Vergleichswert lässt sich jedoch einer aktuellen Publikation des Umweltbundesamtes (UBA 2012b: Anhang 4) entnehmen (Tabelle 9).

65 Der Begriff „feste Biomasse“ kann in diesem Zusammenhang irreführend sein. Denn auch in Einzelfeuerstätten und Holzheizungen wird feste Biomasse eingesetzt. Gemeint ist in der Tabelle feste Biomasse in Industrie und zur Energiegewinnung in H(K)W



Endenergiebereitstellung von Wärme auf Basis fester Biomasse 2010 (Dtl.)	Mrd. kWh
Brennholz-Einzelfeuerstätten	49.447
Scheitholz-Zentralheizung	17.373
Pellets	5.880
Feste Biomasse (Industrie)	23.916
Feste Biomasse H(K)W	6.744
<b>Summe</b>	<b>103.360</b> <sup>66</sup>
davon Summe Hausfeuerung	72.700
davon Summe Holzheizungen	23.253
davon Summe feste Biomasse (aus Kraftwerken) und in der Industrie	30.660

Tabelle 9: Endenergiebereitstellung von Wärme in Deutschland auf Basis fester Biomasse 2010 (UBA 2012b: Anhang 4)

#### ca. 2,7 Mio. t CO<sub>2</sub>-Reduktion durch energetische (statistisch erfasste) Verwertung fester Biomasse in NRW

Die in Nordrhein-Westfalen aus fester Biomasse erzeugte Wärmeenergie entspricht bei Berücksichtigung beider Erhebungen ca. 5,4 % des bundesweiten Wertes.

Die ausgewiesene Strom- und Wärmemenge (1,4 Mrd. kWh Strom- und 5,6 Mrd. kWh Wärmeerzeugung) lässt sich mittels der durch das UBA vorgegebenen Substitutionsfaktoren umrechnen (siehe oben; UBA 2012b): Als Substitutionsfaktor für die Stromgewinnung ist dort ein Wert von 778,38 g CO<sub>2</sub>äq/kWh<sub>el</sub> und 721,19 g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>el</sub> angegeben. Für die Gewinnung von Wärmeenergie werden unterschiedliche Substitutionsfaktoren in Abhängigkeit von der Verbrennungstechnologie angegeben – daraus lässt sich wegen des nicht detailliert vorliegenden Verwendungsschlüssels der Daten in Nordrhein-Westfalen lediglich ein durchschnittlicher Substitutionsfaktor von ca. 290 g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>Endenergie</sub> bzw. 300 g CO<sub>2</sub>äq/kWh<sub>Endenergie</sub> abschätzen. Auf dieser Basis lässt sich eine CO<sub>2</sub>-Minderung durch Substitution fossiler Energieträger durch feste Biomasse von ca. 2,7 Mio. t (bzw. ca. 2,8 Mio. t CO<sub>2</sub>äq) errechnen.

#### Die nordrhein-westfälische Berichterstattung unterschätzt bis 2010 die Bedeutung der festen Biomasse als Bioenergieträger

Die in Nordrhein-Westfalen veröffentlichten und in den Tabellen 7 und 8 dargestellten Daten unterschätzen nach Analyse und Vergleich mit den Bundesdaten die Bedeutung von fester Biomasse als Bioenergieträger in Nordrhein-Westfalen deutlich. Im Rahmen dieser Studie wurde versucht, die Gründe für diese Abweichung zu ermitteln. Ein Grund für die Abweichungen liegt darin, dass sich die Berichterstattung des Bundes auf Endenergie bezieht und die nordrhein-westfälischen Zahlen sich bislang auf Nutzenergie bezogen haben (Schlusemann 2012). In der Berichterstattung für das Jahr 2011, die vom IWR im November

66 Damit wurden die ursprünglich durch das BMU veröffentlichten Daten leicht nach oben korrigiert. Zunächst wurde eine Zahl von 100.578 Mrd. kWh veröffentlicht (vgl. FNR 2011).

2012 vorgelegt wurde,<sup>67</sup> werden für den Bereich der Wärmeerzeugung sowohl Nutz- als auch Endenergie angegeben (IWR 2012: 16). Die als Endenergie ausgewiesenen Werte liegen dabei in einer ähnlichen Größenordnung wie die in dieser Studie abgeschätzten Werte.

**Für die Zukunft: Konformität der Daten aus NRW mit den Daten des Bundes**

Mit der im November 2012 vom IWR vorgelegten Studie (ebd.) wird versucht, die Konformität zu den bundesweit berichteten Daten herzustellen. Dadurch wird die klimapolitische Leistung des Clusters ForstHolz in NRW im innerdeutschen Vergleich sachgerechter berücksichtigt. Die immer noch vorhandenen Abweichungen sind jedoch ein Beleg für die statistische Intransparenz bei der Erfassung von fester Biomasse zur Energieerzeugung und begründen die Notwendigkeit tief gehender Marktforschung über den Einsatz von Rohstoffmengen bei der Verwendung regenerativer Energien.

**Betrachtung Bezugsjahr 2010**

Die in diesem Kapitel betrachteten Zahlen beziehen sich auf 2010. Die in Bezug auf diese Daten noch nicht bestehende Konformität soll durch die folgenden Ausführungen hergestellt werden.

Die bislang für 2010 ausgewiesene Energieerzeugung aus fester Biomasse ist nicht in Einklang mit der sonstigen Datenlage. Dies gilt insbesondere für die Wärmeerzeugung (5,6 Mrd. kWh). Aber auch bei der Stromerzeugung ergibt sich eine Differenz.

So geht das Deutsche Biomasseforschungszentrum DBFZ davon aus, dass die aus Biomasse Strom erzeugenden Anlagen in NRW einen Anteil von ca. 15,2 % an der bundesweit insgesamt installierten Kapazität haben (DBFZ 2011: 12). Unterstellt man, dass die Stromerzeugung prozentual in etwa der installierten Leistung entspricht, so ist der nordrhein-westfälische Anteil an der Stromerzeugung von 11,9 % eher zu gering.

Für die in diesen Anlagen ausgekoppelte Wärmeenergie wird auch von einem Anteil von 15 % bezogen auf den Bundeswert ausgegangen. Auch der Hausbrand (sowohl in den älteren als auch in der aktuellen Studie von Mantau, 2012) hat einen höheren Anteil: Aktuell weist Mantau im Gebiet West = NRW einen Anteil von 8,5 % aus. Dieser Wert ist plausibel und entspricht auch in der Größenordnung den Werten aus anderen Studien (vgl. die Potenzialstudie Holzcluster Bergisches Land des Wald-Zentrums Münster; Hagemann 2010). Etwa 12 % der deutschen Pelletanlagen sind in NRW installiert (Biomasseatlas 2012). Das heißt, für alle Einzelverwendungen in der Wärmeerzeugung liegen die Werte höher als der bislang ausgewiesene Wert von 5,4 % (für Holzheizwerke und zentrale Scheitholzheizungen liegen keine für Nordrhein-Westfalen differenzierten Angaben vor).

---

67 Die Veröffentlichung der Studie des IWR (2012) liegt außerhalb des Bearbeitungszeitraums der hier veröffentlichten Studie.

Im Folgenden werden auf Basis der bundesweiten Daten zur Berichterstattung der erneuerbaren Energien (UBA 2012b) die Daten für Nordrhein-Westfalen genauer bestimmt und mit der bundesweit verwendeten Methodik in Einklang gebracht. Neben den Veröffentlichungen des UBA hilft bei der Berechnung und zur Plausibilitätsprüfung auch die „Energiebilanz und CO<sub>2</sub>-Bilanz in Nordrhein-Westfalen“. Sie wird jährlich vom Landesamt für Datenverarbeitung und Statistik (Information und Technik Nordrhein-Westfalen, Geschäftsbereich Statistik = IT NRW) im Auftrag des Ministeriums für Wirtschaft, Mittelstand und Energie erstellt. Die Erstellung erfolgt in Abstimmung mit allen Bundesländern (vgl. Länderarbeitskreis Energiebilanzen<sup>68</sup>). Im November 2011 wurde die Energiebilanz mit den Zahlen für 2009 vorgelegt (IT NRW 2011). Die Energiebilanz enthält eine Primärenergie- und Umwandlungsbilanz und macht zugleich eine Aussage über den Endenergieverbrauch der Verwendergruppen. Die Energiebilanz für 2010 liegt noch nicht vor; daher wird ersatzweise mit den Zahlen für 2009 gerechnet. Dabei wird von einem Anstieg der Verwendung von fester Biomasse von 2009 zu 2010 ausgegangen. Die Daten der Energiebilanz 2009 unterschätzen also eher die Bedeutung fester Biomasse zur Energiegewinnung 2010.

Das Umweltbundesamt veröffentlichte im März 2012 eine Endenergiebereitstellung von Strom auf Basis fester Biomasse von 11,2 Mrd. kWh. Die ursprünglich veröffentlichte Zahl von 11,8 Mrd. kWh (vgl. FNR 2011) wurde damit um ca. 5 % nach unten korrigiert. Das Deutsche Biomasseforschungszentrum DBFZ geht in seinem jährlich erscheinenden Monitoring davon aus, dass die aus Biomasse Strom erzeugenden Anlagen in NRW einen Anteil von ca. 15,2 % an der bundesweit insgesamt installierten Kapazität haben (DBFZ 2011: 12; s. o.). Auf Basis dieses Anteils von 15,2 % ergäbe sich eine Stromerzeugung (Endenergie) von 1,7 Mrd. kWh (vgl. ausgewiesene Energiemenge von 1,4 Mrd. kWh). Das DBFZ gibt jedoch für die bundesweite Stromerzeugung einen Wert von 8,3 Mrd. kWh an (ebd.: 19). Auf Basis dieser Annahme ergäbe sich lediglich ein Wert von 1,3 Mrd. kWh.

Die Stromerzeugung aus fester Biomasse ist verhältnismäßig einfach zu bestimmen. Durch die EEG-Förderung der 2010 bundesweit 1.236 Anlagen (davon 28 in Nordrhein-Westfalen; ebd.: 12) ist eine relativ hohe Transparenz gegeben. Daher ist es relativ einfach möglich, in einer vertiefenden Studie Primärdaten zu Energiebereitstellung und Rohstoffeinsatz zu ermitteln.

Der Wärmemarkt mit seinen vielen unterschiedlichen Verwendern in Haushalten, Gewerbe und Industrie ist hingegen deutlich intransparenter als die Stromerzeugung und kann nur mit einer gewissen statistischen Unsicherheit bestimmt werden. Für die einzelnen Verwendungen von fester Biomasse zur Wärmeerzeugung sollen im Folgenden die beiden Verwertungen „Hausbrand/Häusliche Feuerung“ und „Wärmebereitstellung in Heiz(kraft-)werken“ unterschieden werden.

**Analyse auf Basis der bundesweiten Zahlen des UBA und auf Basis der Energiebilanz von NRW**

**Auf Basis bundesweiter Zahlen errechnet sich eine Stromerzeugung auf Basis fester Biomasse von 1,7 Mrd. kWh (2010)**

**Stromerzeugung aus fester Biomasse relativ transparent – Wärmemarkt deutlich intransparenter**

**Bereitstellung von Wärmeenergie in Haushalten in NRW ca. 6,2 Mrd. kWh (2010)**

**Auf Basis aktueller Zahlen ergibt sich sogar ein Wert von fast 8 Mrd. kWh**

Hausbrand/Häusliche Feuerung: Das Umweltbundesamt weist für 2010 eine Endenergiegewinnung von 72,7 Mrd. kWh in Haushalten aus (vgl. Tabelle 9).<sup>69</sup> Die im Mai 2012 von Mantau vorgelegte Studie zum Holzeinsatz in Heizungen in Privathaushalten weist aus, dass 8,5 % des bundesweiten Einsatzes von Brennholz in Haushalten in Nordrhein-Westfalen stattfindet (Mantau 2012: 20). Das heißt, in Haushalten in Nordrhein-Westfalen stehen ca. 6,2 Mrd. kWh Wärmeenergie (Basis: Endenergie) zur Verfügung. Bei dieser Zahl wird lediglich der von Mantau angegebene Anteil für Nordrhein-Westfalen am bundesweiten Verbrauch berücksichtigt. Unberücksichtigt bleibt, dass Mantau eine Steigerung der Verbrauchsmengen in Haushalten von 26,3 Mio. Fm (2007) auf 33,9 Fm (2010) annimmt (ebd.: 10). Bezieht man diese Steigerung des Verbrauchs von fast 30 % mit ein, so ergäbe sich für Nordrhein-Westfalen sogar eine Wärmeenergie in Haushalten von ca. 8 Mrd. kWh. Dabei kann noch nicht abgeschätzt werden, ob der von Mantau für 2010 ermittelte Wert dauerhaft ist oder insbesondere in dem sehr kalten Winter 2010 seine Ursache hat.

**Intransparenz bei Bereitstellung von Wärmeenergie in Heiz(kraft)werken**

Die Bestimmung der Wärmebereitstellung in Heiz-(kraft)werken (von Versorgern wie auch in der Industrie) ist deutlich schwieriger. Es besteht insbesondere Unsicherheit darüber, ob die in der Holzwirtschaft eingesetzte Energie für die internen Prozesse korrekt erfasst wird.

**UPDATE  
Berechnung auf Basis der Publikation „Erneuerbare Energien in Zahlen“ (BMU 2012) – Stand: Juli 2012**

Das Bundesumweltministerium hat in der Publikation „Erneuerbare Energien in Zahlen“ zum Stand Juli 2012 neue Daten für den Erneuerbare-Energien-Sektor in Deutschland für 2011 veröffentlicht (BMU 2012: 14). Daneben wurden die Daten für 2010 korrigiert (ebd.). Auf Basis der korrigierten Daten für 2010 und der oben angegebenen Kennzahlen zum nordrhein-westfälischen Anteil an den bundesweiten Zahlen lässt sich folgende Bereitstellung an Wärmeenergie ableiten:

**Wärmebereitstellung  
12,3 Mrd. kWh (2010)**

- Biogene Festbrennstoffe Haushalte 79.435 GWh, Anteil NRW 8,5 % (s. o., Mantau 2012): 6,8 Mrd. kWh
- Biogene Festbrennstoffe Industrie 23.339 GWh, Anteil NRW 19,5 %<sup>70</sup>: 4,6 Mrd. kWh
- Biogene Festbrennstoffe (HW/HKW) 6.744 GWh, Anteil NRW 15,2 % (s. o.): 1,0 Mrd. kWh

**Wert mehr als doppelt so hoch wie bislang ausgewiesen**

In Summe ergibt sich auf Basis dieser Berechnung für 2010 für die Wärmebereitstellung aus fester Biomasse in Nordrhein-Westfalen ein Wert von 12,3 Mrd. kWh. Im Vergleich zu dem bislang ausgewiesenen Wert von 5,6 Mrd. kWh ist dieser Wert mehr als doppelt so hoch.<sup>71</sup> Legt man die vom IWR 2011 verwendete Me-

69 Es wird unterstellt, dass die Pelletanlagen – sie machen insgesamt nur ca. 8 % des Wertes aus – in Haushalten betrieben werden. Für das ausgewiesene Gesamtergebnis ist diese Zuordnung irrelevant.

70 Da die Zahlen der nordrhein-westfälischen Energiebilanz für 2010 noch nicht vorliegen, wird die Verhältniszahl für 2009 aus der nordrhein-westfälischen Energiebilanz gebildet (IT NRW 2011) und der Energiebilanz (Satellitenbilanz) für Deutschland 2009 unter <http://www.ag-energiebilanzen.de>.

71 Plausibilitätsrechnung: Insgesamt liegt der Anteil NRWs bei der Wärmebereitstellung bei 11,3 % des bundesdeutschen Wertes. Diese Größenordnung wird wegen des relativ geringen Anteils an häuslicher Wärmebereitstellung als realistisch eingeschätzt. Auf die Einwohnerzahl Nordrhein-Westfalens bezogen ist der Energieholzverbrauch unterdurchschnittlich. Dies erklärt sich mit dem im Bundesdurchschnitt deutlich niedrigeren Brennholzeinsatz in privaten Haushalten.

thode mit der Differenzierung in Nutz- und Endenergie zugrunde (s. o.) und bezieht sie auf die 2010 ermittelten Werte, dann ergibt sich ein Wert von ca. 10,7 Mrd. kWh – und der liegt somit um ca. 12,3 Mrd. kWh niedriger als der in dieser Studie ermittelte und ausgewiesene Wert.

Das BMU (2012: 14) rechnet die Energieinhalte in CO<sub>2</sub>-Emissionen um (THG-Emissionen). Bei Einbeziehung der Korrekturfaktoren (bei Umrechnung von 2010 zu 2011) ergibt sich eine CO<sub>2</sub>-Minderung (= energetische Substitutionsleistung aus fester Biomasse) von 5,0 Mio. t CO<sub>2</sub> (3,7 Mio. t CO<sub>2</sub> Wärme und 1,3 Mio. t CO<sub>2</sub> Strom).<sup>72</sup>

Wegen der relativ großen Bedeutung der energetischen Substitution wird empfohlen, zukünftig in Nordrhein-Westfalen ein dauerhaftes Monitoring einzurichten, das alle Beteiligten (z. B. Haushalte, Anlagenbetreiber, Schornsteinfeger) laufend einbezieht. Dabei sollte auch der Verbleib des Altpapiers, das energetisch verwertet wird, genauer untersucht werden.

### 5.4.3 Energetische Verwertung des Holzes aus nordrhein-westfälischen Wäldern

Die Bestimmung der Emissionsreduktion durch die energetische Verwertung des Holzes aus NRW erfolgt auf Basis des Zeitraums 2002–2010. Die Analyse bezieht folgende „Brennholz-Sortimente“ ein:

- Das in der amtlichen Holzeinschlagsstatistik ausgewiesene Brennholz wird zu 100 % energetisch verwertet.
- Die Nebenprodukte, die bei der Holzbearbeitung und -verarbeitung anfallen und nicht stofflich genutzt werden, werden zu 100 % energetisch verwertet.
- Es wird angenommen, dass die Rinde (die Holzeinschlagsstatistik weist den Rohholzeinschlag ohne Rinde aus) zu 50 % energetisch verwendet wird.
- Es wird angenommen, dass das Industrieholz, welches in der Papierwirtschaft eingesetzt wird, am Ende des Papierlebenswegs zu 85 % energetisch verwertet wird (Kibat 2012). Wegen des konstanten Verbrauchs an Papier seit 2000 wird davon ausgegangen, dass die Verwertung ohne zeitliche Differenz stattfindet.
- Das aus dem Holzproduktespeicher ausscheidende Altholz wird zu 68 % energetisch genutzt.<sup>73</sup>

**Auf Basis der amtlichen Statistik lässt sich für das Holz aus NRW für den Zeitraum 2002–2010 eine durchschnittliche Emissionseinsparung durch Holzverbrennung von 2,0 Mio. t CO<sub>2</sub> ausweisen**

72 Für 2011 ergibt sich aus den Zahlen des BMU (ebd.) eine CO<sub>2</sub>-Minderung von 4,8 Mio. t. Eine Bewertung der Zahlen sollte erst erfolgen, wenn die endgültigen Zahlen vorliegen; bislang wurden die Zahlen der Berichterstattung immer korrigiert.

73 Es wird davon ausgegangen, dass 20 % des Altholzes stofflich verwertet werden (Spanplattenproduktion mit einer Ausbeute von 60 % – Rest: Energie) und 60 % energetisch verwertet werden (zuzüglich der 8 % aus dem Altholzeinsatz bei der Spanplattenproduktion und der Fertigprodukteherstellung), 20 % gehen im Gebrauch ungenutzt verloren (z. B. verrotten oder verbrennen ohne energetische Nutzung). Einem durchschnittlichen jährlichen Input in den Holzspeicher von ca. 650.000 t C steht ein Ansteigen des Speichers von ca. 300.000 t C gegenüber.

Zur Berechnung der Emissionsreduktion wird der in Kapitel 5.1.5 bestimmte Faktor  $SF_{EN}=0,67 \text{ t C/t C}$  angewandt. Auf Basis dieser Annahmen (die auf der amtlichen Einschlagsstatistik basieren) ergibt sich eine Emissionsreduktion von 2,0 Mio. t  $\text{CO}_2$  (entspricht ca. der Verbrennung von 3,3 Mio.  $\text{m}^3$  Holz).<sup>74</sup>

**Der nicht offiziell erfasste Holzeinschlag für Brennholz wird gutachterlich mit ca. 200.000 t C geschätzt (Emissionseinsparung 490.000 t  $\text{CO}_2$ )**

**Auf dieser Basis ergibt sich insgesamt eine energetische Substitution von ca. 2,5 Mio. t  $\text{CO}_2$**

**Der wachsende Holzspeicher führt durch die spätere energetische Nutzung zu einer potenziellen Emissionseinsparung von ca. 0,7 Mio. t  $\text{CO}_2$**

Neben der offiziellen Menge der Holzeinschlagsstatistik wird auf Basis von Expertenschätzungen davon ausgegangen, dass jährlich Holz mit einem Kohlenstoffgehalt von ca. 200.000 t C (700.000–800.000  $\text{m}^3$  Holz je nach Holzartenmix und holzartenspezifischer Rohdichte) aus den nordrhein-westfälischen Wäldern entnommen, nicht in der Holzeinschlagsstatistik ausgewiesen ist, und als Brennholz verwendet wird. Insgesamt ergibt sich so eine zusätzliche  $\text{CO}_2$ -Minderung von ca. 490.000 t  $\text{CO}_2$ , so dass sich insgesamt eine energetische Substitutionsleistung von 2,5 Mio. t  $\text{CO}_2$  ausweisen lässt.

Der Nettoüberschuss, der aktuell zu einem Ansteigen des Holzspeichers führt, steht (ebenso wie das in der Spanplattenindustrie in einem Recyclingdurchlauf genutzte Holz) zur späteren energetischen Verwertung zur Verfügung (ca. 350.000 t C). Geht man davon aus, dass das Holz im End of Life zu 80 % energetisch verwendet wird, lässt sich dem Holz noch eine zukünftige Substitutionsleistung von ca. 0,7 Mio. t  $\text{CO}_2$  zuweisen. Man könnte sie als potenzielle Substitution bezeichnen. Sie wird aber erst kontinuierlich in der Zukunft erbracht und als Wert in die Tabelle 11, die die Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz zusammenfasst, nicht übernommen.

## 5.5 Bestimmung der Emissionsminderung durch Materialsubstitution (stoffliche Substitution)

$SF_{MA} = 1,5 \text{ t C/t C}$

Differenziert nach Produktion:

$SF_{MA,Pr} = 1,3 \text{ t C/t C}$

und Entsorgung:

$SF_{MA,EoL} = 0,2 \text{ t C/t C}$

Entsprechend den Darstellungen und der Herleitung in Kapitel 5.1.6 wird für die Berechnungen ein Substitutionsfaktor für die stoffliche Substitution bzw. Materialsubstitution von  $SF_{MA}=1,5 \text{ t C/t C}$  angesetzt. Dabei wird (wie in Kapitel 5.1.6 ausgeführt) der Faktor  $SF_{MA,Pr}=1,3 \text{ t C/t C}$  für die Substitutionsleistung bei der Herstellung von Produkten und  $SF_{MA,EoL}=0,2$  für die Entsorgung angesetzt.

### 5.5.1 Materialsubstitution für in NRW verwendete Holzprodukte

Diese Berechnung basiert wie die Herleitung der Veränderung des Holzspeichers für in NRW eingesetztes Holz (vgl. Kapitel 5.3.1) auf der Studie von Mantau und Bilitewski (2010) und arbeitet mit den dort genannten Kennzahlen bezüglich der Umrech-

<sup>74</sup> Diese Menge Holz gibt nicht an, wie viel Holz aus NRW direkt energetisch verwertet wird, sondern bezieht auch die energetische Verwertung von Altpapier (auf Basis nordrhein-westfälischen Holzes), Altholz (nordrhein-westfälisches Holz, das früher eingesetzt wurde) und Rinde mit ein. Würde man nur das Holz betrachten, das erstmalig (als Brennholz oder Restholz als Nebenprodukt der Produktion) eingesetzt wird, so läge der Energieholzanteil bei ca. einem Drittel.

nung auf Nordrhein-Westfalen. Im Gegensatz zum Holzproduktespeicher, der auch importierte Produkte miteinbezieht, wird an dieser Stelle nur die Produktion der Fertigprodukte betrachtet.<sup>75</sup> Die durch die nordrhein-westfälische Holzverwendung ausgelöste stoffliche Substitution wird auf Basis einer (NRW-anteiligen) Fertigwarenproduktion von 7,1 Mio. m<sup>3</sup> (1,78 Mio. t C) ermittelt.<sup>76</sup> Bezogen auf den  $SF_{MA\_Pr} = 1,3 \text{ t C/t C}$  ergibt sich so eine stoffliche Substitutionsleistung von 8,5 Mio. t CO<sub>2</sub>.

Neben der stofflichen Substitution  $SF_{MA\_Pr}$ , die sich auf die Herstellung von Fertigprodukten bezieht, ist auch noch die stoffliche Produktion der Entsorgung zu berücksichtigen ( $SF_{MA\_EoL}$ ). Basis für diese Überlegung ist die Substitutionsleistung der aus dem Holzproduktespeicher ausscheidenden Holzprodukte (0,89 t C, vgl. Kapitel 5.3.1). Bewertet mit dem Faktor 0,2 t C/t C, ergibt sich so eine weitere stoffliche Substitution von ca. 0,6 Mio. t CO<sub>2</sub>. Das heißt, insgesamt ergibt sich eine Substitutionsleistung für die Materialsubstitution von 9,1 Mio. t CO<sub>2</sub>.<sup>77</sup>

Zusätzlich zu dieser heute erbrachten Substitutionsleistung ist mit dem Anstieg des Holzproduktespeichers eine zukünftige potenzielle Substitutionsleistung von ca. 0,6 Mio. t CO<sub>2</sub> verbunden. Diese Substitutionsleistung wird in Zukunft erbracht, wenn die Holzprodukte aus dem Holzspeicher ausscheiden.<sup>78</sup>

**Die durch den nordrhein-westfälischen Holzverbrauch/Holzgebrauch ausgelöste stoffliche Substitution beträgt 9,1 Mio. t CO<sub>2</sub>**

**Potenzielle (zukünftige) Substitutionsleistung von 0,6 Mio. t CO<sub>2</sub>**

### 5.5.2 Materialsubstitution für in NRW be- und verarbeitetes Holz

Im Folgenden wird beschrieben, wie die stoffliche Substitution des in Nordrhein-Westfalen be- und verarbeiteten Holzes (siehe Leitmodell II) bewertet werden kann.

Ökobilanzen sind in der Lage, die ökologischen Aufwendungen zweier Produkte zu vergleichen. Haben diese Produkte die gleiche Funktion bzw. vergleichbare Gebrauchseigenschaften (gleiche funktionelle Einheit), lässt sich eine ökologische Vorteilhaftigkeit eines Produktes (z. B. in Bezug auf seine Treibhausgasemissionen) bestimmen. Diese lässt sich in einem Substitutionsfaktor ausdrücken, wie er in diesem Kapitel verwendet wird. Das heißt, eine Bewertung der Materialsubstitution kann wissenschaftlich exakt nur auf der Ebene von Endprodukten ermittelt werden. Denn in diesen Endprodukten sind zahlreiche Herstellungsstufen enthalten, so dass nur die Summe aller Stu-

**Energieeinsatz in der Holz- und Möbelindustrie als Basis für die Berechnung der Materialsubstitution**

75 Mantau und Bilitewski (ebd.: 15) weisen für 2007 eine Halbwarenproduktion von ca. 44,5 Mio. m<sup>3</sup> und eine Halbwarenversorgung von ca. 35,5 Mio. m<sup>3</sup> aus. Die Differenz begründet sich insbesondere im Außenhandelsaldo. Dies vereinfacht die Übertragung dieser Werte auf diese Studie, da in NRW die Holzverarbeitung (relativ zu Gesamtdeutschland) wesentlich bedeutender ist als die Holzbearbeitung.

76 Dabei werden die aus dem Ausland importierten Fertigwaren über den angegebenen Außenhandelsaldo von 3,545 Mio. m<sup>3</sup> ebenfalls berücksichtigt.

77 Wegen der Herleitung aus der Stoffstromanalyse von Mantau, der als Rohstoffbasis Gebrauchtholz mit einschließt, wird keine stoffliche Substitution für den Anteil angesetzt, der aus dem Holzspeicher ausscheidet und anschließend in der Spanplattenherstellung stofflich verwertet wird.

78 Der Grund für diese potenzielle Substitutionsleistung liegt darin, dass der Faktor für die stoffliche Substitution in Produktion und Entsorgung differenziert wurde. Diese Differenzierung erfasst zeitgenau die Substitutionsleistungen. In vielen (Holz-)Klimastudien wird lediglich ein Faktor verwendet und die gesamte Substitutionsleistung wird zum Zeitpunkt 1 erbracht.

fen als Maß der stofflichen Substitution ausgewiesen werden kann. Daher genügt es nicht, wenn man zur Berechnung die in Nordrhein-Westfalen hergestellten Endprodukte (laut Produktionsstatistik) betrachtet. Denn zahlreiche Produktionsstufen, die zur Erstellung der Endprodukte beitragen, sind außerhalb Nordrhein-Westfalens erbracht worden. Gleichzeitig tragen einzelne Prozessschritte der nordrhein-westfälischen Holzwirtschaft dazu bei, dass Endprodukte außerhalb Nordrhein-Westfalens hergestellt werden können.

Die Schweizer Studie „CO<sub>2</sub>-Effekte der Schweizer Wald- und Holzwirtschaft“ (Taverna et al. 2007) hat dieses Problem dadurch gelöst, dass die im Ausland und im Inland erbrachten Anteile durch die jeweils dort in den Produktionsschritten verursachten fossilen Emissionen ermittelt wurden. Auf dieser Basis wurde der Substitutionsfaktor anteilig dem Ausland und der Schweiz zugerechnet. Dieses Verfahren ist für Nordrhein-Westfalen nicht praktikabel, denn die nordrhein-westfälische Volkswirtschaft ist durch innerdeutsche Grenzen und einen innerdeutschen Warenverkehr statistisch nicht wie die in der Schweiz erfassbar und abgrenzbar. Daher muss hier eine andere Systematik angewandt werden. Jedoch kann der Ansatz von Taverna et al. (ebd.), die Substitutionsfaktoren auf Basis der fossilen Energieverbräuche zu splitten, auch auf Nordrhein-Westfalen übertragen werden. Es ist möglich, auf Basis der bundesdeutschen und nordrhein-westfälischen Energiebilanz den Energieverbrauch der nordrhein-westfälischen Holzwirtschaft und der gesamtdeutschen Holzwirtschaft zu bestimmen. Tabelle 10 zeigt den Energieeinsatz (GJ) für die drei wesentlichen Produktgruppen der Holzwirtschaft – Holzprodukte (WZ 16), Möbel (WZ 31) und Papier (WZ 17)<sup>79</sup> – für den Bund und Nordrhein-Westfalen.

---

<sup>79</sup> Der Energieverbrauch der Papierindustrie wird an dieser Stelle nur der Vollständigkeit halber aufgenommen. Er wird im Weiteren jedoch nicht berücksichtigt, weil davon ausgegangen wird, dass zu Papierprodukten keine Substitutionsprodukte existieren.



Energieeinsatz 2009 (GJ)	Bund	NRW	Anteil NRW
<b>Holzprodukte (WZ 16)</b>			
gesamt	77.631.356	16.379.000	21,1 %
nur fossil	28.262.479	4.683.000	16,6 %
Biomasse	49.368.877	11.696.000	23,7 %
davon fest	49.343.645		
<b>Möbel (WZ 31)</b>			
gesamt	11.231.739	4.184.000	37,3 %
nur fossil	7.808.971	2.829.000	36,2 %
Biomasse	3.422.768	1.355.000	39,6 %
davon fest	3.422.768		
<b>Holz- und Möbelindustrie (WZ 16 und WZ 31)</b>			
gesamt	88.863.095	20.563.000	23,1 %
nur fossil	36.071.450	7.512.000	20,8 %
Biomasse	52.791.645	13.051.000	24,7 %
davon fest	52.766.413		
<b>Papier (WZ 17)</b>			
gesamt	274.415.927	42.102.000	15,3 %
nur fossil	228.588.356	41.296.000	18,1 %
Biomasse	45.827.571	806.000	1,8 %
davon fest	31.200.542		
davon flüssig	13.535.476		
davon gasf.	1.091.553		

Tabelle 10: Energieeinsatz (GJ) in der Holzwirtschaft 2009 – Vergleich Bund–NRW

Für die Anwendung dieses Verfahrens müssen streng betrachtet folgende Bedingungen gelten:

1. Der Energieverbrauch ist statistisch richtig erfasst.
2. Der Energieverbrauch des Gewerbes (Tischlereien, Zimmereien/Holzbaubetriebe und Parkettleger) verhält sich anteilig wie der Energieverbrauch der Industrie.<sup>80</sup>
3. Die technologischen Strukturen der Unternehmen in Nordrhein-Westfalen und Deutschland decken sich hinsichtlich des Energieverbrauchs.

80 Der Energieverbrauch des Gewerbes wird statistisch nicht erfasst und kann nur abgeschätzt werden.

4. Die Produktionsstrukturen in der Holz- und Möbelindustrie sind vergleichbar, das heißt, sie umfassen ähnliche Produktionsschritte und Produkte.

Diese vier Bedingungen treffen jedoch nur zum Teil zu. Der stofflichen Substitution kommt eine sehr große Bedeutung bei der Beurteilung der Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz zu. Daher ist es notwendig, für die Fragestellung eine (wenn auch nur geschätzte) Lösung zu finden. Da die produktgruppenspezifischen Substitutionsfaktoren (vgl. Kapitel 5.1.6) von Holzprodukten für die Bauwirtschaft in der gleichen Größenordnung wie diejenigen der Möbelindustrie liegen, kann der methodische Ansatz für eine abschätzende Betrachtung gewählt werden. Dieser Ansatz erscheint momentan als der beste, um im Rahmen dieser Studie Aussagen über die stoffliche Substitutionsleistung der nordrhein-westfälischen Holzwirtschaft zu treffen.<sup>81</sup>

**Der Energieanteil der nordrhein-westfälischen Holz- und Möbelindustrie wird mit 22,1 % angesetzt**

Der Energieanteil der nordrhein-westfälischen Holz- und Möbelindustrie an der entsprechenden deutschen Industrie wird mit 22,1 % angesetzt. Dieser Wert wurde auf Basis der deutschen und nordrhein-westfälischen Energiebilanz für 2009<sup>82</sup> der nordrhein-westfälischen Industrie zugeordnet. Der Anteil der Energie der nordrhein-westfälischen Holz- und Möbelindustrie am bundesdeutschen Anteil beträgt 23,7 % (20,8 % Anteil fossiler Energie und 24,7 % Anteil Biomasse). Entsprechend dem unterschiedlichen Anteil an den CO<sub>2</sub>-Emissionen wurde der Anteil an fossiler Energie zum Anteil an Energie aus Biomasse vereinfachend im Verhältnis 1:2 unterstellt, so dass sich im Mittel der Wert von 22,1 % ergibt. Der so berechnete Anteil entspricht fast dem nordrhein-westfälischen Bevölkerungsanteil an der deutschen Gesamtbevölkerung (21,8 %).

**Mit dem in NRW be- und verarbeiteten Holz ist eine stoffliche Substitutionsleistung von ca. 7,9 Mio. t CO<sub>2</sub> verbunden**

Der Anteil des in NRW be- und verarbeiteten Holzes wird auf Basis der Fertigproduktherstellung nach Mantau/Bilitewski (2010: 15) berechnet (vgl. Modifikationen in Kapitel 5.3.1 und 5.5.1). Es wird eine relevante inländische Herstellung von Fertigprodukten von ca. 29 Mio. m<sup>3</sup> angenommen, so dass der NRW-Industrie eine Größenordnung von ca. 6,4 Mio. m<sup>3</sup> zugeordnet werden kann. Bei einem Substitutionsfaktor von  $SF_{MA-Pr}=1,3 \text{ t C/t C}$  ergibt sich eine stoffliche Substitution von 7,7 Mio. t CO<sub>2</sub>.

Die aus dem Holzproduktespeicher ausscheidenden Holzprodukte werden mit dem Substitutionsfaktor  $SF_{MA-EoL}=0,2$  bewertet (0,26 Mio. t CO<sub>2</sub>). Insgesamt ergibt sich daher eine stoffliche Substitutionsleistung von 7,9 Mio. t CO<sub>2</sub>.<sup>83</sup>

81 Die Möglichkeit, über die Produktionsmenge (Produktionsstatistik) bzw. die Produktionswerte (Produktions- bzw. Umsatzsteuerstatistik) einen nordrhein-westfälischen Anteil an der bundesdeutschen Produktion zu ermitteln, ist aus Sicht der Autoren weniger sachgerecht.

82 Die NRW-Bilanz für 2010 liegt noch nicht vor, ebenso ist die Bundesbilanz für 2010 wegen fehlender Ländermeldungen noch lückenhaft.

83 Das ebenfalls aus dem Holzspeicher ausscheidende im stofflichen Recycling genutzte Holz wird aus methodischen Gründen nicht berücksichtigt (vgl. Fußnote 77).

Zusätzlich zu dieser Substitutionsleistung kann eine potenzielle Substitutionsleistung von ca. 0,9 Mio. t CO<sub>2</sub> in Ansatz gebracht werden (ergibt sich aus dem Anteil der stofflichen Substitution für die Entsorgung). Diese Substitutionsleistung wird in Zukunft erbracht, wenn die Holzprodukte aus dem Holzspeicher ausscheiden.

**Potenzielle Substitutionsleistung von 0,9 Mio. t CO<sub>2</sub>**

### 5.5.3 Materialsubstitution für Produkte aus Holz nordrhein-westfälischer Wälder

Zur Bestimmung der Materialsubstitution für Holzprodukte für Holz aus nordrhein-westfälischen Wäldern wurden die Holzeinschlagsstatistiken von 2002 bis 2010 ausgewertet (vgl. Kapitel 5.1.2). Es wurden 2002–2010 durchschnittlich Fertigprodukte mit einem Kohlenstoffgehalt von ca. 650.000 t C aus dem Holz aus NRW hergestellt. Diese Fertigprodukte werden als Bezug genommen und mit dem Substitutionsfaktor  $SF_{MA,Pr}=1,3 \text{ t C/t C}$  multipliziert. Daneben scheiden ca. 50.000 t C aus dem Holzproduktepool aus, die stofflich genutzt werden (Herstellung von Spanplatten, s. o.) – Anwendung des  $SF_{MA,Pr}=1,3 \text{ t C/t C}$ . Insgesamt ergibt sich so eine Emissionsminderung durch stoffliche Substitution von ca. 3,3 Mio. t CO<sub>2</sub>.

**Für die stoffliche Substitution für Holz aus nordrhein-westfälischen Wäldern können 3,6 Mio. t CO<sub>2</sub> angesetzt werden**

Die aus dem Holzproduktespeicher ausscheidenden Holzprodukte werden mit dem Substitutionsfaktor  $SF_{MA,EoL}=0,2$  bewertet (0,26 Mio. t CO<sub>2</sub>). Insgesamt ergibt sich daher eine stoffliche Substitutionsleistung von 3,6 Mio. t CO<sub>2</sub>.

Zusätzlich zu dieser heute erbrachten Substitutionsleistung ist mit dem Anstieg des Holzproduktespeichers eine zukünftige potenzielle Substitutionsleistung von ca. 0,2 Mio. t CO<sub>2</sub> verbunden. Diese Substitutionsleistung wird in Zukunft erbracht, wenn die Holzprodukte aus dem Holzspeicher ausscheiden.

**Potenzielle (zukünftige) Substitutionsleistung von 0,2 Mio. t CO<sub>2</sub>**

## 5.6 Zusammenfassung: Heutige Klimaschutzleistung des Waldes und der Holzverwendung

Typen der Beurteilung von Klimaschutzleistungen	Bereich der Emissionsminderung/Speicher/Senke					
	Wald Klimaschutzleistung Wald – Senkenleistung des Waldes	Holzspeicher Klimaschutzleistung Holz – Senkenleistung des Holzspeichers	Energetische Substitution Emissionsminderung durch Holzenergie		Stoffliche Substitution Emissionsminderung durch Materialsubstitution/Holzverwendung	Summe
			aus Brennholz	aus Nutzholz		
[CO <sub>2</sub> ]	[CO <sub>2</sub> ]	[CO <sub>2</sub> ]	[CO <sub>2</sub> ]	[CO <sub>2</sub> ]		
<p>„Was leisten nordrhein-westfälischer Wald und nordrhein-westfälische Verbraucher/innen?“</p> <p><b>Leitmodell I: verbraucherorientiert CO<sub>2</sub>-Fußabdruck – klimaorientierter Holzeinsatz</b></p>	Wald NRW  (4,0 Mio. t)	Alle in NRW verwendeten Holzprodukte <sup>84</sup>  3,3 Mio. t	Alles in NRW energetisch verwertete Holz <sup>85</sup>  5,0 Mio. t	Alle in NRW verwendeten Holzprodukte <sup>84</sup>  9,1 Mio. t	21,4 Mio. t	
<p>„Was leisten Wald- und Holzwirtschaft in NRW?“</p> <p><b>Leitmodell II: (Post-)Kyotoorientiert</b></p>	Wald NRW  (4,0 Mio. t)	Produkte aus Holz nordrhein-westfälischer Wälder  1,1 Mio. t	Alles in NRW energetisch verwertete Holz <sup>85</sup>  5,0 Mio. t	In NRW be-/verarbeitetes Holz <sup>86</sup>  7,9 Mio. t	18,0 Mio. t	
<p>„Was leisten nordrhein-westfälischer Wald und daraus entnommenes Holz?“</p> <p><b>Leitmodell III: wertschöpfungsorientiert Basis des Simulationsmodells (Szenarien der potenziellen Waldentwicklung bis 2100)</b></p>	Wald NRW  (4,0 Mio. t)	Produkte aus Holz nordrhein-westfälischer Wälder  1,1 Mio. t	Energetische Verwertung des Holzes aus Wald NRW  (davon ca. 0,5 Mio. t nicht statistisch als Holzeinschlag erfasst)  2,5 Mio. t	Produkte aus Holz nordrhein-westfälischer Wälder  3,6 Mio. t	11,2 Mio. t	

Tabelle 11: Aktuelle Klimaschutzleistung des nordrhein-westfälischen Clusters ForstHolz (2002–2010, bzw. 2007, 2009, 2010)

84 2007, aktuelle Stoffstromanalyse (Mantau/Bilitewski 2010).

85 2010, u. a. aktuelle Analysen des DBFZ (2011, 2012), IWR (2010), BMU (2012).

86 2009, aktuelle Energiebilanzen für NRW (IT NRW 2011) und Deutschland (Destatis 2012).

Die Klimaschutzleistung von 21,4 Mio. t CO<sub>2</sub> für das Leitmodell I (vgl. Tab. 11) bedeutet, dass die (globalen) CO<sub>2</sub>-Emissionen um diesen Wert höher lägen, wenn der Wald in NRW und nordrhein-westfälische Verbraucher/innen keinen Beitrag zum Klimaschutz leisten würden. Der Carbon Footprint nordrhein-westfälischer Verbraucher/innen würde bei Nichtbewertung der Klimaschutzleistungen des Clusters ForstHolz um 21,4 Mio. t CO<sub>2</sub> steigen.<sup>87</sup> Geht man von einem Carbon Footprint nordrhein-westfälischer Verbraucher/innen von derzeit ca. 200 Mio. t CO<sub>2</sub><sup>88</sup> aus, dann hätte dies einen um 10,7 % höheren Carbon Footprint zur Folge.

Der für das Leitmodell II ermittelte Wert einer Klimaschutzleistung von jährlich 18,0 Mio. t CO<sub>2</sub> wird modellkonform nicht auf den Carbon Footprint, sondern auf die Treibhausgasemissionen des Landes Nordrhein-Westfalen von derzeit 314 Mio. t CO<sub>2</sub> (2010) bezogen.<sup>89</sup> Die Klimaschutzleistung von jährlich 18,0 Mio. t CO<sub>2</sub> ist demnach so zu interpretieren, dass die Gesamtemissionen Nordrhein-Westfalens um diesen Wert höher lägen, gäbe es keinen Beitrag der Forst- und Holzwirtschaft zum Klimaschutz. Bezogen auf die gesamten Treibhausgasemissionen Nordrhein-Westfalens 2010 wäre dies eine Erhöhung um 5,7 %.

Bleibt es beim Status quo der Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz (z. B. 18,0 Mio. t CO<sub>2</sub> für das Leitmodell II), wächst die Bedeutung des Clusters ForstHolz für den Klimaschutz als relative Größe von heute 5,7 % auf 6,6 % im Jahr 2020 und 8,7 % im Jahr 2030 (Bezug: Reduktionsziele nach dem Klimaschutzgesetz NRW).

**Ohne die Klimaschutzleistungen des Clusters ForstHolz ...**

**... läge der Carbon Footprint nordrhein-westfälischer Verbraucher/innen heute ca. 10,7 % höher**

**... lägen die CO<sub>2</sub>-Emissionen NRWs heute 5,7 % höher**

**Bei gleichbleibender Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz steigt deren relative Bedeutung von heute 5,7 auf 8,7 % im Jahr 2030**

---

87 Annahme: Die Klimaschutzleistungen des Clusters ForstHolz werden sachgerecht nach Leitmodell I im Carbon Footprint berücksichtigt.

88 An dieser Stelle ist weniger der absolute Wert wichtig, sondern wie die Klimaschutzleistung nach Leitmodell I zu interpretieren ist. Publikationen zum Carbon Footprint für NRW liegen nicht vor. Daher wird eine Abschätzung getroffen. Basis ist die Publikation des ifo-Instituts „Carbon Footprint“ (Aichele/Felbermayr 2011). Aichele/Felbermayr weisen für Deutschland einen Carbon Footprint von 878 Mio. t CO<sub>2</sub> aus (2007). Bei der Annahme, dass der Footprint nordrhein-westfälischer Verbraucher/innen im Bundesdurchschnitt liegt, ergibt sich für NRW ein Carbon Footprint von 192 Mio. t CO<sub>2</sub>. Konservativ wird von einem Wert von 200 Mio. t CO<sub>2</sub> ausgegangen. Bei dieser Annahme wird unterstellt, dass der Energiemix als bundeseinheitlich betrachtet wird.

89 Die Treibhausgasemissionen von Nordrhein-Westfalen liegen ca. 50 % höher als der Carbon Footprint. Dies liegt u. a. daran, dass Strom auf Basis fossiler Energieträger aus NRW (vor allem Braunkohle) auch in anderen Bundesländern verbraucht wird. Dies belastet die Treibhausgasbilanz von NRW und erweckt den fehlerhaften Eindruck, dass die Pro-Kopf-Emissionen der Bewohner Nordrhein-Westfalens besonders hoch sind. Vor diesem Hintergrund wäre es sinnvoll, dass klimapolitische Entscheidungen (auch die Maßnahmen des Klimaschutzplans) – wie hier für den Cluster ForstHolz vorgeschlagen – auch unter Einbeziehung des Carbon Footprints getroffen werden. Damit ist die in dieser Sektorstudie vorgeschlagene Methode auch für die Beurteilung der Klimaschutzleistung des Landes insgesamt eine Alternative.

## 6. Modellierung der zukünftigen Klimaschutzleistung des nordrhein-westfälischen Waldes und der Verwendung nordrhein-westfälischen Holzes

In diesem Kapitel werden auf Basis einer Modellierung mit verschiedenen waldbaulichen Szenarien mögliche Klimaschutzleistungen des Clusters ForstHolz bis 2100 dargestellt. Der Modellierungsansatz entspricht dem Leitmodell III (vgl. Kapitel 4.2).

### 6.1 Szenarien/Simulation der potenziellen Waldentwicklung Nordrhein-Westfalens bis 2100<sup>90</sup>

Prof. Dr. Michael Köhl<sup>91,92</sup>, Dr. Volker Mues, Konstantin Olschofsky<sup>93</sup>

#### 6.1.1 Szenarienanalyse

##### Szenarienanalyse und keine Prognose

Kapitel 6.1 widmet sich der Darstellung der potenziellen Waldentwicklung im Zeitraum von 2002 bis 2100. Hierbei werden auf der Basis vorhandener Daten für NRW mithilfe der Szenarienanalyse potenzielle zukünftige Entwicklungspfade aufgezeigt. Im Gegensatz zu Prognosemodellen versucht die Szenarienanalyse nicht, zukünftige Entwicklung abzubilden, sondern präsentiert verschiedene, alternative zukünftige Entwicklungen und deren Ergebnisse. Diese potenziellen Entwicklungspfade zeigen die Bandbreite zukünftiger Entwicklungen auf, innerhalb derer sich die tatsächliche Entwicklung wahrscheinlich bewegen wird. Im Gegensatz zu Prognosemodellen kann die Szenarienanalyse auch Wendepunkte in Entwicklungen einbeziehen, z. B. eine drastische Vorratsabsenkung, einen Verzicht auf Holznutzung oder eine Änderung der Bewirtschaftungsweise.

Die Modellierung des Waldwachstums in NRW basiert im Wesentlichen auf Daten zur Bundeswaldinventur und zu Einschlagsstatistiken, freigegeben durch den Landesbetrieb Wald und Holz, sowie auf Ertragstabellen für die Hauptbaumarten und den IPCC Good Practice Guidelines.

Bei der Interpretation der im Folgenden präsentierten Ergebnisse sind verschiedene Einschränkungen zu beachten:

- Die für die Studie zur Verfügung stehenden zeitlichen und finanziellen Ressourcen erforderten eine pragmatische Herangehensweise, die sich auf Durchschnittswerte und verallgemeinerte Bedingungen bezieht. Auf eine Betrachtung von

90 Arbeitspaket 2

91 Universität Hamburg, Weltforstwirtschaft, Hamburg

92 sfm consultants GmbH, Wentorf

93 Thünen-Institut für Weltforstwirtschaft, Hamburg

Zuwachseleistungen, Baumartenmischungen oder Erntemengen auf Ebene einzelner Bestände musste daher verzichtet werden. Die vorgestellten Ergebnisse geben daher die durchschnittlichen Verhältnisse auf Landesebene wieder.

- Die Beschreibung des Wachstumsverhaltens von Altbeständen in Bezug auf Zuwachs und Mortalität musste auf Basis von Publikationen und Expertenwissen erfolgen. Gleiches gilt für die Simulationen der Totholzspeicher. Die dargestellten Ergebnisse sind konservative Schätzungen.
- Aus der Menge möglicher Szenarien wurden vier Alternativen ausgewählt, die verschiedene zukünftige Handlungsoptionen abbilden. Diese Szenarien wurden für die gesamte Waldfläche und den gesamten Untersuchungszeitraum angewendet. Da unter realen Bedingungen die Waldbewirtschaftung nicht unter einer einheitlichen Handlungsoption erfolgen wird, wurde auch eine Mischung der Handlungsoptionen mit verschiedenen Gewichten simuliert. Die Anwendung der Handlungsoptionen für einen Zeitraum von 100 Jahren berücksichtigt keine Änderungen der Zielvorstellungen oder der politischen Rahmenbedingungen für die Waldbewirtschaftung.
- Der Einfluss zukünftiger Klima- und/oder Standortänderungen auf das Waldwachstum und das Bewirtschaftungsrisiko (z. B. Kalamitäten, Sturm, Trockenstress, Stickstoffeinträge) konnte nicht berücksichtigt werden.
- Für jeden Stichprobenpunkt der Bundeswaldinventur (BWI-Punkt) wurden die Bonitätsklassen abgeleitet und damit unterschiedliche Standortverhältnisse berücksichtigt.
- Die Nutzungsmengen beruhen auf einer rein waldwachstumskundlichen Betrachtungsweise und beinhalten keine Rückkopplung mit dem Holzmarkt (Preis- und Nachfrageentwicklung).
- Für die Simulationen wurde eine konstante Waldfläche angenommen. Neuwaldflächen oder Waldflächenverluste wurden ausgeschlossen.
- Die Flächenanteile der Baumarten blieben unverändert. Baumartenwechsel, z. B. zu Douglasie oder Küstentanne, oder eine Erhöhung des Laubholzanteils wurden nicht in die Modellierung einbezogen.
- Die oben genannten Einschränkungen waren notwendig, da für die Studie nur ein begrenzter Kosten- und Zeitrahmen zur Verfügung stand. Unter den gewählten Szenarien und den verallgemeinerten Waldwachstums- und Nutzungsbedingungen erlaubt die hier gezeigte Szenarienanalyse trotz der genannten Einschränkungen eine Beurteilung der potenziellen Waldentwicklung im Zeitraum von 2002 bis 2100. Die Analyse erhebt nicht den Anspruch einer möglichst genauen Prognose der zukünftigen Waldentwicklung in NRW, sondern zeigt das Potenzial der zukünftigen Klimaleistungen des Waldes in NRW für verschiedene Handlungsoptionen (Szenarien) auf.
- Die Bedeutung weiterer Treibhausgase ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , HFC, FKV) ist vernachlässigbar. In NRW kommen keine intensiven Stickstoffdüngungen<sup>94</sup> sowie großflächige, anaerobe Bodenprozesse vor, die aus Sümpfen oder Permafrostböden bekannt sind.

---

<sup>94</sup> In einer vertiefenden Studie ist zu klären, welche Folgen die Massentierhaltung im Münsterland mit erheblichen Stickstoffeinträgen in Bezug auf die Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz in NRW hat.

## 6.1.2 Kohlenstoffpools

### Kohlenstoffpools in Wäldern nach IPCC:

- (1) oberirdische Biomasse,
- (2) unterirdische Biomasse,
- (3) Totholz
- (4) Streu
- (5) organischer Bodenkohlenstoff

### C-Speicher in Böden wird als konstant angenommen

Nach GPG (IPCC Good Practice Guidance for Land Use, Land Use Change and Forestry, IPCC 2006) sind bei Wäldern die fünf Kohlenstoffpools (1) oberirdische Biomasse, (2) unterirdische Biomasse, (3) Totholz, (4) Streu und (5) organischer Bodenkohlenstoff zu berichten. Im Rahmen der Szenarienanalyse werden sowohl die lebende als auch die abgestorbene Biomasse jeweils getrennt nach ober- und unterirdischen Pools betrachtet.

Der C-Speicher in Böden neigt zu einem Equilibrium, d. h. zu zeitlich nahezu unverändertem C-Gehalt. Nach der IPCC-GPG<sup>95</sup> geht der Standardansatz davon aus, dass ein stabiler, räumlich ausgeglichener Kohlenstoffgehalt in Mineralböden vorliegt, sofern sich Waldtypen, Bewirtschaftungspraktiken und Störungsregime nicht ändern. Zwar gibt es eine bedingte Evidenz für den Einfluss von anthropogenen Aktivitäten auf organische Waldböden, die Datenlage und die Kenntnisse sind allerdings größtenteils spezifisch für einzelne Standorte und Waldtypen und können nicht verallgemeinert werden. Im Rahmen der Szenarienanalyse wird der Bodenspeicher nicht betrachtet, da die Unveränderlichkeit von Waldtypen, Bewirtschaftungspraktiken und Störungsregimen unterstellt wird und der Simulationszeitraum (2002–2100) für das Auftreten von bodenverändernden Prozessen zu kurz ist. Dieses Vorgehen ist konform mit der IPCC-GPG.

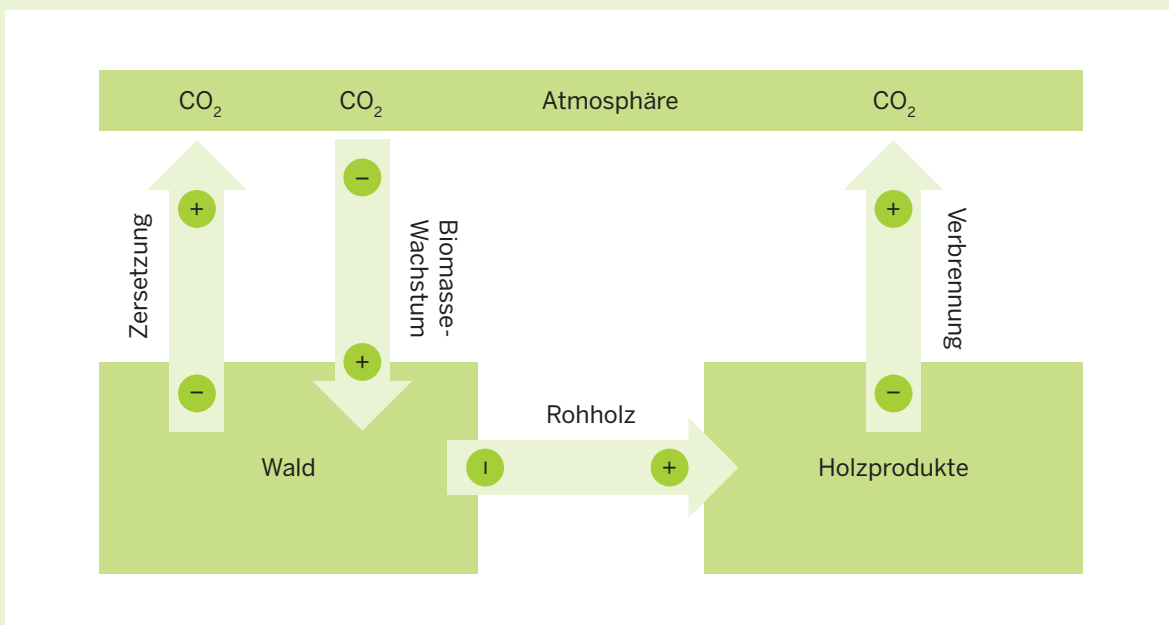


Abbildung 1: C-Flüsse Atmosphäre – Wald – Holzprodukte (Pfeile: C-Flüsse, Rechtecke: C-Speicher)



## 81 Modellierung der zukünftigen Klimaschutzleistung des nordrhein-westfälischen Waldes und der Verwendung nordrhein-westfälischen Holzes

Dieser Abschnitt stellt die verschiedenen C-Pools im Wald dar. Der Holzprodukteteil wird in Kapitel 6.2 behandelt. Schnittstelle zwischen Wald und Holzprodukten sind die produzierten Rohholzmengen, die durch die Szenarienanalyse bestimmt wurden (Abbildung 1).

Für die Beurteilung der Klimawirkungen von Wald und Holzprodukten ist die Unterscheidung von Kohlenstoffflüssen und Kohlenstoffspeichern entscheidend. Waldökosysteme speichern atmosphärisches CO<sub>2</sub> als C ober- und unterirdisch in den Speichern lebender und toter Biomasse. Durch Photosynthese und Biomassewachstum entsteht ein Kohlenstofffluss aus der Atmosphäre in den Wald, durch Zersetzung und Holzernte ein Abfluss von Kohlenstoff in die Atmosphäre bzw. in den Produktspeicher. Die Größe des Produktspeichers wird bestimmt durch den Zufluss von Kohlenstoff in Form von Rohholz und den Abfluss durch Verbrennung oder Zersetzung. Die Substitution von fossilen Energieträgern und emissionsintensiven Materialien durch Holzverwendung und die damit verbundene Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen werden bei der Bilanzierung der Kohlenstoffflüsse zwischen Atmosphäre, Wald und Holzprodukten nicht berücksichtigt. Eine einseitige Betrachtung der Größe des C-Speichers in Wald und Holzprodukten erfasst damit nur einen Teil der Klimawirkungen des Clusters Wald und Holz. So erbringt bei gleicher Speicherhöhe ein System mit geringem Holzzuwachs, geringer Holznutzung und geringer Holzverwendung deutlich geringere Klimawirkungen als ein System mit hoher Holznutzung, damit verbundener Wachstumssteigerung des verbleibenden Bestandes und intensiver Holzverwendung mit Kaskadennutzung (Abbildung 2). Im Gegensatz zu einem nicht genutzten Wald, bei dem sich Biomasseaufbau und Biomasseabbau die Waage halten, erbringt ein bewirtschafteter Wald langfristig eine Senkenleistung durch Holzzuwachs und Holznutzung.

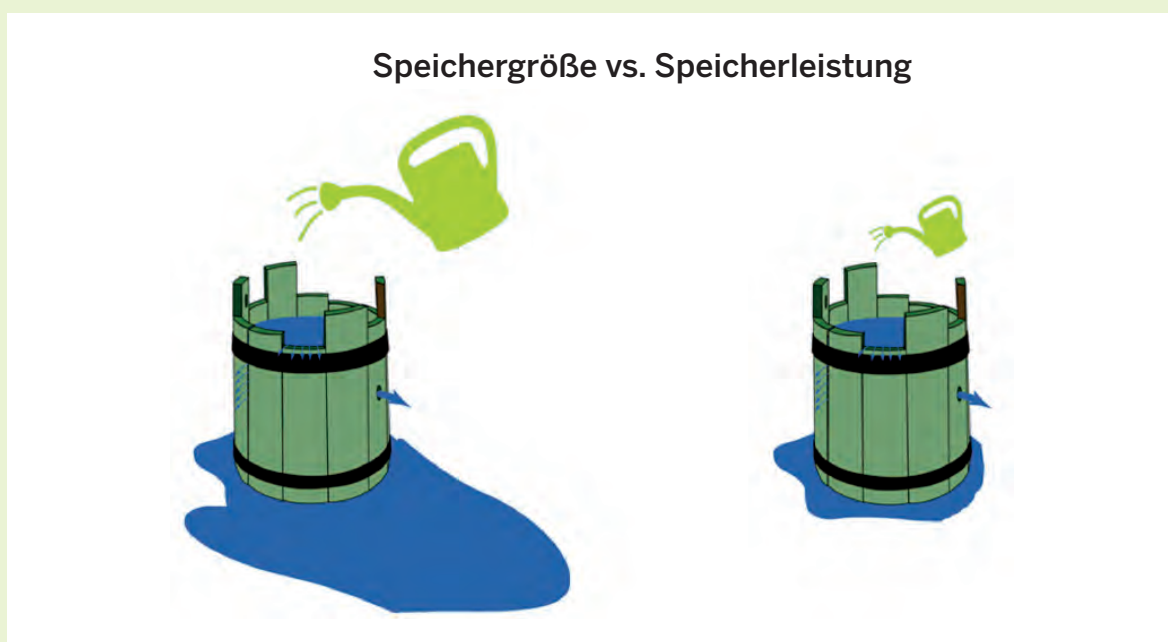


Abbildung 2: Speicherleistung und Speichergröße (bei gleicher Speichergröße erzielt das linke System eine höhere Speicherleistung)

### 6.1.3 Szenariendefinition

#### Grundscenarien

Die zukünftige Entwicklung der Nutzungsmengen, der Bestandsvorräte und der C-Speicher wird entscheidend durch die Wahl der Bewirtschaftungsverfahren beeinflusst. Für die Szenarioanalyse wurden zunächst drei verschiedene Bewirtschaftungsalternativen (sog. Grundscenarien) definiert, die mit den Kurzbezeichnungen „Massenoptimierer“, „Wertoptimierer“ und „Speicheroptimierer“ benannt wurden. Für jedes dieser Grundscenarien und ein Szenario „Ohne Nutzung“ wurde jeweils eine Simulation der Bestandsentwicklung für Gesamt-NRW durchgeführt. Die Definition der einzelnen Grundscenarien wird im folgenden Text erläutert und ist in Tabelle 12 zusammengefasst.

#### Massenoptimierer

Der „Massenoptimierer“ strebt die Produktion von möglichst viel Holzbiomasse an. Er erntet die Waldbestände daher im Alter des maximalen durchschnittlichen Gesamtzuwachses ( $DGZ_{max}$ ). In diesem Alter wird die im Mittel höchste Produktionsleistung, berechnet als Summe aus Vorrat und allen bis dahin erfolgten Nutzungen, erreicht. Zehn Prozent des Einschlags werden als Totholz im Wald belassen. Der Zielbestockungsgrad beträgt 1,0, wodurch eine der Ertragstafel gemäße Bestandsentwicklung angenommen wird. Eine Zielstärke für die Nutzung wird nicht festgelegt. Bei diesem Szenarium wurde angenommen, dass jedes Jahr Vornutzungen analog zur Ertragstafel erfolgen. Der Bewirtschaftungstyp „Massenoptimierer“ ist als Extremvariante mit maximaler Holzproduktion zu sehen.

#### Wertoptimierer

Der Bewirtschaftungstyp „Wertoptimierer“ erntet Laubhölzer 40 Jahre, Nadelhölzer 20 Jahre nach Erreichen des  $DGZ_{max}$  oder, bei früherem Eintreten, bei Erreichen der Zielstärke ( $d_{1.3}$ ), die im Nadelholz 40 cm und im Laubholz 50 cm beträgt. Vornutzungen gemäß Ertragstafel erfolgen jährlich. Zwanzig Prozent des Einschlags verbleiben als Totholz im Wald. Der Zielbestockungsgrad beträgt 1,0. Der Bewirtschaftungstyp „Wertoptimierer“ handelt gemäß einer langfristig auf Starkholz mit Wertzuwachs ausgerichteten Strategie.

#### Speicheroptimierer

Der Bewirtschaftungstyp „Speicheroptimierer“ zielt auf durchschnittlich vorratsreiche Bestände. Der Zieldurchmesser für eine Zielstärkenutzung beträgt 60 cm, die Bestände werden spätestens 50 Jahre nach Erreichen des  $DGZ_{max}$  geerntet. Vornutzungen gemäß Ertragstafel erfolgen jährlich. Vierzig Prozent des Einschlags verbleiben als Totholz im Wald. Der Zielbestockungsgrad beträgt 1,0. Der Bewirtschaftungstyp „Speicheroptimierer“ strebt eine Holznutzung bei gleichzeitig hohem Waldspeicher in Form von lebender und toter Biomasse an.

## 83 Modellierung der zukünftigen Klimaschutzleistung des nordrhein-westfälischen Waldes und der Verwendung nordrhein-westfälischen Holzes

Nutzungstyp	Mindestalter für Nutzung [Jahre nach DGZ <sub>max</sub> ]		Totholzanteil/Ernteverluste [%]	Zielstärke d <sub>1,3</sub> [cm]		Zielbestockungsgrad
	Laubholz	Nadelholz		Laubholz	Nadelholz	
Massenoptimierer	0	0	10	–	–	1,0
Wertoptimierer	40	20	20	50	40	1,0
Speicheroptimierer	50	50	40	60	60	1,0

Tabelle 12: Übersicht zur Definition der Grundszenarien

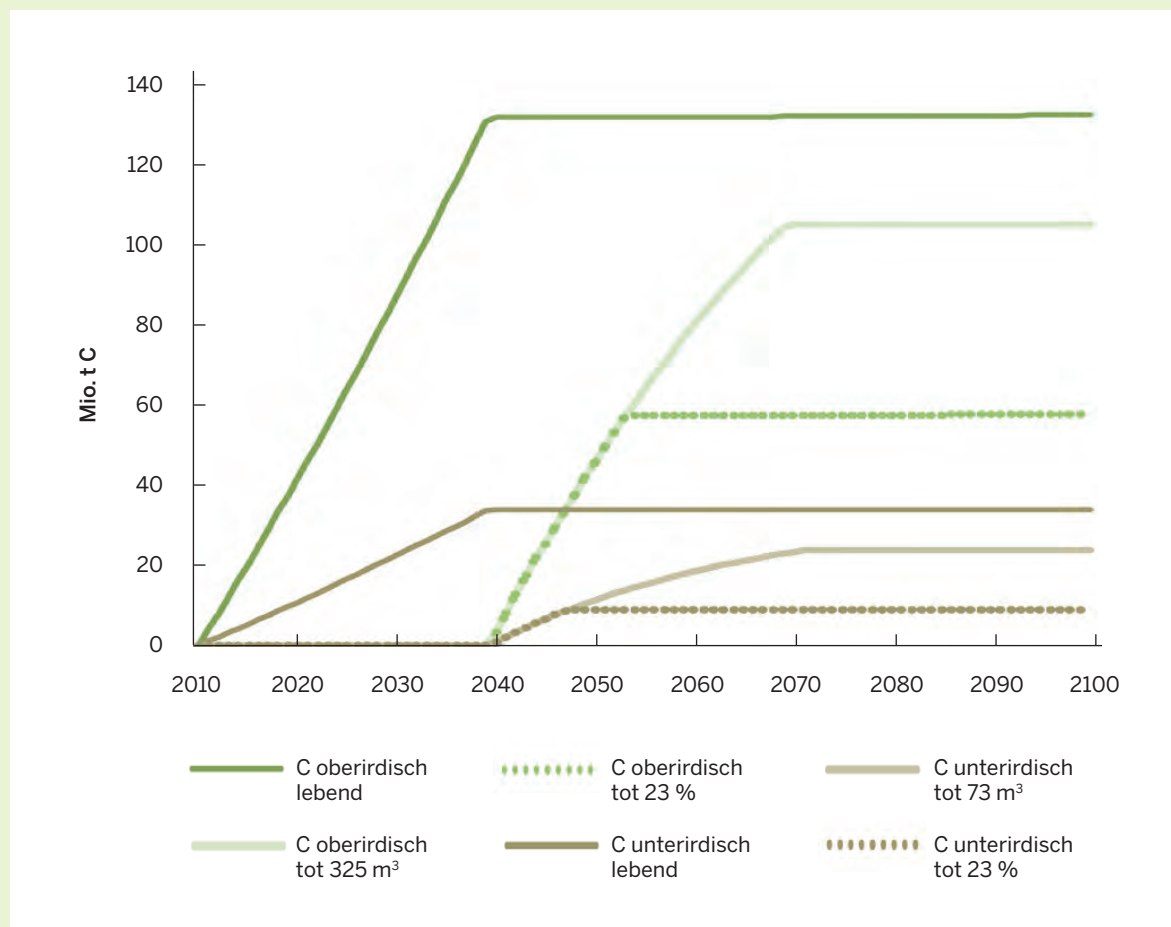
Die Beschreibung der definierten Grundszenarien verdeutlicht bereits, dass sie ganz im Sinne der Potenzialstudie Extreme der möglichen Bewirtschaftung von Wald darstellen. Die Verpflichtung auf die vielfältigen Funktionen des Waldes lässt in Verbindung mit der Komplexität der Besitzstrukturen im Gegensatz zu den Grundszenarien eher einen Mix aus unterschiedlichen Bewirtschaftungsformen für die Zukunft erwarten. Basierend auf den Grundszenarien werden daher drei Kombinationsszenarien – Nutz, Erhalt und Schutz – berechnet. Hierbei gingen die Resultate der Grundszenarien gemäß den Angaben in Tabelle 13 gewichtet ein.

Neben den Flächen, deren Bewirtschaftung gemäß den Grundszenarien angenommen wird, werden in den Kombinationsszenarien auch Flächen ohne Nutzung berücksichtigt. Bei der Bewirtschaftung ohne Nutzung erfolgt kein Holzeinschlag. Die Bestände werden zunehmend dichter und vorratsreicher. Dieses Szenarium führt zu einem massiven Vorratsaufbau im Wald. Da gesicherte Erkenntnisse zum Wachstum von nicht genutzten Wäldern fehlen, wurden die Wachstumszahlen der Ertragstafel bis zum Erreichen maximaler Vorräte fortgeschrieben. Eine solche Modellierung in Anlehnung an Maximalwerte, die von Petritan et al. (2012) für von Buche und Eiche dominierte Mischbestände beschrieben wurden, verdeutlicht die Unsicherheit, mit der Aussagen über unbewirtschaftete Wälder derzeit noch belastet sind. Lebende Biomasse wurde in dieser Studie bis zu einem durchschnittlichen maximalen überirdischen Vorrat von 750 Vorratsfestmetern aufgebaut, was im Sinne einer Extremschätzung über den von Petritan et al. (2012) beschriebenen Werten liegt. Der weitere Zuwachs der Bestände führt zum Aufbau des Totholzspeichers mit einem Maximum, das entsprechend der gleichen Quelle mit 325 m<sup>3</sup> bzw. mit 23 % des lebenden Vorrats angenommen werden kann (vgl. Abbildung 3).

### Kombinationsszenarien auf Basis der Grundszenarien

### Berücksichtigung von Waldanteilen ohne Nutzung in den Kombinationsszenarien

## 84 Modellierung der zukünftigen Klimaschutzleistung des nordrhein-westfälischen Waldes und der Verwendung nordrhein-westfälischen Holzes



**Abbildung 3:** Speicherleistung ohne Nutzung bei unterstelltem Maximum des Vorrats lebend oberirdisch von 750 VFM je Hektar, von 325 m<sup>3</sup> abgestorben oberirdisch und 73 m<sup>3</sup> abgestorben unterirdisch (gestrichelte Linien); alternativ sind gepunktete die maximalen Totholzvorräte bei 23 % der Vorräte an lebendem Holz dargestellt.

Alleine schon die Gegenüberstellung des relativen mit dem absoluten Ansatz zur Begrenzung des Totholzspeichers verdeutlicht die Unsicherheiten in der Modellierung von ungenutzten Beständen. Zudem steigt durch den Verzicht auf Nutzung die Dichte der älter werdenden Bestände. Dies führt in der Realität zu einer Wachstumsdepression und erhöhter Mortalität. Die Ergebnisse der Simulation ohne Nutzung sind somit Extremwerte für den Aufbau von Vorrat und Kohlenstoffspeicher, die unter natürlichen Verhältnissen aufgrund von Wachstumsrückgang, erhöhter Mortalität und Biomasseabbau durch Zerfallsphasen nicht erreicht werden. Im Sinne einer konservativen Schätzung wurden in der vorliegenden Studie die zur maximalen C-Speicherung führenden Parameter für die Speichermaxima verwendet. Wegen der Unsicherheit, die mit der Simulation ohne Nutzung verbunden ist, wird diese Nutzung nur anteilig in den Kombinationsszenarien berücksichtigt und nicht als eigenständiges Grundscenario.

## 85 Modellierung der zukünftigen Klimaschutzleistung des nordrhein-westfälischen Waldes und der Verwendung nordrhein-westfälischen Holzes

Das Kombinationsszenario Nutz wird dementsprechend zu 50 % durch das Grundszenario Massenoptimierer bestimmt und entspricht einer überwiegend auf Holzproduktion ausgerichteten Strategie mit geringeren Anteilen der anderen Grundszenarien.

Das Kombinationsszenario Erhalt berücksichtigt die Nutzungsszenarien Massenoptimierer, Wertoptimierer und Speicheroptimierer zu gleichen Anteilen und kommt damit einer Bewirtschaftung im Sinne des Leitbildes des Landesbetriebes Wald und Holz NRW gemäß den Prinzipien der Nachhaltigkeit und der Multifunktionalität am nächsten.

Das Kombinationsszenario Schutz betont den Aufbau hoher Speicher im Wald. Die Nutzungsszenarien Massenoptimierer und Wertoptimierer gehen hier nur zu jeweils 20 % in die Kalkulation ein.

Auch die Ergebnisse für diese Kombinationsszenarien werden als landesweite Summen bzw. Mittelwerte dargestellt und stellen mögliche Entwicklungen im Sinne der Potenzialstudie dar.

### Beschreibung der Grundszenarien

#### Kombinationsszenarien

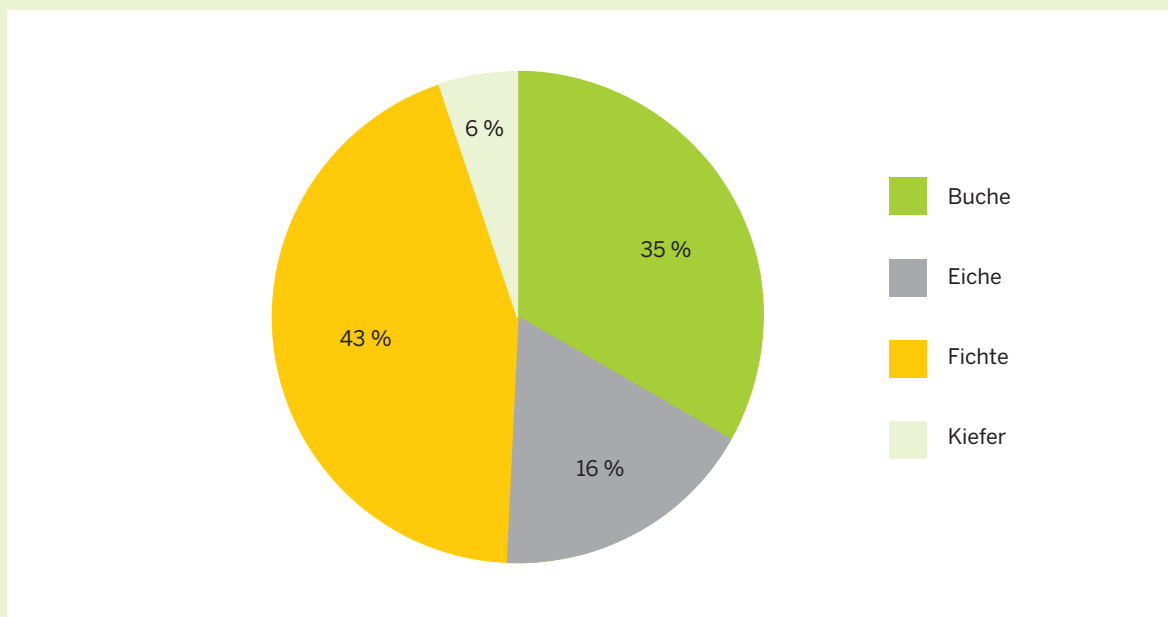
	Nutz	Erhalt	Schutz
Massenoptimierer	50,00 %	31,67 %	20,00 %
Wertoptimierer	25,00 %	31,67 %	20,00 %
Speicheroptimierer	20,00 %	31,67 %	50,00 %
ohne Nutzung	5,00 %	5,00 %	10,00 %

Table 13: Gewichtung der Grundszenarien und des Szenarios „Ohne Nutzung“ zu Kombinationsszenarien

### 6.1.4 Ausgangslage 2002

Zur Modellierung von C-Speicherveränderungen und Nutzungsmengen wurde die Ausgangslage in NRW gemäß der Bundeswaldinventur 2 (BWI<sup>2</sup>) für das Referenzjahr 2002 bestimmt. Die Baumartenanteile nach lebendem oberirdischem C Vorrat in 2002 sind in Abbildung 4 dargestellt. Die Baumartengruppen wurden in Anlehnung an die BWI gebildet. Alle Baumarten wurden den vier Hauptbaumarten Fichte (FI, alle Nadelbäume außer Kiefer), Kiefer (KI), Buche (BU, alle Laubbäume außer Eiche) und Eiche (EI) zugeordnet.

**86 Modellierung der zukünftigen Klimaschutzleistung des nordrhein-westfälischen Waldes und der Verwendung nordrhein-westfälischen Holzes**



**Abbildung 4:** Anteile der Baumartengruppen nach lebender oberirdischer Biomasse (Vorrat in Mio. t C) im Jahr 2002

Tabelle 14 zeigt die Kohlenstoffvorräte auf Basis der BWI<sup>2</sup>, den ausscheidenden Bestand und den Bruttozuwachs für das Jahr 2002 nach Baumarten getrennt.

Baumartengruppen	C-Vorrat <sup>1)</sup> [Mio. t C]	ausscheidender Bestand <sup>2)</sup> [Mio. t C]	Bruttozuwachs <sup>3)</sup> oberirdisch [Mio. t C]
BU	35,2	0,4	1,8
EI	16,8	0,1	0,6
FI	43,4	1,0	2,2
KI	6,4	0,1	0,2
Gesamt	101,8	1,6	4,8

1) entspricht der lebenden oberirdischen Baumbiomasse

2) unter Berücksichtigung der Holzeinschlagsstatistik NRW

3) Bruttozuwachs = Zuwachs verbleibender Bestand + ausscheidender Bestand

**Tabelle 14:** Kohlenstoffvorräte und Nutzung 2002

Ausgehend von 2002 wurde unter Berücksichtigung der in der Statistik erfassten Holznutzungen die Vorratsentwicklung bis in das Jahr 2010 modelliert.

## 6.1.5 Simulator

### 6.1.5.1 Grundidee

Zustand und Entwicklung des Waldes in NRW werden über einen Zeitraum von 2002 bis 2100 simuliert. Der Zustand im Jahr 2002 ist aus der BWI<sup>2</sup> bekannt. Der jährliche Zuwachs und die zu entnehmende Menge werden den Ertragstafeln (s. 6.1.5.2) für die vier Hauptbaumarten Buche, Eiche, Fichte und Kiefer entnommen. Für die Jahre 2002 bis 2010 liegen vom Land NRW erstellte „Liefertabellen“ zu den realen Einschlagsmengen vor. Die simulierten Einschläge werden diesen Liefertabellen entsprechend korrigiert und die Vorräte des verbleibenden Bestandes entsprechend angepasst. Ab dem Jahr 2011 erfolgen Simulationsläufe, die aufzeigen, welches Potenzial zur Vermeidung von CO<sub>2</sub>-Emissionen durch unterschiedliche Bewirtschaftungsarten erreicht werden kann.

### 6.1.5.2 Datenlage

Die folgenden Datenquellen standen für die vorliegende Studie zur Verfügung:

- BWI: Einzelbaumdaten der ersten und zweiten Bundeswaldinventur (BWI<sup>1</sup> und BWI<sup>2</sup>)
- Einschlagsstatistik/Liefertabellen: Berichte des Landes NRW an das Statistische Bundesamt zur „Erfassung des Holzeinschlages“ für die Kalenderjahre 2002 bis 2010
- Ertragstafeln:
  - Buche: mäßige Durchforstung nach Schober (1971)
  - Eiche: mäßige Durchforstung nach Jüttner (1955)
  - Fichte: mäßige Durchforstung nach Wiedemann (1942)
  - Kiefer: mäßige Durchforstung nach Wiedemann (1943)
- Clusterstudie NRW: Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW (MUNLV) (Hg.) (2003): Clusterstudie Forst und Holz: Gesamtbericht. Düsseldorf (= Schriftenreihe der Landesforstverwaltung NRW, Heft 17) ([www.wald-und-holz.nrw.de/nutzung/cluster](http://www.wald-und-holz.nrw.de/nutzung/cluster))
- IPCC-GPG; UN-IPCC (2003): Good Practice Guidance for Land Use, Land Use Change and Forestry.<sup>96</sup>

Aus den Daten der Bäume der Zählbreite 4 wurden für die vier Hauptbaumarten Fichte (FI, alle Nadelbäume außer Kiefer), Kiefer (KI), Buche (BU, alle Laubbäume außer Eiche) und Eiche (EI) je Traktecke Grundfläche pro Hektar, mittleres Alter und Mittelhöhe bestimmt. Diese Werte der insgesamt 2.228 Traktecken sind die Grundlage für die Berechnungen zum Holzvorrat des Waldes in NRW im Jahr 2002, der nach BWI<sup>2</sup> eine Fläche von 887.550 ha bedeckt.

### Bundeswaldinventur BWI

---

96 M. Köhl ist Koautor der IPCC-GPG

Die gemessenen Zuwächse zwischen  $BWI^1$  und  $BWI^2$  werden durch die Modellierung mit Zuwächsen gemäß Ertragstafeln unterschätzt. Daher erfolgte eine Kalibrierung des baumartenspezifischen Zuwachses nach Ertragstafeln unter Berücksichtigung der  $BWI^1$ -Daten von NRW (s. 6.1.5.3).

#### Liefertabellen

Den Holzmarktstatistiken des Landes NRW, den sogenannten Liefertabellen, wurden für die vier Hauptbaumarten Fichte, Kiefer, Buche und Eiche die Einschlagsmengen für die Jahre 2002 bis 2010 entnommen. Diese beinhalten auch die Rohholzmen-gen, die durch den Sturm „Kyrill“ im Jahre 2007 außerplanmäßig angefallen sind. Die Liefertabellen dienen der Korrektur der nach Ertragstafeln simulierten ausscheidenden Holzmengen.

#### Ertragstafeln

Die Ertragstafeln für die vier Hauptbaumarten decken im Original nicht den kompletten Rahmen der in den Simulationen erreichten Alter ab. Daher wurden sie erweitert.

Für das Alter vor dem jeweils ersten Eintrag wurden die Stammzahlen des ersten Eintrages bis zum Alter von einem Jahr übernommen. Das Volumen des ersten Eintrages wurde zurück bis zu einem Alter von zehn Jahren linear auf null reduziert.

Die folgenden Einträge der Ertragstafeln, die in Schritten von fünf Jahren angegeben werden, wurden auf die Zwischenjahre aufgeteilt. Das Bestandsvolumen ( $V$ ) wurde als Summe aus dem letztjährigen Bestandsvolumen ( $V_{last}$ ) und dem laufenden jährlichen Zuwachs ( $iV$ ), reduziert um das Volumen des jährlich ausscheidenden Bestandes ( $V_a$ ), berechnet ( $V = V_{last} + iV - V_a$ ). Stammzahl, Grundfläche und Bestandshöhe wurden linear interpoliert. Aus Grundfläche und Stammzahl wurde der Durchmesser des Grundflächenmittelstammes berechnet. Die Gesamtwuchsleistung entspricht in jedem Alter dem kumulierten jährlichen Zuwachs.

Eine Fortschreibung über das maximale Alter der Ertragstafeln hinaus war für die Simulation unabdingbar. Als Basis dienten die Werte des letzten Eintrages zu Volumen, jährlichem laufendem Zuwachs und Volumen des ausscheidenden Bestandes. Der laufende jährliche Zuwachs wurde mit jedem Jahr der Fortschreibung um den Wert abgesenkt, mit dem dieser auch nach Ertragstafel in den letzten Jahren abnimmt, um letztlich auf null zu sinken. Das Volumen des ausscheidenden Bestandes wird proportional zum laufenden Zuwachs bis auf null abgesenkt. Daraus folgt, dass das Volumen nach erweiterter Ertragstafel infolge des in hohem Alter auf null sinkenden laufenden Zuwachses begrenzt ist.

Für die verwendeten Ertragstafeln wurde zudem jeweils eine Ertragsklasse 0 extrapoliert, um auch besonders wüchsige Bestände besser simulieren zu können.

Im Konzept der Ertragstafel ist eine Zerfallsphase nicht vorgesehen. Auch unterbleibt jegliche Einschätzung von Produktionsrisiken (Sturm, Feuer, Trockenheit, biotische Schädlinge etc.). Somit



## 89 Modellierung der zukünftigen Klimaschutzleistung des nordrhein-westfälischen Waldes und der Verwendung nordrhein-westfälischen Holzes

konnten diese Aspekte, die für die Entwicklung von Altbeständen charakteristisch sind, nicht berücksichtigt werden. Das gewählte Vorgehen überschätzt daher die unter natürlichen Bedingungen zu erwartende Kohlenstoffdynamik, so dass die präsentierten Zahlen für den C-Speicher im Wald als maximal für Altbestände angesehen werden müssen. Auf eine gutachterliche Festlegung von Speicherverlusten durch Zerfallsphasen und Produktionsrisiken wurde im Sinne einer konservativen Betrachtungsweise verzichtet.

### 6.1.5.3 Schritte der Simulation

Die Startwerte der Simulationen wurden nach BWI<sup>2</sup> bestimmt. Über mittleres Alter und Höhe wurde für jede Kombination von Traktecke und Baumart die Ertragsklasse zur Bonitierung mit einer Genauigkeit von einer Nachkommastelle bestimmt. Bei Ertragsklassen (EK) über dem höchsten Wert der jeweiligen Ertragstafel für mäßige Durchforstung oder unter 0 wurde die EK auf den jeweiligen Grenzwert [0; EKmax] reduziert und das Alter nach der entsprechenden Mittelhöhe des Bestandes korrigiert. Über die Grundfläche wurde der Bestockungsgrad  $B^\circ Ba$  für jede Baumart an jeder Traktecke ermittelt. Dieser diente zunächst zur Bestimmung des Anteils der Baumart an der jeweiligen Traktecke. Er entspricht dem Verhältnis des Bestockungsgrades der Baumart zur Summe der Bestockungsgrade aller Baumarten ( $SumB^\circ$ ) an der jeweiligen Traktecke ( $AnteilBa = B^\circ Ba / SumB^\circ$ ). Anteil und Ertragsklasse für jede Kombination von Traktecke und Baumart wurden über den gesamten Simulationszeitraum konstant gehalten. In der laufenden Simulation wurde der Anteil verwendet, um die Bestockung an den Zielbestockungsgrad anzupassen.

Die Vorräte (V) wurden ebenso wie jährlicher Zuwachs (iV) und Volumen des ausscheidenden Bestandes (Va) für jede Baumart/Trakteckenkombination der Ertragstafel (nach Alter und EK) entnommen und mit dem jeweiligen Bestockungsgrad multipliziert.

Ausgehend von Daten der BWI<sup>1</sup> wurde die Vorratsentwicklung je Baumart bis zum Jahre 2002 simuliert. Dabei zeigte sich, dass mit der angewendeten Methode auf Basis der Ertragstafel die Zuwächse unterschätzt wurden. Für die Simulation fanden die in Tabelle 15 dargestellten baumartenspezifischen Korrekturfaktoren für NRW Verwendung.

### Ermittlung von Ertragsklassen und Anteil

### Ermittlung der Volumina

### Korrektur der Zuwächse

Korrektur	BU	EI	KI	FI
Zuwachs %	130 %	148 %	149 %	130 %

Tabelle 15: Korrektur der Zuwächse nach BWI-Auswertung<sup>97</sup>

**Korrektur des Vorrats für das Jahr 2002**

Für das Jahr 2002 wurden nach Baumartengruppen alle berechneten Vorräte der Baumart/Trakteckenkombinationen durch Multiplikation mit dem Quotient aus Vorratssumme der BWI-Auswertung und der Vorratssumme der Simulation auf das Niveau der BWI-Auswertung gebracht. Lediglich für Fichte liegt der Wert dieses Quotienten deutlich unter 1, was eine Unterschätzung durch die Berechnung anzeigt. Durch den gewählten Korrekturalgorithmus konnte diese Unterschätzung aber korrigiert werden.

Korrektur	BU	EI	KI	FI
Vorrat	1,03	0,98	1,0	0,87

Tabelle 16: Korrekturfaktoren Vorrat 2002

**Korrektur nach Liefertabellen**

Die Volumina des ausscheidenden Bestandes wurden für die Jahre 2002 bis 2010 nach den Angaben der Liefertabellen für NRW korrigiert. Diese Korrekturen wurden – außer für das Jahr 2002, dem Stichjahr der BWI<sup>2</sup> – mit dem verbleibenden Vorrat abgeglichen: Eine Erhöhung (bzw. Reduktion) des Einschlages führte so zur Reduktion (bzw. Aufbau) des Vorrates um die gleiche Menge. Die Korrekturfaktoren für den ausscheidenden Bestand (Tabelle 17) zeigen eine deutliche Überschätzung des tatsächlichen Einschlages für die Laubbaumarten durch die Ertragstafelwerte. In der Realität erfolgten geringere Nutzungen. Für die Nadelbaumarten lag in den Jahren 2002 bis 2010 der Einschlag deutlich über den Ertragstafelwerten. Vor allem im Jahr 2007, dem Jahr des Sturmes „Kyrill“, übertrafen die Einschläge die Werte nach Ertragstafel deutlich.

Jahr	BU	EI	KI	FI
2002	0,41	0,17	0,31	0,82
2003	0,40	0,24	0,37	1,13
2004	0,39	0,21	0,27	1,21
2005	0,39	0,20	0,22	1,29
2006	0,43	0,16	0,15	1,64
2007	0,39	0,17	0,91	8,46
2008	0,36	0,15	0,84	5,09
2009	0,28	0,13	0,74	2,97
2010	0,27	0,14	0,72	3,03

Tabelle 17: Korrekturfaktoren für ausscheidenden Bestand nach Liefertabellen NRW

## 91 Modellierung der zukünftigen Klimaschutzleistung des nordrhein-westfälischen Waldes und der Verwendung nordrhein-westfälischen Holzes

Erreicht eine Baumart auf einer Traktecke die Umtriebszeit, die durch die definierten Szenarien in Abhängigkeit vom Alter des  $DGZ_{max}$  der jeweiligen Ertragstafel determiniert ist, so wird der Bestand genutzt: Der gesamte Vorrat und der Zuwachs gehen in den folgenden fünf Jahren in den ausscheidenden Bestand  $V_a$  über. Das Alter wird danach auf 2 gesetzt.

Erreicht eine Baumart auf einer Traktecke mit dem mittleren Durchmesser eine durch die Szenarien definierte Zielstärke, so wird der Vorrat des Bestandes in den nächsten 15 Jahren vollständig genutzt. Der gesamte Vorrat und der Zuwachs gehen in den folgenden 15 Jahren in den ausscheidenden Bestand  $V_a$  über. Danach beginnt die Simulation für diese Kombination aus Baumart und Traktecke mit dem Alter von 7 Jahren. Eine Programmierung der Zielstärkennutzung für den Einzelbestand sollte anstelle des mittleren Durchmessers die Durchmesserverteilungen zugrunde legen. Diese standen im Rahmen des Projektes nicht zur Verfügung.

Die Vorratswerte für Bestandsvolumen ( $V$ ), laufenden jährlichen Zuwachs ( $iV$ ) und ausscheidenden Bestand ( $V_a$ ) wurden nach Baumartengruppen und Jahr aufsummiert. Gemäß den gerechneten Szenarien (Tabelle 12) verbleibt ein Teil des ausscheidenden Bestandes als Totholz im Wald. Der hierfür jeweils angegebene Wert umfasst auch den als Ernterestholz im Wald verbleibenden Anteil. Die Differenz aus ausscheidendem Bestand  $V_a$  und Totholzmenge ist die dem Holzsektor übergebene Rohholzmenge.

Die Schätzung des C-Gehaltes der Volumina erfolgt in zwei Schritten gemäß IPCC (Abbildung 5). Zuerst werden die Volumina mit dem Biomassekonversionsfaktor (Biomass Conversion and Expansion Factors, BCEFS) multipliziert, um vom Vorrat auf die oberirdische Biomasse schließen zu können. Hier wurden die in Anhang 4 gezeigten IPCC-Standardwerte verwendet. In einem zweiten Schritt wurde über die Biomasse der Kohlenstoffgehalt in Tonnen mithilfe der IPCC-Kohlenstofffaktoren (Carbon Fraction, CF, in Anhang 5) berechnet.

### Endnutzungen

### Aufsummieren der Jahreswerte

### Schätzung des C-Anteils

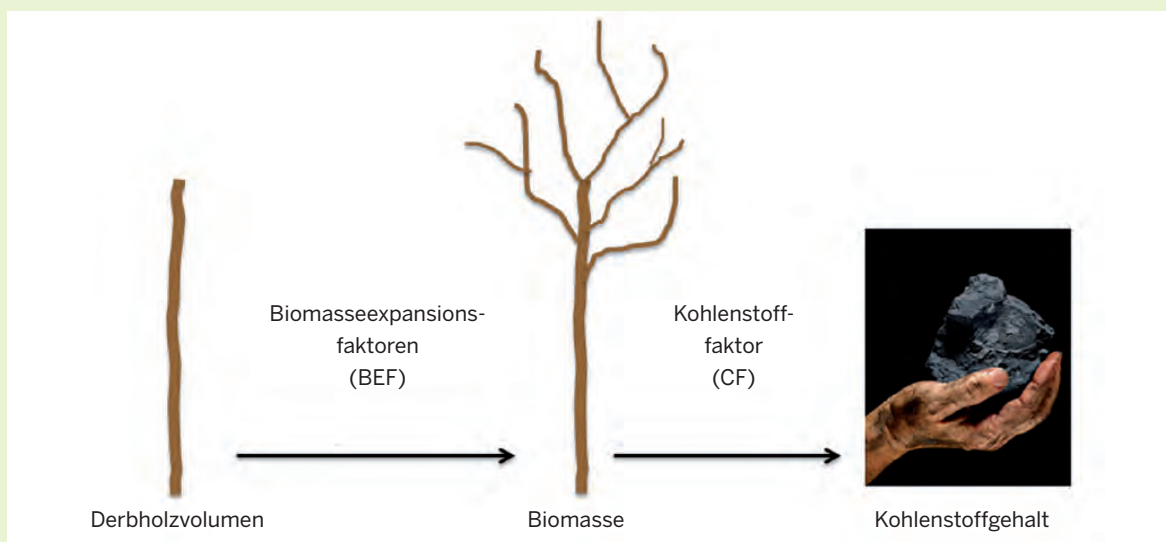


Abbildung 5: Herleitung der Kohlenstoffvorräte nach IPCC

Mithilfe der IPCC-Standardfaktoren (Anhang 6) wird die unterirdisch lebende Biomasse in Abhängigkeit von Baumart und Vorratsklasse im Verhältnis zur oberirdischen lebenden Biomasse geschätzt. Proportional zum ausscheidenden Bestand wird im Falle von Nutzungen ein Teil der unterirdischen Biomasse als absterbende Biomasse bestimmt. Somit sind auch die jeweiligen jährlichen Speicherzugänge der abgestorbenen ober- und unterirdischen Biomasse bekannt.

Unter der Annahme von Abbauraten erfolgte eine grobe Schätzung der Speicherentwicklung für die abgestorbene Biomasse. Mangels belastbarer Literaturquellen für NRW wurde im Rahmen der von Hermann und Bauhaus zusammengestellten Literaturangaben<sup>98</sup> die jährliche Abbauraten für oberirdische Biomasse mit 2,7 % gutachterlich festgelegt. Der jährliche unterirdische Abbau wurde mit 4,0 % gutachterlich geschätzt.

## 6.1.6 Darstellung der Potenziale

### 6.1.6.1 Speicherentwicklung oberirdisch lebend

Im lebenden oberirdischen Speicher findet durch Photosynthese die Sequestrierung von Kohlenstoff aus der Atmosphäre statt. Die Entwicklungen aller anderen Kohlenstoffspeicher stehen mit diesem Speicher in engem Zusammenhang. Die Entwicklung des lebenden oberirdischen Speichers von 2002 bis 2100 ist für die Grundszenarien Abbildung 6 und für die Kombinationsszenarien in Abbildung 7 dargestellt. Die Entwicklung der Szenarien beginnt im Jahr 2011, nachdem unter Berücksichtigung der realen Einschlagszahlen die Periode von 2002 bis 2010 modelliert wurde.

Der Bewirtschaftungstyp „Massenoptimierer“ (Abbildung 6) führt in den ersten fünf Jahren nach 2010 zu einem Speicherabbau, gefolgt von einer Phase relativer Vorratskonstanz. Ab 2030 folgt ein weiterer Speicherabbau, bis im Jahr 2049 das Minimum mit knapp unter 85 Mio. t C erreicht ist. Von 2050 an wird der Speicher kontinuierlich aufgebaut. Am Ende der Simulationsperiode liegt der lebende oberirdische Speicher mit 138,6 Mio. t C ca. 21,7 Mio. t C über dem Wert von 2010. Dieser Bewirtschaftungstyp nutzt Bestände bereits im Alter des maximalen durchschnittlichen Gesamtzuwachses. Viele Bestände der für das Jahr 2010 berechneten Ausgangssituation werden daher durch diesen Bewirtschaftungstyp genutzt, wodurch der deutliche Speicherabbau zu Beginn der Simulation zu erklären ist. Im Mittel sind die Bestände im Vergleich zu den anderen Bewirtschaftungstypen jünger und haben somit geringere Vorräte.

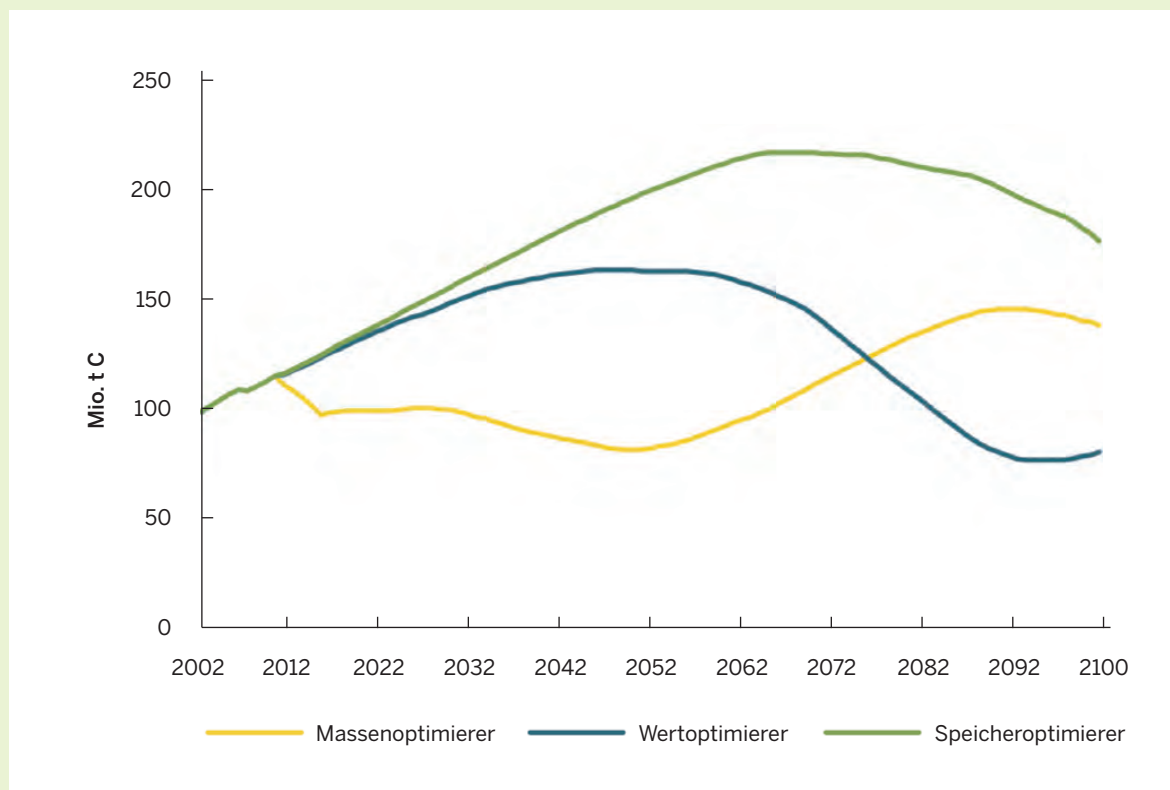


Abbildung 6: Entwicklung des Speichers oberirdisch lebend für die Grundscenarien

Der Bewirtschaftungstyp „Wertoptimierer“ (Abbildung 6) führt zum Aufbau des oberirdischen lebenden Speichers bis zu einem Maximum von 162 Mio. t C im Jahr 2046. Darauf folgt ein Speicherabbau, bis im Jahr 2093 mit 80,4 Mio. t C das Minimum im Simulationszeitraum erreicht ist. Am Ende der Simulationsperiode liegt der lebende oberirdische Speicher mit 84,1 Mio. t C ca. 32,8 Mio. t C unter dem Wert von 2010.

Der „Speicheroptimierer“ führt zum Aufbau des oberirdischen lebenden Speichers bis zu einem Maximum von 212,4 Mio. t C im Jahr 2067 mit anschließendem Speicherabbau. Am Ende der Simulationsperiode liegt der lebende oberirdische Speicher mit 174 Mio. t C ca. 57 Mio. t C über dem Wert von 2010.

Die Betrachtung der ersten drei Grundscenarien zeigt bereits, dass spätere Endnutzung zu späterer Kulmination des Speichers führt. Die Bestände werden durch spätere Endnutzung im Mittel älter und vorratsreicher.

Die bisher gezeigten Szenarien gehen von der Annahme aus, dass der gesamte Wald nach einem einheitlichen Muster bewirtschaftet wird. Die in Abbildung 7 dargestellten Ergebnisse für die Kombinationsszenarien bilden eine Mischung aus verschiedenen Bewirtschaftungsszenarien ab (siehe Tabelle 13) und zeigen einen Vorratsaufbau bis zur Kulmination des Speichers zwischen 2068 und 2085. Während die Kombinationsszenarien „Nutz“ und „Erhalt“ im Jahr 2100 mit 153 Mio. t C ca. 36,2 Mio. t C über dem

## 94 Modellierung der zukünftigen Klimaschutzleistung des nordrhein-westfälischen Waldes und der Verwendung nordrhein-westfälischen Holzes

Wert von 2010 liegen, wobei in der Mitte des Simulationszeitraumes der Speicher des Szenarios „Erhalt“ deutlich über dem von „Nutz“ liegt, erreicht das Kombinationsszenarium „Schutz“ im gesamten Simulationszeitraum den höchsten Speicherwert (70,6 Mio. t C im Jahre 2100 über dem Wert von 2010).

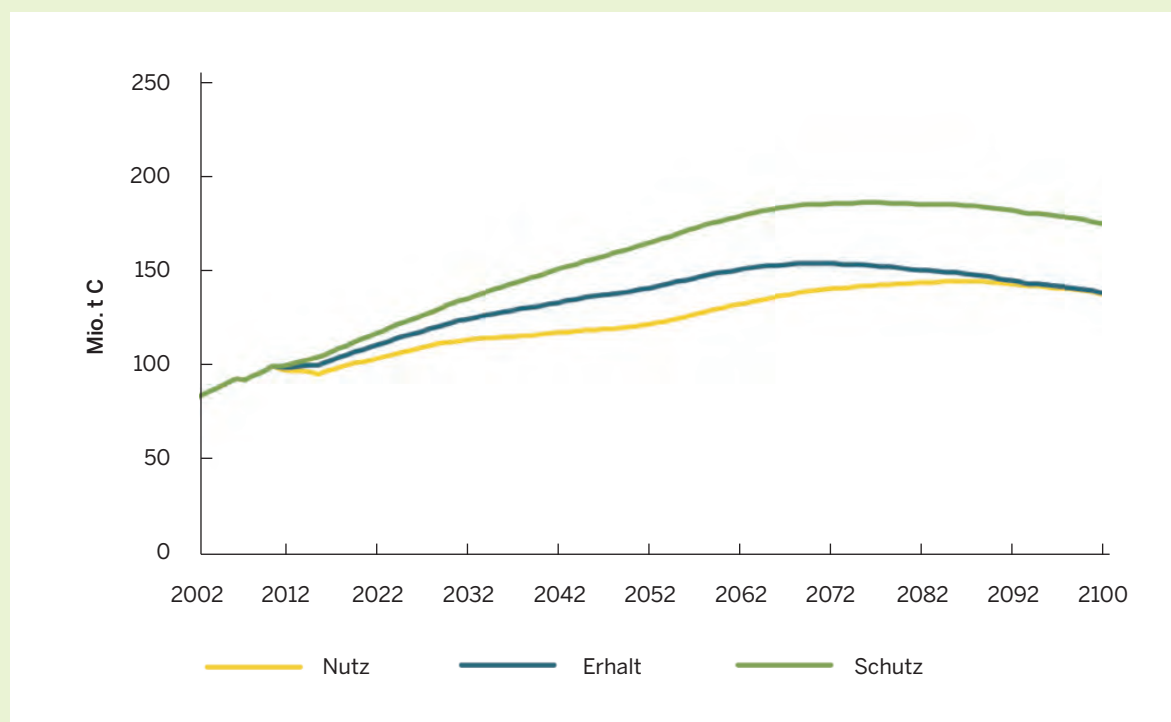


Abbildung 7: Entwicklung des Speichers oberirdisch lebend für die Kombinationsszenarien

### 6.1.6.2 Ausscheidender Bestand

Die Entwicklung des ausscheidenden Bestandes von 2002 bis 2100 ist für die Grundszenarien in Abbildung 8 und für die Kombinationsszenarien in Abbildung 9 dargestellt. Der ausscheidende Bestand beinhaltet sowohl das produzierte Rohholz (Abbildungen 10 und 11) als auch das anfallende Totholz (vgl. Abschnitt 6.1.3).

Die Höhe des ausscheidenden Bestandes im Zeit-raum von 2002 bis 2010 ist aus den realen Einschlägen und den darin enthaltenen Folgen des Sturmes „Kyrill“ im Jahre 2007 abgeleitet. Der Bewirtschaftungstyp „Massenoptimierer“ realisiert zwischen 2011 und 2014 einen starken Holzeinschlag, da viele Bestände aufgrund ihres Alters die Hiebsreife erreicht haben. Diese Einschläge sind höher als die durch den Sturm „Kyrill“ geworfenen Holzmengen. Bis zum Jahre 2049 fallen als Folge der Altersstruktur weitere hohe Endnutzungen an. Danach folgt eine Phase geringer Einschläge. Ab 2080 führt die Altersstruktur der Bestände wieder zu einer Erhöhung des ausscheidenden Bestandes.

## 95 Modellierung der zukünftigen Klimaschutzleistung des nordrhein-westfälischen Waldes und der Verwendung nordrhein-westfälischen Holzes

Im Falle des „Wertoptimierers“ beschränkt sich ein erhöhter Einschlag von älteren Beständen mit hohem ausscheidendem Bestand auf das erste Jahr des Simulationszeitraumes 2011. Die Altersstruktur der verbleibenden Bestände führt ab 2035 zu hohen ausscheidenden Beständen. Ab 2087 gehen die Einschläge als Folge dieser Verjüngungen wieder zurück. Die Einschläge des „Speicheroptimierers“ sind bis 2060 nahezu konstant und steigen danach an, wobei der Verjüngungsprozess in dem betrachteten Simulationszeitraum nicht abgeschlossen wird.

Bezogen auf den gesamten ausscheidenden Bestand im Zeitraum 2011 bis 2100 zeigt das Grundszenario „Wertoptimierer“ mit 308,5 Mio. t C die höchste Produktionsleistung, gefolgt vom „Massenoptimierer“ mit 294,3 Mio. t C. Der „Speicheroptimierer“ erreicht dagegen nur 225,3 Mio. t C. Diese Unterschiede sind bedingt durch die zu Beginn des Zeitraumes erreichte Altersstruktur der Bestände. Langfristig ist mit der höchsten Menge an ausscheidendem Bestand beim Typ „Massenoptimierer“ zu rechnen, der die Bestände immer zum Zeitpunkt des maximalen durchschnittlichen Zuwachses nutzt.



Abbildung 8: Ausscheidender Bestand in Mio. t C für die Grundszenarien

96 Modellierung der zukünftigen Klimaschutzleistung des nordrhein-westfälischen Waldes und der Verwendung nordrhein-westfälischen Holzes

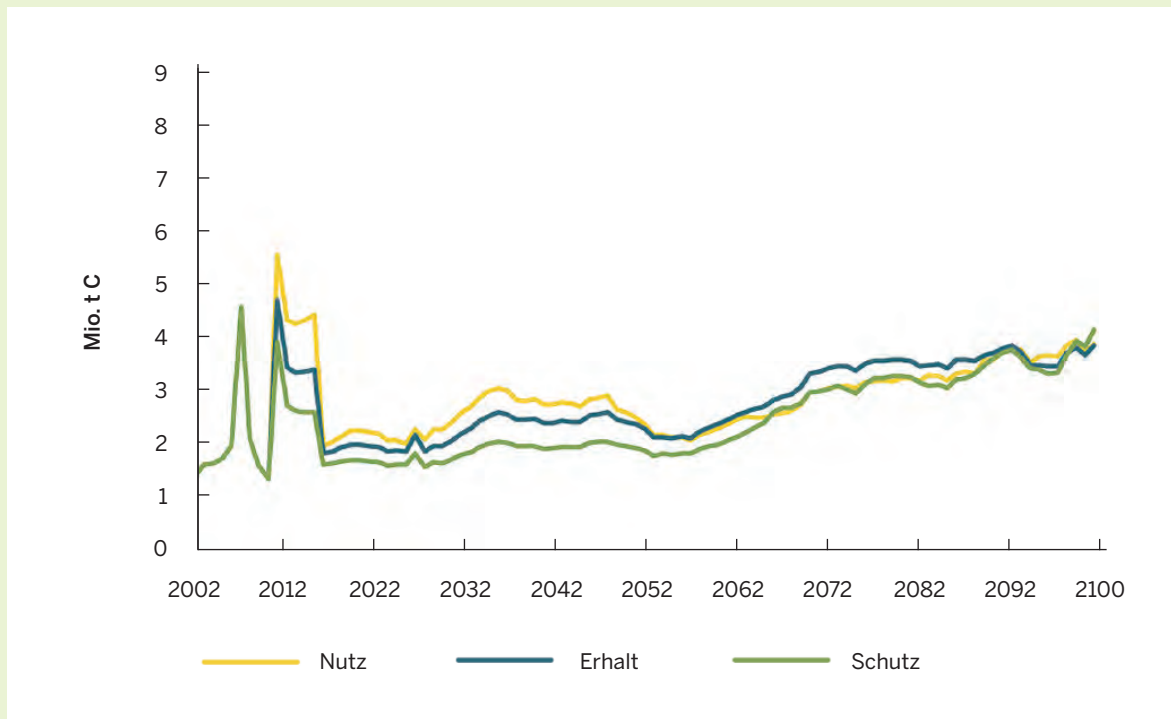


Abbildung 9: Ausscheidender Bestand in Mio. t C für die Kombinationsszenarien

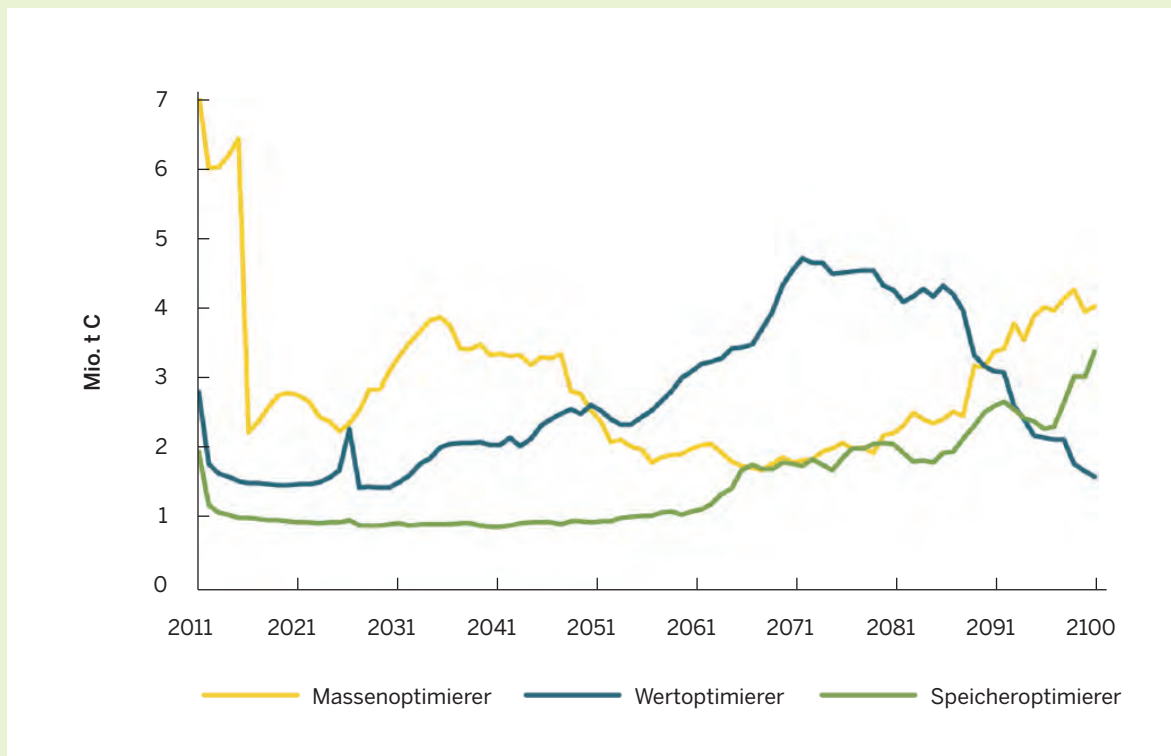


Abbildung 10: Ausscheidendes Rohholz in Mio. t C für die Grundscenarien



97 Modellierung der zukünftigen Klimaschutzleistung des nordrhein-westfälischen Waldes und der Verwendung nordrhein-westfälischen Holzes

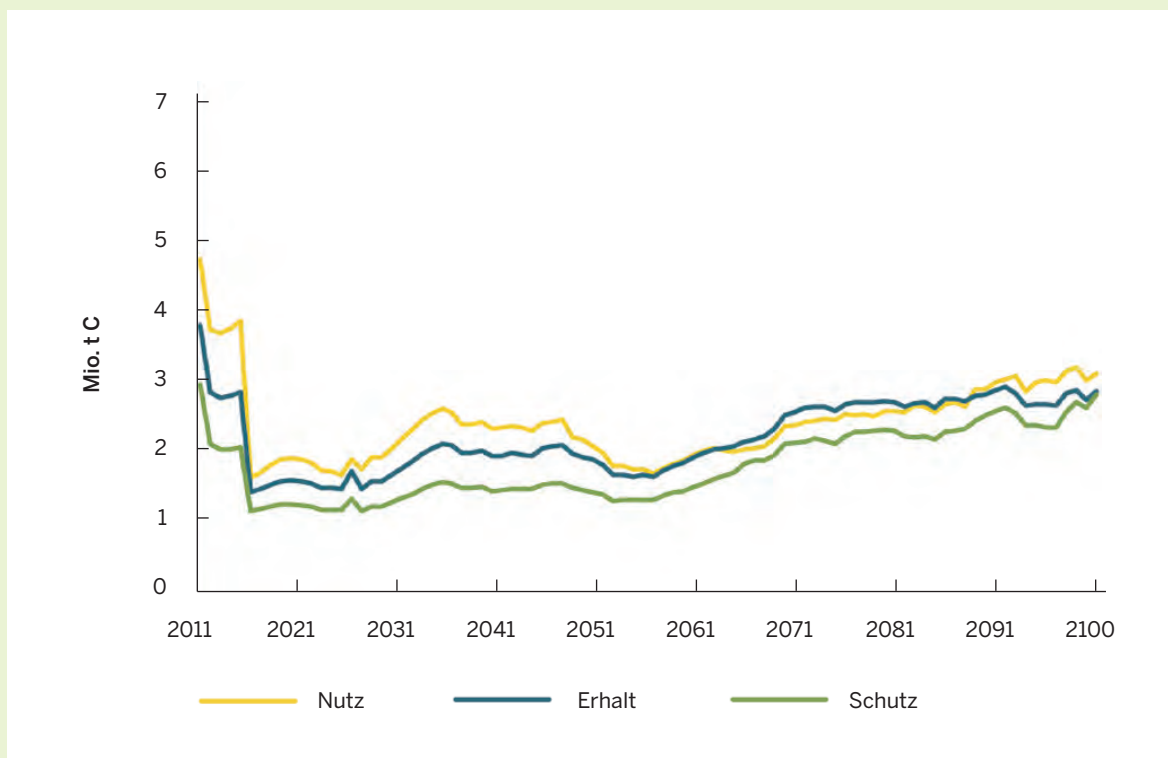


Abbildung 11: Ausscheidendes Rohholz in Mio. t C für die Kombinationsszenarien

Die in Tabelle 18 und 19 aufgeführten Rohholzmengen zeigen nach Baumarten differenziert, dass im Simulationszeitraum der Bewirtschaftungstyp „Massenoptimierer“ die höchsten Rohholzmengen zur Verfügung stellt. Er übertrifft hier den „Wertoptimierer“, da von dessen größerem ausscheidendem Bestand (s. o.) ein größerer Anteil als Totholz im Bestand verbleibt.

	BU [Mio. t C]	EI [Mio. t C]	FI [Mio. t C]	KI [Mio. t C]	Summe [Mio. t C]
Massenoptimierer	92.3	36.8	118.2	17.6	264.9
Wertoptimierer	87.4	32.1	115.4	11.9	246.8
Speicheroptimierer	53.7	21.5	50.7	9.3	135.2

Tabelle 18: Summe der Rohholzproduktion in Mio. t C von 2011 bis 2100 nach Baumarten und Grundszenarien

	BU [Mio. t C]	EI [Mio. t C]	FI [Mio. t C]	KI [Mio. t C]	Summe [Mio. t C]
Nutz	78.7	30.7	98.1	13.6	221.2
Erhalt	73.9	28.6	90.0	12.3	204.9
Schutz	62.8	24.5	72.1	10.5	169.9

Tabelle 19: Summe der Rohholzproduktion in Mio. t C von 2011 bis 2100 nach Baumarten und Kombinationszenarien

### 6.1.6.3 Speicher

Zusätzlich zum oberirdisch lebenden Speicher sind zur Beurteilung der Speicherleistung auch die Speicher für unterirdische lebende Biomasse sowie für ober- und unterirdische abgestorbene Biomasse zu betrachten. Um die Leistung dieser Speicher im Simulationszeitraum vergleichen zu können, wurden alle Speicher als Differenz zum jeweils in 2010 erreichten Wert dargestellt. Die Darstellung der Speicherleistungen für die Grundszenarien erfolgt in Abbildung 12 bis Abbildung 14, eine Gegenüberstellung der für die Grundszenarien aufsummierten Speicherleistungen ist in Abbildung 15 dargestellt.

Die Speicherleistung des Bewirtschaftungstyps „Massenoptimierer“ ist zunächst negativ und zeigt erst im letzten Drittel des Simulationszeitraums eine positive Leistung. In diesem Zeitabschnitt nimmt die Speicherleistung beim „Wertoptimierer“ in den Speichern für lebende Biomasse ab. Der „Speicheroptimierer“ zeigt im gesamten Simulationszeitraum eine hohe Speicherleistung.

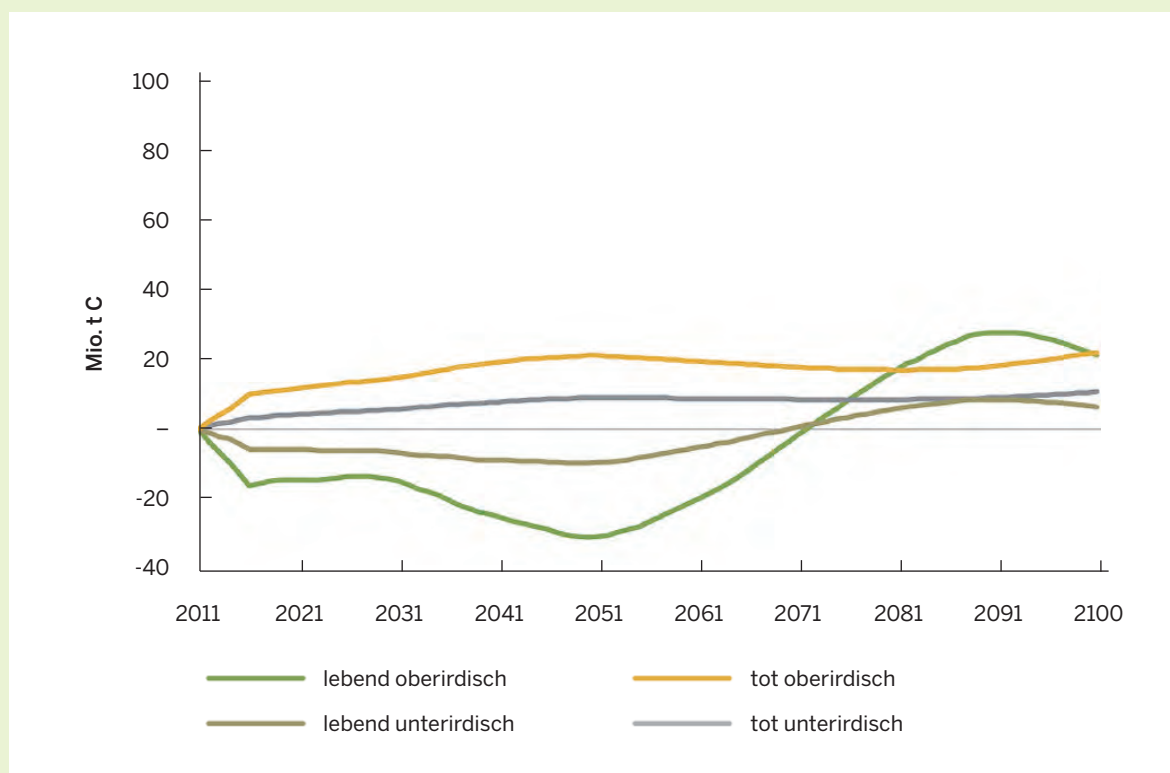


Abbildung 12: Kohlenstoffspeicherleistung im Waldsektor von 2011 bis 2100 für das Grundszenario „Massenoptimierer“

99 Modellierung der zukünftigen Klimaschutzleistung des nordrhein-westfälischen Waldes und der Verwendung nordrhein-westfälischen Holzes

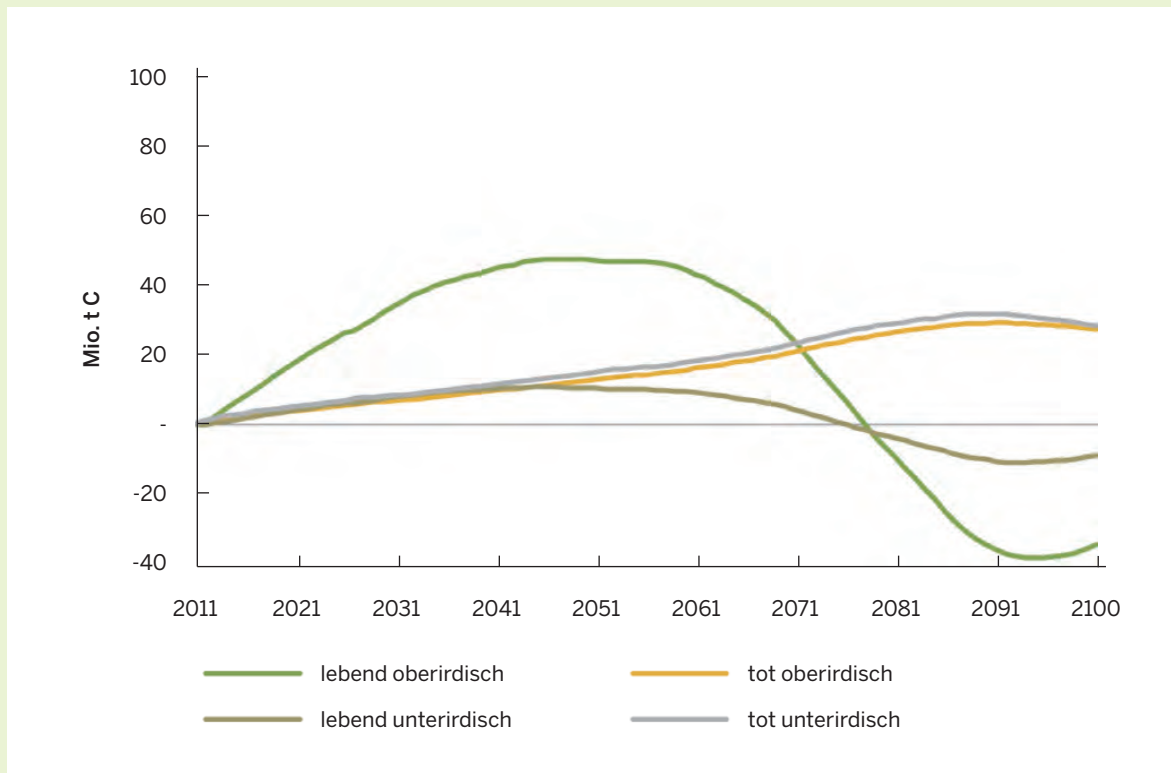


Abbildung 13: Kohlenstoffspeicher im Waldsektor von 2011 bis 2100 für das Grundscenario „Wertoptimierer“

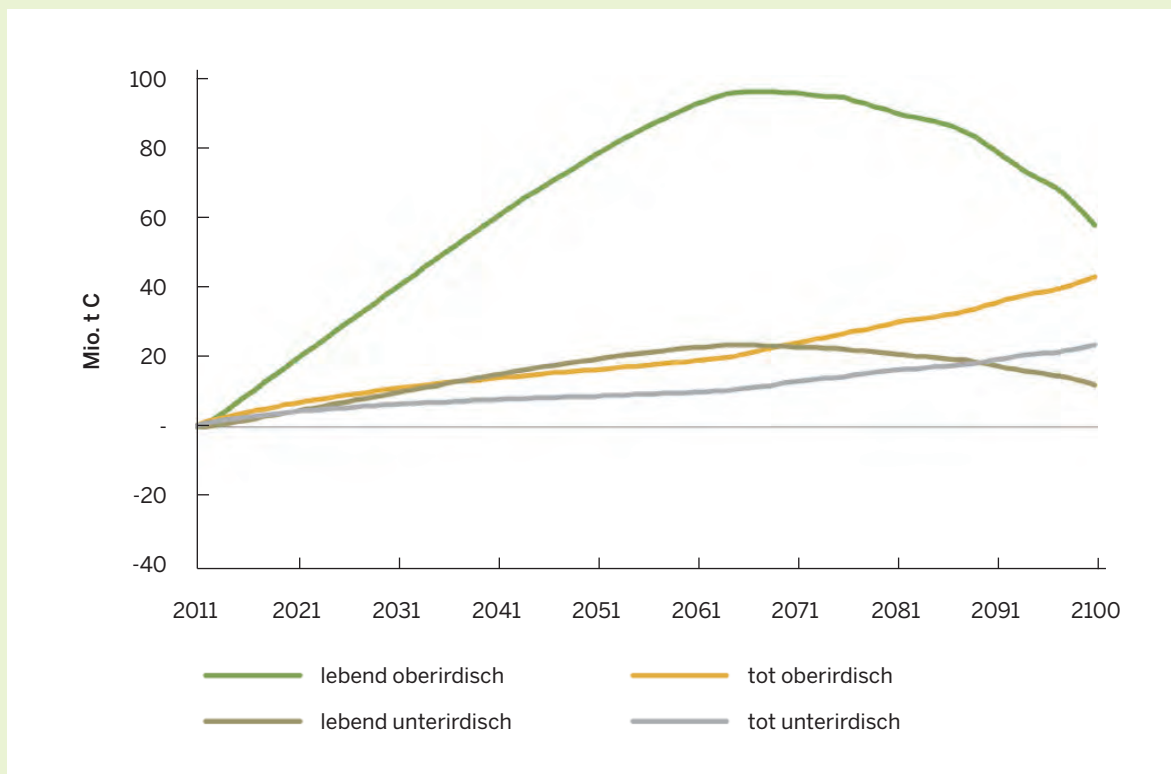


Abbildung 14: Kohlenstoffspeicher im Waldsektor von 2011 bis 2100 für das Grundscenario „Speicheroptimierer“

**100 Modellierung der zukünftigen Klimaschutzleistung des nordrhein-westfälischen Waldes und der Verwendung nordrhein-westfälischen Holzes**

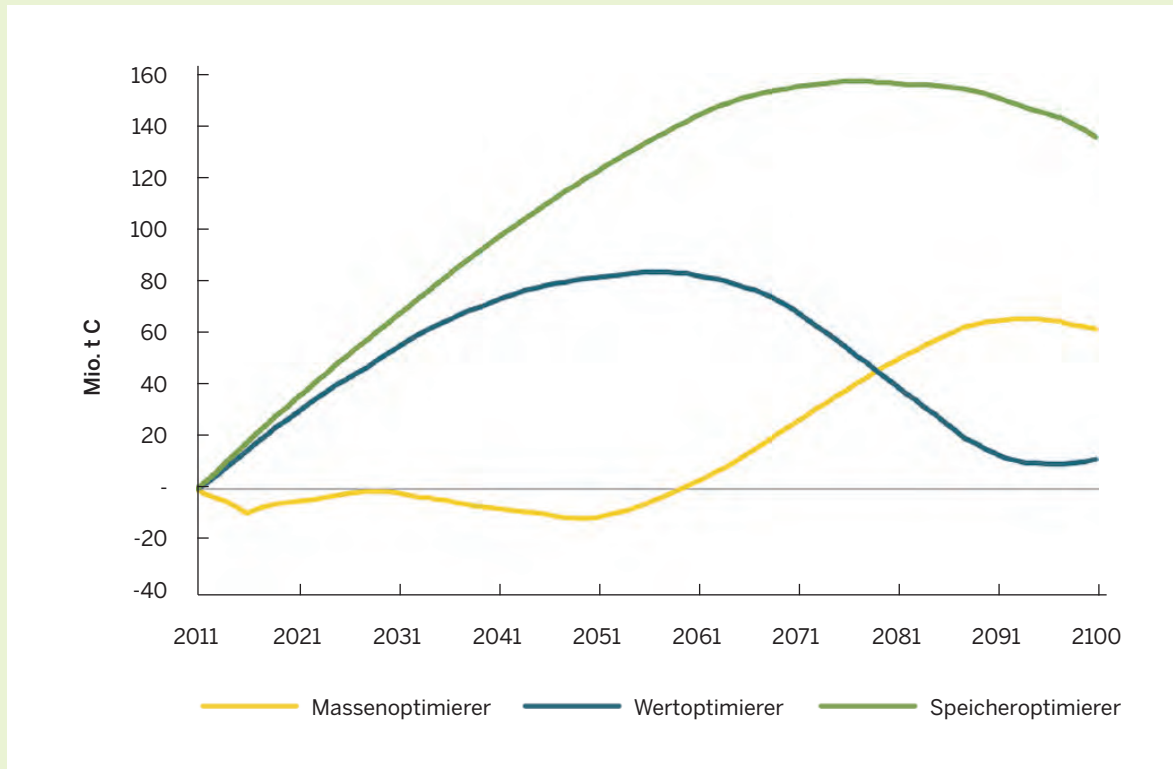


Abbildung 15: Summen der Kohlenstoffspeicher im Waldsektor von 2011 bis 2100 für die Grundscenarien

Die Kombinationsszenarien zeigen durchweg positive Speicherleistungen. Durch die höheren Anteile der Grundscenarios „Speicheroptimierer“ und „Ohne Nutzung“ ist die Speicherleistung des Kombinationsszenarios „Schutz“ am höchsten.

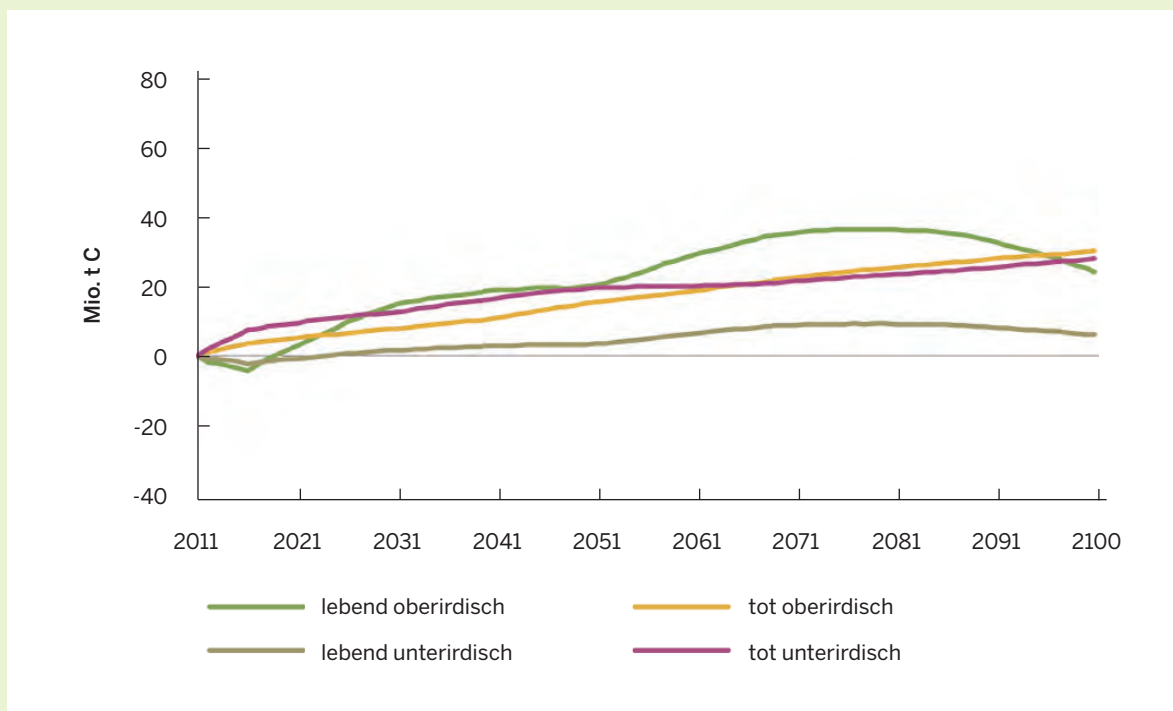


Abbildung 16: Entwicklung der Kohlenstoffspeicher im Wald von 2011 bis 2100 für das Kombinationsszenario „Nutz“

**101 Modellierung der zukünftigen Klimaschutzleistung des nordrhein-westfälischen Waldes und der Verwendung nordrhein-westfälischen Holzes**

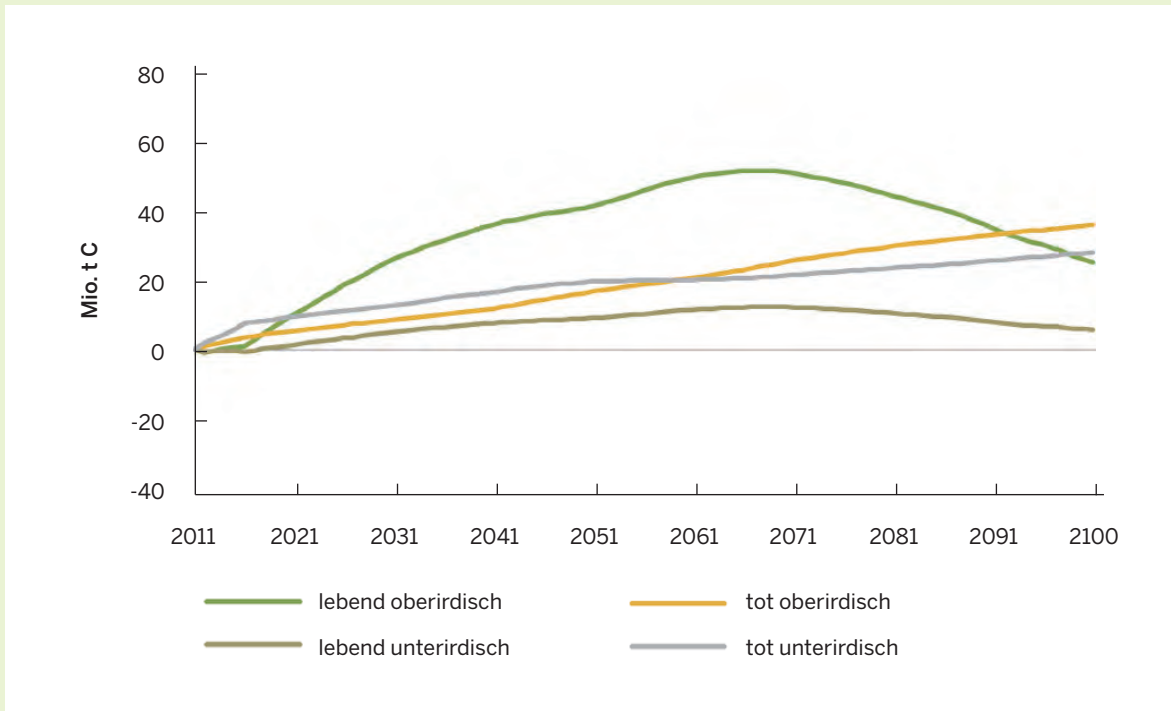


Abbildung 17: Entwicklung der Kohlenstoffspeicher im Wald von 2011 bis 2100 für das Kombinationsszenario „Erhalt“

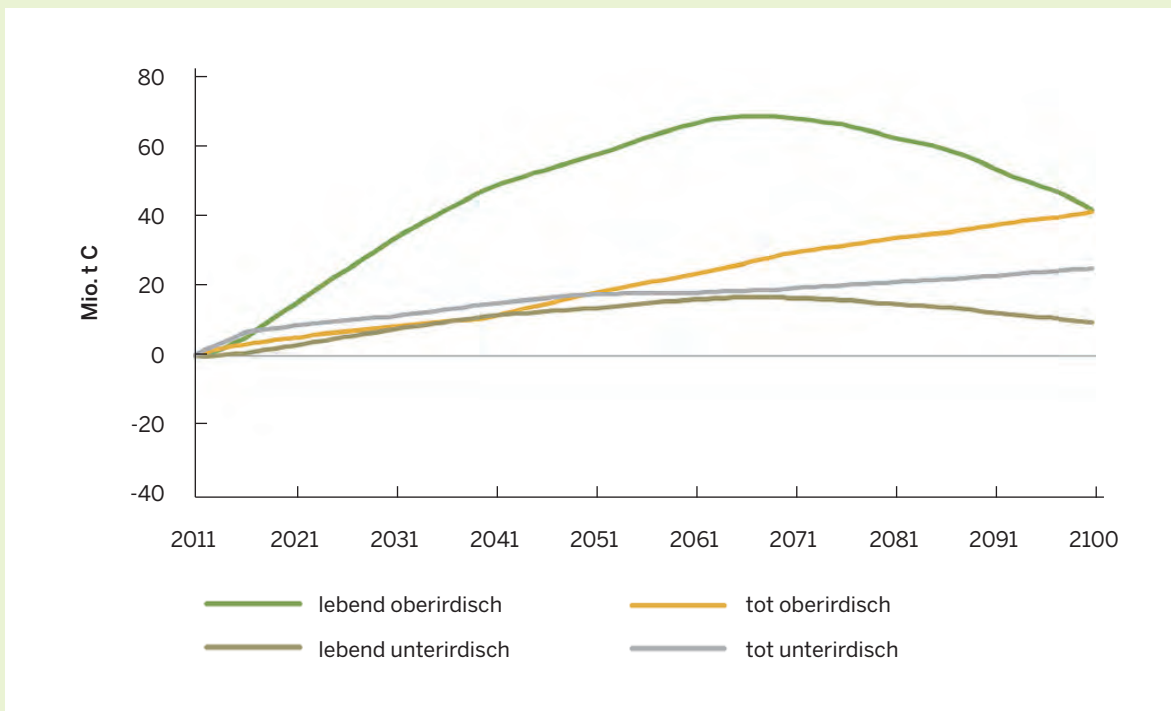
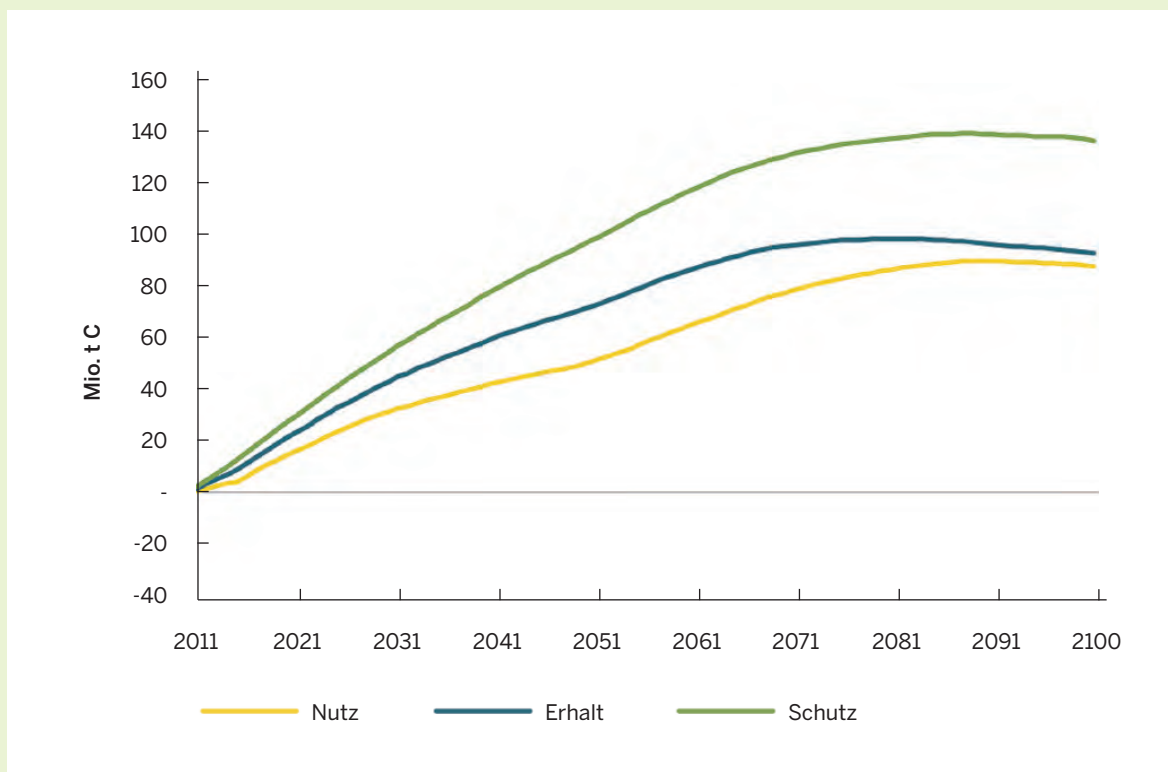


Abbildung 18: Entwicklung der Kohlenstoffspeicher im Wald von 2011 bis 2100 für das Kombinationsszenario „Schutz“

**102 Modellierung der zukünftigen Klimaschutzleistung des nordrhein-westfälischen Waldes und der Verwendung nordrhein-westfälischen Holzes**



**Abbildung 19:** Entwicklung der Summe der Kohlenstoffspeicher im Wald von 2011 bis 2100 für die Kombinationsszenarien

Speicher	Massenoptimierer [Mio. t C]	Wertoptimierer [Mio. t C]	Speicheroptimierer [Mio. t C]
lebend oberirdisch	21,7	-32,8	57,5
abgestorben oberirdisch	10,9	26,0	43,0
lebend unterirdisch	6,5	-8,5	12,0
abgestorben unterirdisch	22,5	26,9	23,3
Summe	61,6	11,6	135,8

**Tabelle 20:** Leistungen der ober- und unterirdischen jeweiligen lebenden und toten Kohlenstoffspeicher [Mio. t C] für die Grund-szenarien bis zum Jahre 2100 für NRW

	Massenoptimierer [Mio. t C]	Wertoptimierer [Mio. t C]	Speicheroptimierer [Mio. t C]
Summe der Speicher	61,6	11,5	135,8
Summe Rohholzproduktion	264,9	246,8	135,2
Summe	326,5	258,3	271,0
in Prozent des Wertoptimierer	126,4 %	100,0 %	104,9 %

**Tabelle 21:** Speichersummen und Rohholzproduktion in Kohlenstoffspeicher [Mio. t C] für die Grund-szenarien als Summe von 2011 bis zum Jahre 2100 für NRW

**103 Modellierung der zukünftigen Klimaschutzleistung des nordrhein-westfälischen Waldes und der Verwendung nordrhein-westfälischen Holzes**

Speicher	Nutz [Mio. t C]	Erhalt [Mio. t C]	Schutz [Mio. t C]
lebend oberirdisch	20,7	21,2	39,6
abgestorben oberirdisch	25,7	30,5	39,2
lebend unterirdisch	5,2	4,8	9,0
abgestorben unterirdisch	23,8	23,8	23,8
Summe	75,4	80,3	111,6

**Tabelle 22:** Leistungen der ober- und unterirdischen jeweiligen lebenden und toten Kohlenstoffspeicher [Mio. t C] für die Kombinationsszenarien bis zum Jahre 2100 für NRW

	Nutz [Mio. t C]	Erhalt [Mio. t C]	Schutz [Mio. t C]
Summe der Speicher	75,4	80,3	111,6
Summe Rohholzproduktion	221,2	204,9	169,9
Summe	296,6	285,2	281,5
in Prozent des Erhaltszenarios	104,0 %	100,0 %	98,7 %

**Tabelle 23:** Speichersummen und Rohholzproduktion in Kohlenstoffspeicher [Mio. t C] für die Kombinationsszenarien als Summe von 2011 bis zum Jahre 2100 für NRW

	Massenoptimierer [Mio. t C]	Wertoptimierer [Mio. t C]	Speicheroptimierer [Mio. t C]
lebend oberirdisch	-31,7	44,9	77,5
abgestorben oberirdisch	9,2	12,3	16,4
lebend unterirdisch	-10,0	9,9	19,3
abgestorben unterirdisch	21,6	14,3	8,8
Summe	-10,9	81,4	122,0

**Tabelle 24:** Leistungen der ober- und unterirdischen jeweiligen lebenden und toten Kohlenstoffspeicher [Mio. t C] für die Grundszenarien bis zum Jahre 2050 für NRW

**104 Modellierung der zukünftigen Klimaschutzleistung des nordrhein-westfälischen Waldes und der Verwendung nordrhein-westfälischen Holzes**

	<b>Massenoptimierer</b> [Mio. t C]	<b>Wertoptimierer</b> [Mio. t C]	<b>Speicheroptimierer</b> [Mio. t C]
Summe der Speicher	-10,9	81,4	122,1
Summe Rohholzproduktion	138,7	76,6	40,7
Summe	127,8	158,0	162,8
in Prozent des Wertoptimierer	80,8 %	100,0 %	103,0 %

**Tabelle 25:** Speichersummen und Rohholzproduktion in Kohlenstoffspeicher [Mio. t C] für die Grundszenarien als Summe von 2011 bis zum Jahre 2050 für NRW

Speicher	<b>Nutz</b> [Mio. t C]	<b>Erhalt</b> [Mio. t C]	<b>Schutz</b> [Mio. t C]
lebend oberirdisch	17,4	35,2	54,5
abgestorben oberirdisch	13,2	14,3	17,0
lebend unterirdisch	3,0	7,8	13,0
abgestorben unterirdisch	16,7	16,7	16,7
Summe	50,3	74,0	101,1

**Tabelle 26:** Leistungen der ober- und unterirdischen jeweiligen lebenden und toten Kohlenstoffspeicher [Mio. t C] für die Kombinations-szenarien bis zum Jahre 2050 für NRW

	<b>Nutz</b> [Mio. t C]	<b>Erhalt</b> [Mio. t C]	<b>Schutz</b> [Mio. t C]
Summe der Speicher	50,3	74,0	101,1
Summe Rohholzproduktion	96,6	81,1	63,4
Summe	146,9	155,1	164,5
in Prozent des Erhaltszenarios	94,8 %	100,0 %	106,1 %

**Tabelle 27:** Speichersummen und Rohholzproduktion in Kohlenstoffspeicher [Mio. t C] für die Kombinationsszenarien als Summe von 2011 bis zum Jahre 2050 für NRW



## 6.2 Szenarien/Simulation der Klimaschutzwirkung von Wald- und Holzverwendung bis 2100

### 6.2.1 Methodische Annahmen

In Kapitel 6.1 wurde eine Simulation der potenziellen Waldentwicklung von 2002 bis 2100 erstellt. Hierbei wurden mithilfe der Szenarienanalyse potenzielle zukünftige Entwicklungspfade – abhängig von der forstlichen Bewirtschaftungsform – aufgezeigt. Für diese Bewirtschaftungsformen wurden jeweils die Entwicklung des Kohlenstoffvorrats im Wald und die jährlich entnommenen Rohholzmengen bestimmt.

Diese Rohstoffmengen bilden den Übergang vom System Wald zum System Holzwirtschaft. Die Rohholzmengen wurden entsprechend des in Kapitel 5.1.2 beschriebenen (historischen) Nutzungsschlüssels baum- bzw. holzartenspezifisch Verwendungen zugeordnet (Produkte mit langer, mittlerer und kurzer Lebensdauer sowie Energieholz).

Auf Basis der methodischen Annahmen in Kapitel 5 werden in diesem Kapitel Szenarien für (mögliche) zukünftige Klimaschutzleistungen von Wald und Holzverwendung in Nordrhein-Westfalen erstellt.

Die Szenarien beginnen im Jahr 2011 und enden 2100. Grundlage für die Szenarien ist das Leitmodell III „Was leisten nordrhein-westfälischer Wald und daraus entnommenes Holz?“ (vgl. Tabelle 2 bzw. Tabelle 11). Die für dieses Modell getroffenen Annahmen (vgl. Kapitel 5) wurden für die Fortschreibung und Modellierung der Holzverwendung (Holzspeicher, Emissionsreduktion durch energetische und stoffliche Substitution) bis 2100 übernommen.

An dieser Stelle muss auch für diese Berechnungen darauf hingewiesen werden, dass es sich um keine Prognosen der zukünftigen Klimaschutzleistung handelt, sondern um eine Simulation mit verschiedenen Szenarien. Sie soll Politik, Forstverwaltung und auch allen sonstigen Stakeholdern (Holzwirtschaft, Naturschutzorganisationen etc.) helfen, Entscheidungen im Hinblick auf eine zukünftige Waldbewirtschaftung und Holzverwendung unter Einbeziehung von Klimaschutzwirkungen zu treffen.

Die aus der Holzverwendung resultierende Klimaschutzleistung wird im Folgenden gemeinsam mit der Senkenleistung des Waldes/Waldspeichers dargestellt.<sup>99</sup> Diese gemeinsame Darstellung ist inhaltlich gerechtfertigt, denn nur so wird man dem ganzheitlich-systemischen Ansatz der Studie gerecht.

**Grundlage: Entwicklung des Kohlenstoffspeichers des Waldes in Abhängigkeit der gewählten Szenarien in Kapitel 6.1**

**Jährliche Rohholzmengen bilden Übergang vom System Wald zum System der Holzwirtschaft**

**Simulationsmodell auf Grundlage der methodischen Annahmen des Leitmodells III (Tabelle 2)**

**Szenarien und keine Prognosen**

**Darstellung der Klimaschutzleistung des Gesamtsystems Wald–Holznutzung im Vergleich zur Senkenleistung des Waldes**

---

<sup>99</sup> Auf ein eigenes Kapitel, das lediglich die Holznutzung (ohne Waldspeicher) darstellt, wird verzichtet. Ein solches Kapitel wäre zu diesem Kapitel zu redundant.

Zu den in Kapitel 6.1 auf Basis der Modellierung berechneten Werten für die Klimaschutzleistung des Waldes (Kohlenstoffspeicher Wald – C-Senke Wald) werden die Werte der Klimaschutzleistungen aus der Holzverwendung addiert und grafisch dargestellt. In den Abbildungen dieses Kapitels wird die so ermittelte Klimaschutzleistung des Gesamtsystems Wald–Holz der Klimaschutzleistung der Senkenleistung des Waldes gegenübergestellt.

**Senken durch Speicher und Emissionsminderung durch Substitution kann man hinsichtlich ihrer Wirkung gleichsetzen (bei dauerhafter Sicherstellung des Monitorings der Speicherentwicklung)**

Obwohl sich die Klimaschutzleistung durch Speicher/Senken systematisch von der Klimaschutzleistung durch Emissionsminderung aufgrund von Energieeinsparung (energetische und stoffliche Substitution) unterscheidet, ist es gerechtfertigt, diese beiden Klimaschutzleistungen im Hinblick auf ihre kurz- und mittelfristige Wirkung gleichzusetzen und sie wertmäßig zu addieren. Sowohl Speicher als auch Substitutionen bewirken eine Verringerung der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre: Speicher durch Aufnahme und Bindung atmosphärischen Kohlenstoffs in Bäumen bzw. in Holz und Substitutionen durch Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen durch die Vermeidung von Verbrennung fossiler Brennstoffe. Da Speicher und Senken temporäre Größen sind, existiert jedoch eine Bedingung für diese Gleichsetzung: Die Überwachung der Entwicklung von Senken und Speicher muss dauerhaft durch ein entsprechendes Monitoring sichergestellt sein. Dies geschieht für den Waldspeicher auf Ebene des Bundes durch die Berichterstattung zum Nationalen THG-Inventar (Oehmichen et al. 2011) und kann in Bezug auf die Holzspeicher unter Anwendung der in Kapitel 5.3.1 beschriebenen Methode erfolgen. Bei dem dauerhaften Nachweis der Entwicklung des Holzspeichers sind jedoch auch andere Methoden möglich und zulässig (z. B. könnte auch die CO<sub>2</sub>-Bank des Landesbeirats Wald und Holz NRW einen Beitrag zum Monitoring leisten).

**Ziel der Szenarien: Relative Beurteilung von Bewirtschaftungsformen im Wald und der Holznutzung**

**Daher: keine Berücksichtigung des Holzspeichers im Jahr 2010**

Die Szenarien betrachten die Entwicklung ab 2011.<sup>100</sup> Der (historische) Holzspeicher, der zu diesem Zeitpunkt nur mit einer gewissen Ungenauigkeit bestimmt werden kann, wird nicht einbezogen. Das heißt, das Ausscheiden dieses „Alt“-Holzes aus dem Holzspeicher von 2011-2100 wird nicht berücksichtigt – es ist für die relative Bewertung der Szenarien irrelevant. Da gemäß der nach IPCC getroffenen Annahmen unterstellt wird, dass das Ausscheiden aus dem Holzspeicher unabhängig von dem Input an Fertigprodukten in den Holzspeicher ist (vgl. Kapitel 5.3.2),<sup>101</sup> vermeidet diese Betrachtung Fehler, die sich durch eine ungenaue Bewertung des Altspeichers ergeben könnten.<sup>102</sup> Ziel der Szenarien ist in erster Linie die relative Beurteilung der Bewirtschaftungsformen unter Einbezug der Holzverwendung. Dieses kann auf diese Weise unverfälscht geschehen. Daher wird in den Abbildungen in diesem Kapitel das Ausscheiden des „Alt“-Holzes

100 Die Simulationen unterstellen als Beginn des Simulationslaufes das Jahr 2011. Die dargestellte Entwicklung ab 2011 beschreibt also nicht die Vorratsveränderung bzw. die Klimaschutzleistung für 2011, sondern sie beschreibt, welche Klimaschutzleistung sich ab 2011 ergeben hätte, hätte man im Jahr 2011 das Forstmanagementsystem entsprechend den Annahmen der Szenarien umgestellt.

101 keine Interdependenzen von In- und Output

102 Abweichungen ergäben sich nur relativ, absolut würde der Abbau des Altspeichers natürlich nur die ausgewiesene Klimaschutzleistung aller Szenarien um den gleichen Betrag senken.

aus dem Holzspeicher nicht berücksichtigt. In den Tabellen, die für die Zeiträume 2011–2050 und 2011–2100 die absolute Klimaschutzleistung differenziert nach Wald- und Holzspeicher und energetischer Substitution ausweisen, wird jedoch das Ausscheiden des „Alt“-Holzes berücksichtigt.

Dazu wird, wie in Kapitel 5.3.2 ausgeführt, von einem Holzspeicher von ca. 18 Mio. t C für 2010 ausgegangen. Ausgehend von diesem Holzspeicher mit 18 Mio. t C (2010) kann man einen Speicherabbau von ca. 85 % dieses Wertes bis zum Jahr 2100 ableiten (teilweise Rückführung des ausscheidenden Holzes über Recycling), so dass man von einem Speicherabbau von ca. 15 Mio. t C bis zum Jahr 2100 für den Altspeicher ausgehen kann (bis 2050: 10 Mio. t C).

In Kapitel 5.1.5 wurde der Substitutionsfaktor für die Emissionsreduktion durch energetische Substitution auf  $SF_{EN} = 0,67 \text{ t C/t C}$  festgelegt. Dieser Faktor basiert auf der Annahme der Substitution von leichtem Heizöl als fossilem Energieträger durch Holz (Rüter 2011a). Dieser Wert entspricht auch dem Wert, der sich (heute) bei der Ableitung aus dem heutigen fossilen Energiemix ergibt. Für diese Vergleichsrechnung wurden die vom Umweltbundesamt vorgeschlagene Methode und der dort vorgeschlagene Energiemix verwendet (UBA 2009, 2012a, b).

Für die Berechnung der zukünftigen Klimaschutzleistung bis 2100 ist es entscheidend, welche Annahme man bezüglich der Festlegung des Substitutionsfaktors trifft. Folgende Annahmen sind dabei möglich:

1. Weitere Beibehaltung des bislang verwendeten Faktors von  $SF_{EN} = 0,67 \text{ t C/t C}$  als Mittelwert eines fossilen Energiemixes für den Zeitraum 2011–2100<sup>103, 104</sup>,
2. Annahme einer Substitution mit Berücksichtigung des in Nordrhein-Westfalen eingesetzten Energieträgers Braunkohle mit einem Substitutionsfaktor von  $SF_{EN} = 1,0 \text{ t C/t C}$  für den Zeitraum 2011–2100<sup>105</sup>
3. Anlehnung des Substitutionsfaktors an die Prognose eines sich verändernden allgemeinen Energiemixes mit zukünftig sinkenden  $CO_2$ -Emissionen

Aus Sicht der Autoren der Studie ist es sinnvoll, einen Substitutionsfaktor anzuwenden, der die Substitution fossiler Energieträger zugrunde legt. Mit dieser Auffassung ist man konform zu der

**Zur Berechnung der absoluten Klimaschutzleistung wird der Holzspeicher 2010 mit einem Speicherinhalt von 18 Mio. t C berücksichtigt**

**Szenarien im Hinblick auf unterschiedliche Annahmen bezüglich der zu substituierenden Energie**

**Annahme der Substitution fossiler Energieträger ist sinnvoll und methodisch geboten**

103 Wie sich der fossile Energiemix bis 2050 bzw. 2100 verändert, ist zum jetzigen Zeitpunkt nicht absehbar. Daher wird der heutige fossile Energiemix der Modellierung bis 2100 zugrunde gelegt. Diese Annahme ist dadurch gestützt, dass es wahrscheinlich ist, dass auf der einen Seite die Bedeutung von Gas als fossilem Energieträger mit niedrigeren  $CO_2$ -Emissionen steigt, auf der anderen Seite aber auch die Bedeutung von Braunkohle mit deutlich höheren Emissionen und sich diese beiden Effekte ausgleichen. Der Aufbau von erneuerbaren Energieträgern, vor allem bei Strom (Wind, Photovoltaik), wird durch das kurz- und mittelfristige Ausscheiden der Kernenergie für (noch) unbestimmte Zeit ausgeglichen. Sollten im Prozess der Erarbeitung des Klimaschutzplans genauere Prognosen hinsichtlich der Entwicklung des fossilen Energiemix erstellt werden, so könnten diese zukünftig in die Modellierung miteinfließen.

104 Es wird davon ausgegangen, dass die zukünftigen Effizienzgewinne bei der fossilen Energiegewinnung und der Verbrennung von Holz gleich groß sind, so dass sich bei gleichem Energiemix der Substitutionsfaktor nicht ändert.

105 Wie für den fossilen Energiemix angenommen (siehe vorherige Fußnote), wird auch für die Nutzung der Braunkohle davon ausgegangen, dass die zukünftigen Effizienzgewinne bei der Energiegewinnung und der Verbrennung von Holz gleich groß sind, so dass sich bei dem Vergleich mit Braunkohle der Substitutionsfaktor nicht ändert.

nationalen Berichterstattung des Bundesumweltministeriums (BMU), dessen Datenherleitung sich auf den Methodenvorgaben des Umweltbundesamtes „Bioenergie – Datengrundlagen für die Statistik der erneuerbaren Energien und Emissionsbilanzierung“ gründet (UBA 2012a).<sup>106</sup> Beim Umweltbundesamt wird auch die Datenbank zur Emissionsberichterstattung nach UNFCCC und nach dem Genfer Luftreinhalteprotokoll geführt (Zentrales System Emissionen ZSE). Das heißt, die Berichterstattung ist methodisch auch international angebunden (UBA 2009: 7).

Das Umweltbundesamt definiert den Begriff des Substitutionsfaktors (SF): „Ein Substitutionsfaktor beschreibt, in welchem Maße bestimmte Energieträger durch einen anderen Energieträger ersetzt werden. In diesem Bericht beschreiben die Substitutionsfaktoren insbesondere den Ersatz fossiler Primär- und Sekundärenergieträger durch erneuerbare Energien“ (UBA 2009: 6 f.).<sup>107</sup> Dieser Festlegung des UBA wird in dieser Studie gefolgt. Die Annahme einer Substitution in Bezug auf den allgemeinen Energiemix wird jedoch aus Transparenzgründen ebenfalls betrachtet.

**Substitutionsfaktor auf Basis der Substitution fossiler Energieträger auch inhaltlich begründet**

Die vom UBA festgelegte und hier verwendete Methode ist inhaltlich begründet: In der Klimaschutzpolitik in Deutschland bzw. Nordrhein-Westfalen werden erneuerbare bzw. CO<sub>2</sub>-freie Energieträger gefördert. Fossile Energieträger sollen nach und nach durch erneuerbare Energieträger ersetzt werden. Also findet eine Substitution fossiler Energieträger statt. Es findet keine gleich verteilte Substitution von Energie aus einem allgemeinen Energiemix statt, die beinhalten würde, auch regenerative Energieträger würden durch andere regenerative Energieträger ersetzt.

**Substitution beschreibt den Grenznutzen für den Klimaschutz**

Substitution beschreibt den Grenznutzen für den Klimaschutz. Der Grenznutzen begründet auch, dass die Anwendung des Substitutionsfaktors auf Basis eines Mix fossiler Energieträger aus Sicht der Autoren dieser Studie so lange gerechtfertigt ist, wie Holzprodukte weniger Energie substituieren als insgesamt durch fossile Energieträger bereitgestellt wird.<sup>108</sup> Dies ist so lange der Fall, wie fossile Energieträger in Nordrhein-Westfalen eingesetzt werden, die CO<sub>2</sub>-Emissionen verursachen, die kleiner/gleich der Substitutionsleistung aus der Emissionsminderung durch Holznutzung sind. Es wird erwartet, dass dies bis 2100 der Fall ist.

Das heißt, in den Szenarien zur Darstellung der Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz bis 2100 wird davon ausgegangen,

---

<sup>106</sup> Eine Berücksichtigung der Substitutionseffekte erneuerbarer Energieträger im Vergleich zu fossilen Energieträgern ist methodisch insgesamt sinnvoll – denn würde man solche Maßnahmen, wie sie z. B. auch im Klimaschutzplan berücksichtigt werden, (außerhalb ForstHolz) immer auf den aktuellen Energiemix und nicht auf die Substitution von fossilen Energieträgern beziehen, so ergäben sich dort Zirkelbezüge, die nicht sinnvoll auflösbar sind. So wären z. B. die in der Vergangenheit erbrachten Leistungen auch ständig neu zu bewerten und anzupassen.

<sup>107</sup> Netto-Emissionsbilanzen = vermiedene Emission - verursachte Emission. Die Gleichungsteile sind dabei folgendermaßen definiert: vermiedene Emission = Energieeinsatz \* Substitutionsfaktor \* Emissionsfaktorfossil; verursachte Emission = Energieeinsatz \* Emissionsfaktor (UBA 2012a: 11)

<sup>108</sup> Ein abnehmender Grenznutzen könnte sich darin begründen, dass heute erbrachte Klimaschutzleistungen höher zu bewerten sind als zukünftig erbrachte. Diese Betrachtung kann im Rahmen dieser Studie nicht erfolgen.

## 109 Modellierung der zukünftigen Klimaschutzleistung des nordrhein-westfälischen Waldes und der Verwendung nordrhein-westfälischen Holzes

dass die Annahme einer Substitution gegenüber fossilen Energieträgern über den gesamten Zeitraum gerechtfertigt ist.<sup>109</sup>

Die Basisszenarien (für die Grund- und Kombinationsszenarien) werden auf Basis des vom Umweltbundesamt vorgegebenen bundesweiten fossilen Energiemix erstellt.

Mit der Berechnung auf Basis des bundesweiten vom UBA vorgeschlagenen fossilen Energiemix wird für Nordrhein-Westfalen eine konservative Abschätzung getroffen, denn damit wird die überdurchschnittliche Verwendung von Braunkohle in Nordrhein-Westfalen nicht berücksichtigt. Dies wäre dadurch möglich, dass man einen NRW-spezifischen Energiemix zugrunde legt. Bei einer solchen Annahme wäre die für den nordrhein-westfälischen Cluster ForstHolz ausgewiesene Klimaschutzleistung höher. Aus Gründen der Konformität und Vergleichbarkeit zur bundesweiten Berichterstattung und einer ggf. geplanten Berichterstattung anderer Bundesländer wird darauf verzichtet, hier einen eigenen NRW-Mix zu definieren. Sollte dies aus Gründen der Konformität innerhalb des Klimaschutzplans in Nordrhein-Westfalen notwendig sein, so könnte ein weiteres Szenario erstellt werden.

Es wäre natürlich auch gerechtfertigt, die Substitutionsleistung nicht nur auf Basis der Substitution eines fossilen Energiemix zu berechnen, sondern auch auf Basis der Substitution des Energieträgers, der die höchsten CO<sub>2</sub>-Emissionen pro erzeugter Energiemenge erzeugt. Im Falle Nordrhein-Westfalens ist dies die Braunkohle (die in Bezug auf die Energieausbeute deutlich höhere CO<sub>2</sub>-Emissionen verursacht als der fossile bundesweite Energiemix). Das heißt, gemäß der inhaltlichen Argumentation zur Berücksichtigung des Grenznutzens von Maßnahmen für den Klimaschutz könnte Braunkohle als zu substituierender Energieträger so lange angesetzt werden, wie die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Braunkohlenutzung die Substitutionsleistung aus der Emissionsminderung durch Holznutzung übersteigen.

Die Annahme, dass Holz als Energieträger Braunkohle substituiert, wird als zusätzliches Szenario ergänzend zum Basisszenario dargestellt. Dabei wird davon ausgegangen, dass Braunkohle bis zum Jahr 2100 in Nordrhein-Westfalen eingesetzt wird.<sup>110</sup>

Das Szenario der Substitution von Braunkohle durch Holz wird zurzeit kontrovers diskutiert, nachdem die Deutsche Energie-Agentur dena (2011) sich in einer Studie mit der Zufeuerung von Holz in Kohlekraftwerken befasst hat und diesem Verfahren eine hohe Wirtschaftlichkeit (im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energieträgern) unterstellt: „Eine Erhöhung des Mitverbrennungsanteils reduziert tendenziell die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten“ (ebd.: 5). Das heißt, die Annahme, dass Holz Kohle, in NRW

**Basisszenario: Substitution auf Basis eines bundesweiten fossilen Energiemix**

**Ein eigener NRW-spezifischer fossiler Energiemix wird aus Konformitätsgründen nicht definiert**

**Ein solcher Energiemix hätte zur Folge, dass eine wahrscheinlich höhere Klimaschutzleistung der Holzverwendung ausgewiesen werden könnte**

**Substitution gegen den jeweiligen Energieträger mit den höchsten CO<sub>2</sub>-Emissionen pro erzeugter Energiemenge ist inhaltlich auch sinnvoll**

**Zusätzliches Szenario: Substitution von Braunkohle**

109 Im Kombinationsszenario II (vgl. Tabelle 2).

110 Sollte es innerhalb des Klimaschutzprozesses in NRW zu einer Festschreibung des Ausstiegs aus der Braunkohle kommen, so könnte die Modellrechnung modifiziert werden. Es würde in diesem Fall nur so lange Braunkohle als zu substituierender Energieträger berücksichtigt werden, wie Braunkohle verwendet wird. Danach würde mit der Substitution des Energieträgers gerechnet, der zu diesem Zeitpunkt dann die höchsten CO<sub>2</sub>-Emissionen verursacht.

## 110 Modellierung der zukünftigen Klimaschutzleistung des nordrhein-westfälischen Waldes und der Verwendung nordrhein-westfälischen Holzes

Braunkohle, ersetzt, ist auch vor dem Hintergrund dieser aktuellen Diskussion durchaus gerechtfertigt.

Die Substitution von Braunkohle wird nur als zusätzliches Szenario betrachtet, weil mit dem gewählten Basisszenario besser die Konformität zu anderen Studien sowie eine konservative Abschätzung der Klimaschutzleistung sichergestellt werden.

### Zusätzliches Szenario: Substitution von Energieträgern gemäß dem allgemeinen Energiemix bei stark zunehmenden Anteilen erneuerbarer Energie

Neben dem Basisszenario (Substitution fossiler Energieträger) und dem Szenario der Substitution von Braunkohle wird aus Gründen der Transparenz auch das Szenario dargestellt, das einen allgemeinen Energiemix, also nicht nur fossile Energieträger bei der Substitution von Energieträgern zugrunde legt.

Dabei werden die Vorgaben des Klimaschutzgesetzes NRW bzw. die Planungen des Klimaschutzplans NRW<sup>111</sup> berücksichtigt. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen sollen bis 2050 um 80 % (bis 2020 um 25 %) reduziert werden (Bezug ist das Basisjahr 1990). Aussagen in Bezug auf das Jahr 2100 werden im Klimaschutzprozess in NRW nicht getroffen. Es wird daher angenommen, dass es zwischen 2050 und 2100 zu einer linearen Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen auf null kommt.<sup>112</sup>

Auf Basis dieser Annahmen ergibt sich bis 2100 folgende Entwicklung des Substitutionsfaktors:

$$2010 \text{ SF}_{\text{EN } 2010} = 0,67 \text{ t C/t C}$$

$$2020 \text{ SF}_{\text{EN } 2020} = 0,58 \text{ t C/t C}$$

$$2050 \text{ SF}_{\text{EN } 2050} = 0,16 \text{ t C/t C}$$

$$2100 \text{ SF}_{\text{EN } 2100} = 0,00 \text{ t C/t C}$$

Zeitpunkte zwischen diesen genannten Zeitpunkten werden linear interpoliert. Die Grundlage zu den Berechnungen finden sich im Anhang 11 (Kapitel 13.3).

### Anpassung des Substitutionsfaktors für die stoffliche Substitution

Der Substitutionsfaktor für die stoffliche Substitution von heute  $\text{SF}_{\text{MA } 2010} = 1,5 \text{ t C/t C}$  ist für den Zeitraum 2011–2100 nur für die Annahme „Beibehaltung des bislang verwendeten Faktors von  $\text{SF}_{\text{En}} = 0,67 \text{ t C/t C}$ “ anzuwenden. Für die Annahmen einer Substitution von Braunkohle bzw. einer Substitution von Energie aus einem allgemeinen Energiemix wird er entsprechend relativ zu der Änderung des Substitutionsfaktors für die energetische Substitution angepasst.<sup>113</sup>

### Weitere Szenarien:

#### Variation des Substitutionsfaktors für die stoffliche Substitution

Neben der Variation des Faktors für die energetische Substitution wird auch der Faktor für die stoffliche Substitution variiert (Kapitel 6.2.2.3 und 6.2.3.3) und ein eigenes Szenario bis 2100 erstellt. Eine solche Veränderung würde sich zum Beispiel bei anderen Nutzungs- und Verwertungsstrategien von Holz ergeben.

111 [https://www.umwelt.nrw.de/klima/pdf/eckpunkte\\_klimaschutzplan.pdf](https://www.umwelt.nrw.de/klima/pdf/eckpunkte_klimaschutzplan.pdf)

112 Festlegung gemäß einer Besprechung zur „Methodik zur Berechnung des CO<sub>2</sub>-Speichers Wald/Holzprodukte“ im MKULNV am 18.09.2012.

113 Wenn sich der allgemeine Energiemix ändert, ändert sich der (rechnerische) Einsatz der Energieträger für die durch Holz substituierten Produkte. Dadurch ändert sich auch der Substitutionsfaktor  $\text{SF}_{\text{MA}}$ .

## 111 Modellierung der zukünftigen Klimaschutzleistung des nordrhein-westfälischen Waldes und der Verwendung nordrhein-westfälischen Holzes

Um den Einfluss eines höheren Substitutionsfaktors auf die Klimaschutzleistung darzustellen, wird in diesem Szenario jedoch keine fiktive Veränderung des Substitutionsfaktors unterstellt, sondern die Modellannahme des von Thünen-Instituts (vTI) zur Berechnung von Klimaschutzleistungen der Forst- und Holzwirtschaft. Es wird gezeigt, wie sich die Klimaschutzleistung bis 2100 verändert, wenn der von den Wissenschaftlern des vTI vorgeschlagene und verwendete Substitutionsfaktor von  $SF_{MA} = 2,1 \text{ t C/t C}^{114}$  angewandt wird (Rüter et al. 2011).

In den Basisszenarien wird bis 2100 die historische Holzverwendung zur Berechnung der Klimaschutzleistung zugrunde gelegt. Diese Verwendung geht von einem (holzartenspezifischen) Anteil an stofflich wie auch energetisch genutztem Holz aus.

Die Basisszenarien werden in Kapitel 6.2.4.1 mit folgenden Modellannahmen variiert:

1. Das vorhandene Rohholz wird vollständig energetisch genutzt.
2. 50 % des bislang energetisch genutzten Rohholzes und der Resthölzer aus der Sägeindustrie können zukünftig stofflich genutzt werden (in Anwendungen für Produkte mit einer mittleren Lebensdauer).
3. 100 % des bislang energetisch genutzten Rohholzes und der Resthölzer aus der Sägeindustrie können zukünftig stofflich genutzt werden (in Anwendungen für Produkte mit einer mittleren Lebensdauer).

Ist eine ausschließlich energetische Nutzung unter bestimmten Annahmen vorstellbar, so ist die unter 3. beschriebene Variation eine sehr unwahrscheinliche Betrachtung. Die unter 2. beschriebene Variation stellt eine Abschätzung der aus Sicht der Holzprodukteherstellung möglichen technischen und wirtschaftlichen Obergrenze der stofflichen Nutzung dar.

Die Szenarien gehen davon aus, dass nach heutigem Stand 20 % der aus dem Holzproduktespeicher ausscheidenden Holzprodukte recycelt werden (in der Regel Herstellung von Spanplatten). Die Ausbeute in diesem Recyclingdurchlauf (vom Altholz bis zum Fertigprodukt) wird mit 60 % angenommen, so dass 12 % der insgesamt stofflich eingesetzten (Rohholz-)Menge letztlich in recycelten Fertigprodukten verwendet werden.

Es wird davon ausgegangen, dass 80 % des aus dem Holzproduktespeicher ausscheidenden Holzes einer Verwendung zugeführt werden (60 % des Altholzes werden energetisch und 20 % stofflich in einem Recyclingdurchlauf genutzt). Es wird angenommen, dass die in einem Recyclingdurchlauf genutzten Holzprodukte im End of Life ebenfalls zu 80 % energetisch verwendet werden. Ein mehrfaches Recycling wird in den Szenarien nicht betrachtet.

**Szenario zur Kaskadennutzung:  
Erhöhung der stofflichen Nutzung vs. Erhöhung der energetischen Nutzung**

**Szenario zur Kaskadennutzung:  
Veränderung der Recyclingquote**

114 Rüter et al. (ebd.) differenzieren den Faktor, der von Sathre/O'Connor 2010 veröffentlicht wurde, nicht in Herstellung und End of Life. Sie wenden ihn für den Herstellungsprozess an. Diese Vorgehensweise wird bei diesem Szenario übernommen. Die energetische Verwertung wird jedoch zeitgenau zum Zeitpunkt der energetischen Verwertung berechnet.

Diese Grundannahmen werden durch die Variation des Basisszenarios mit einer veränderten Recyclingquote (0 %, 40 %, 60 % und 80 %) ergänzt (Kapitel 6.2.4.2). Es wird auch gezeigt, welche Auswirkung es hat, wenn im Recyclingprozess nicht nur 60 % des eingesetzten Altholzes stofflich verwertet werden, sondern die Ausbeute auf 65 % steigt.

## 6.2.2 Klimaschutzwirkung von Forst- und Holzverwendung bis 2100 – Ergebnisse basierend auf den Grundszenarien der waldbaulichen Simulation

### 6.2.2.1 Basisszenario (zu den Grundszenarien der waldbaulichen Simulation)

#### Darstellung Gesamtsystem Wald–Holzverwendung

Abbildung 20 zeigt die Entwicklung der Klimaschutzleistungen für die Grundszenarien kumuliert von 2011–2100. Die durchgezogenen Linien stellen alle Klimaschutzleistungen des Gesamtsystems Wald–Holzverwendung (Wald- und Holzspeicher und Emissionsreduktion durch energetische und stoffliche Substitution) für die drei Grundszenarien dar (vgl. Tabelle 12). Die gepunkteten Linien zeigen im Vergleich die Entwicklung des Waldspeichers bis 2100.

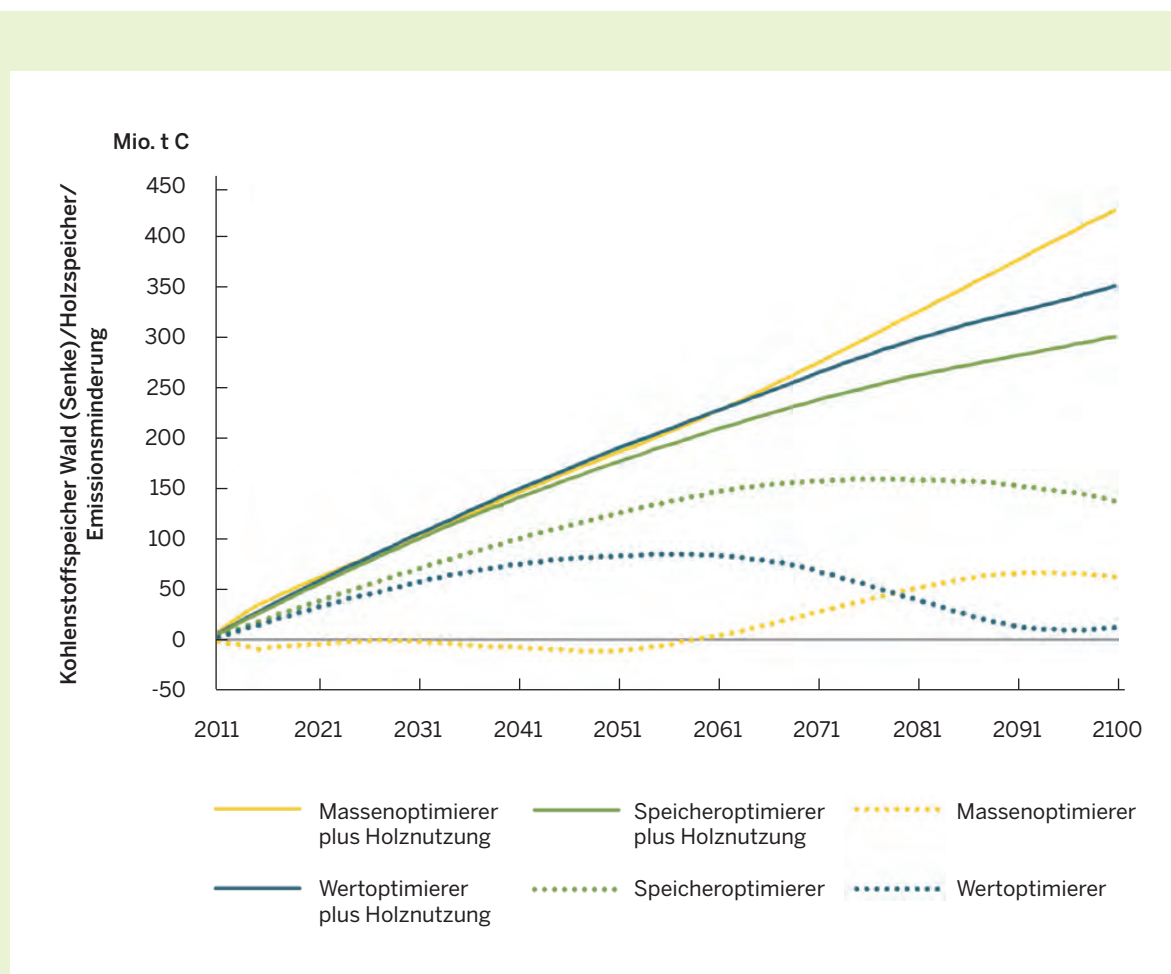


Abbildung 20: Entwicklung (kumuliert) der Kohlenstoffspeicher (2011 bis 2100) im Wald für die Grundszenarien (gepunktete Linien) und für alle Klimaschutzleistungen des Systems Wald–Holzverwendung (Wald- und Holzspeicher und Emissionseinsparung durch energetische und stoffliche Substitution; durchgezogene Linien)



### 113 Modellierung der zukünftigen Klimaschutzleistung des nordrhein-westfälischen Waldes und der Verwendung nordrhein-westfälischen Holzes

Die Klimaschutzleistung der drei Szenarien ist bis 2030 in etwa gleich groß, wobei eine höhere jährliche Klimaschutzleistung des Massenoptimierers bis 2020 durch eine geringere jährliche Leistung von 2020 bis 2030 ausgeglichen wird.

Ab 2030 ist die Klimaschutzleistung des Speicheroptimierers geringer als die Klimaschutzleistung der beiden anderen Szenarien. Bis 2065 ist die Klimaschutzleistung des Massenoptimierers gleich der des Wertoptimierers. Danach ist die Gesamtleistung des Massenoptimierers am größten.

Für die einzelnen Szenarien werden im Folgenden (Abbildungen 21 bis 26) die Wald- und Holzspeicher und Emissionsminderungen durch energetische und stoffliche Substitution differenziert gezeigt (jeweils kumuliert wie auch jährlich).

Wert- und Speicheroptimierer zeigen von 2010 bis 2100 eine abnehmende jährliche Klimaschutzleistung. Im Gegensatz dazu weist das Szenario Massenoptimierer ab 2050 (nach einer Phase starker Nutzung und deutlich höheren Klimaschutzleistungen bis 2020 und einem geringen Rückgang von 2020 bis 2050) eine gleichbleibende bzw. steigende Klimaschutzleistung von 2050 bis 2090 auf (zwischen 2090 und 2100 leichter Rückgang).

Tabelle 28 und 29 fassen die Ergebnisse des Basisszenarios (Grundszenarios) zusammen. Sie zeigen die durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung in Bezug auf das Jahr 2100 und das Jahr 2050. Die Werte wurden dabei von der Darstellung in den Abbildungen von Mio. t C in Mio. t CO<sub>2</sub> umgerechnet. Der Holzspeicher wurde dynamisch berechnet (unter Einbezug des Altspeichers bis 2010, vgl. Kapitel 6.2.1).<sup>115</sup>

Bis 2050 liegt die durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung des Massenoptimierers 7 % höher als die jährliche Klimaschutzleistung des Speicheroptimierers; bis 2100 liegt sie 43 % höher.

**Massenoptimierer zeigt die größte Klimaschutzleistung**

**Darstellung der einzelnen Klimaschutzleistungen (kumuliert und jährlich)**

**Abnehmende jährliche Klimaschutzleistung bei Wert- und Speicheroptimierer von 2011-2100**

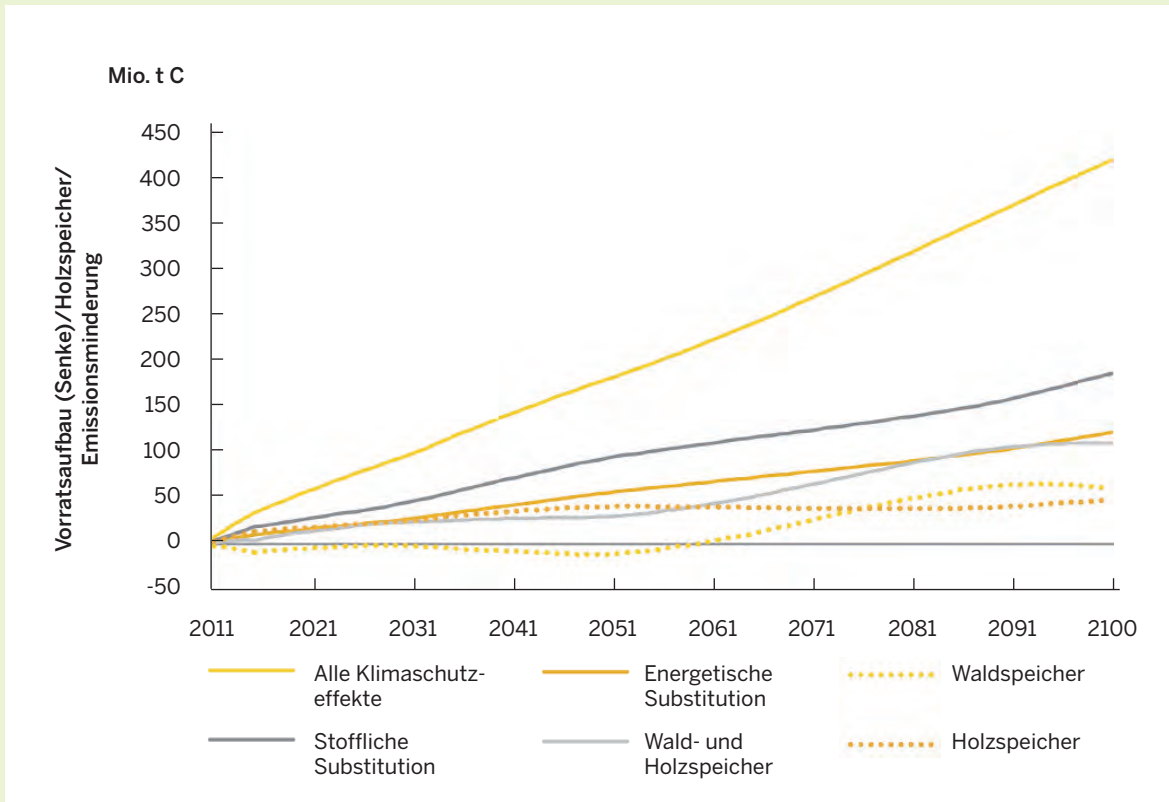
**Konstante bzw. steigende Klimaschutzleistung des Massenoptimierers von 2020-2100**

**Zusammenfassung der Ergebnisse in Tabelle 28 und 29**

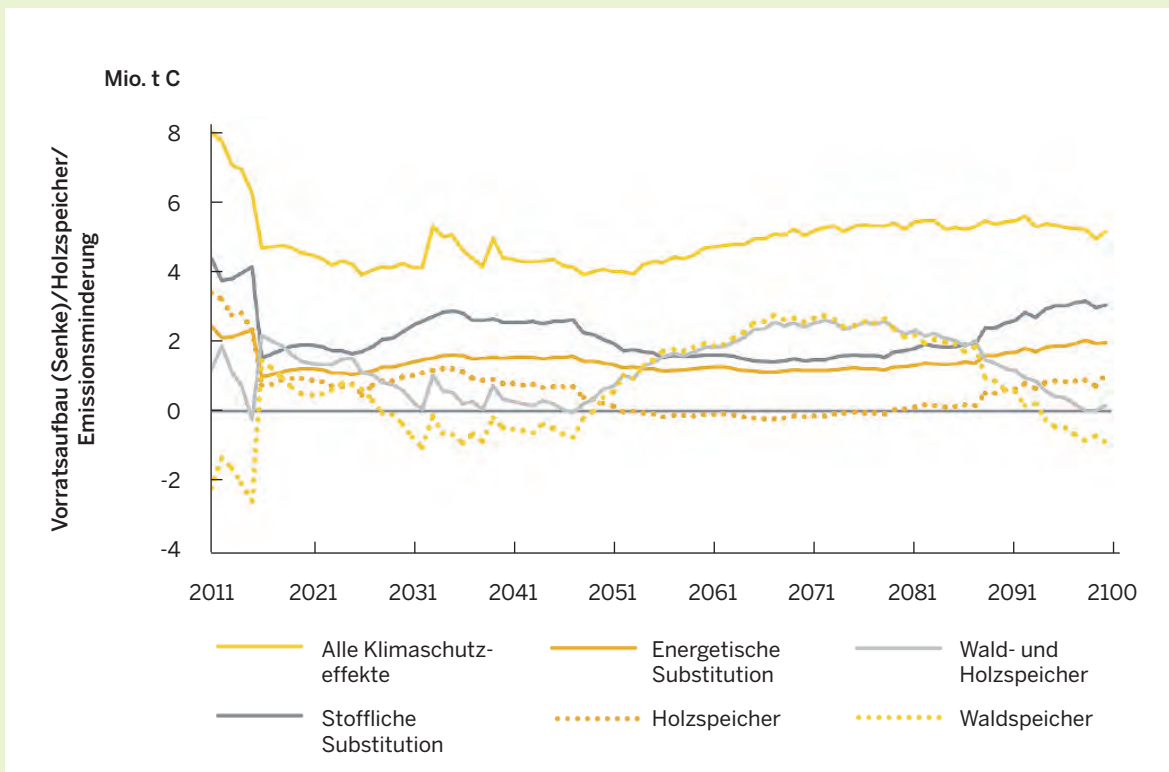
---

115 Diese Methode zur Berechnung des Holzspeichers wird auch in allen folgenden Tabellen angewandt.

**114 Modellierung der zukünftigen Klimaschutzleistung des nordrhein-westfälischen Waldes und der Verwendung nordrhein-westfälischen Holzes**



**Abbildung 21:** Entwicklung (kumuliert) der Klimaschutzleistungen des Massenoptimierers (2011 bis 2100): Entwicklung der Speicher (Wald- und Produktspeicher) und der Substitutionswirkung der Holzverwendung (Emissionseinsparung durch energetische und stoffliche Substitution)



**Abbildung 22:** Entwicklung (jährlich) der Klimaschutzleistungen des Massenoptimierers (2011 bis 2100): Entwicklung der Speicher (Wald- und Produktspeicher) und der Substitutionswirkung der Holzverwendung (Emissionseinsparung durch energetische und stoffliche Substitution)

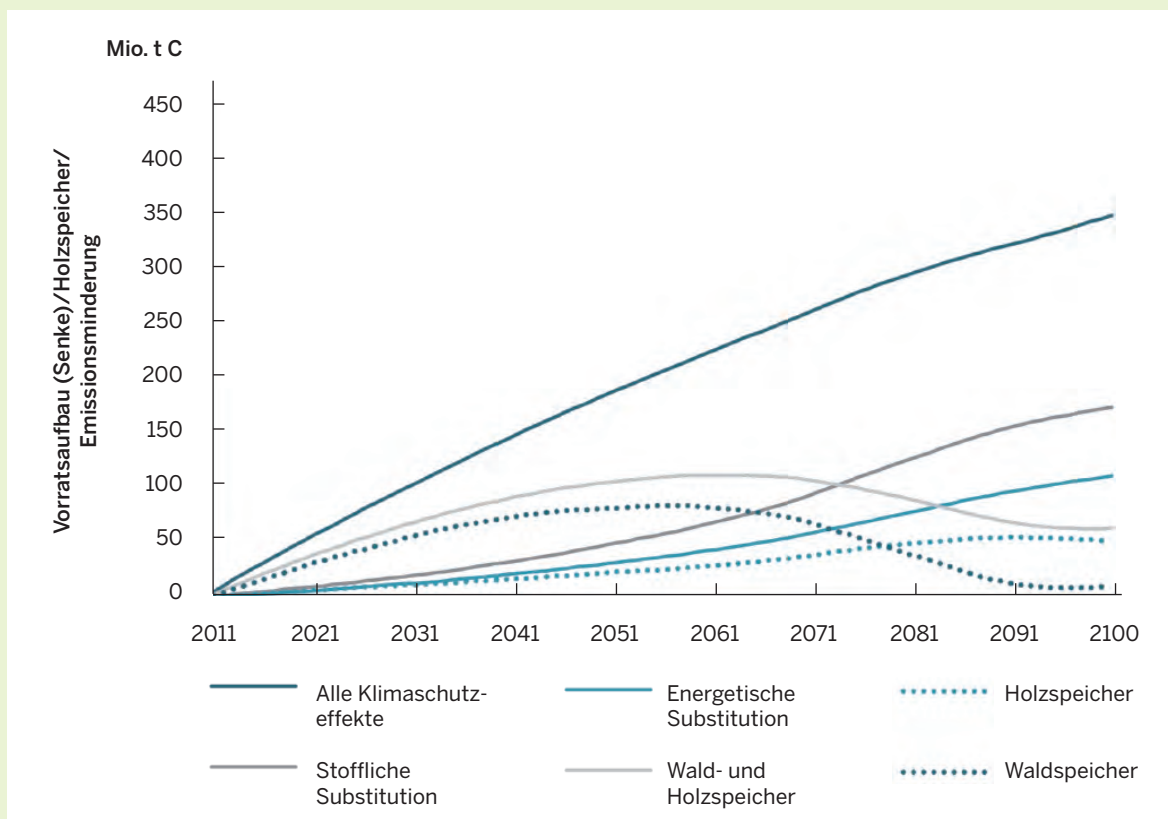


Abbildung 23: Entwicklung (kumuliert) der Klimaschutzleistungen des Wertoptimierers (2011 bis 2100): Entwicklung der Speicher (Wald- und Produktspeicher) und der Substitutionswirkung der Holzverwendung (Emissionseinsparung durch energetische und stoffliche Substitution)

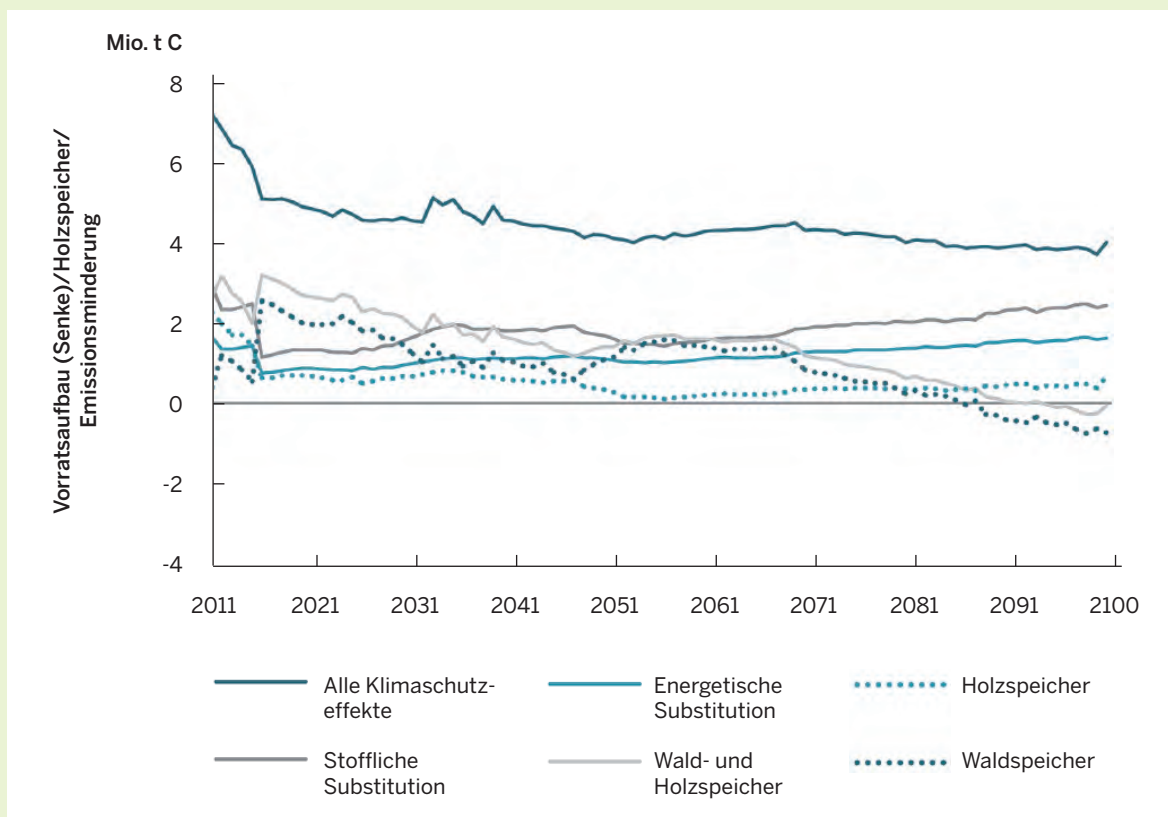


Abbildung 24: Entwicklung (jährlich) der Klimaschutzleistungen des Wertoptimierers (2011 bis 2100): Entwicklung der Speicher (Wald- und Produktspeicher) und der Substitutionswirkung der Holzverwendung (Emissionseinsparung durch energetische und stoffliche Substitution)

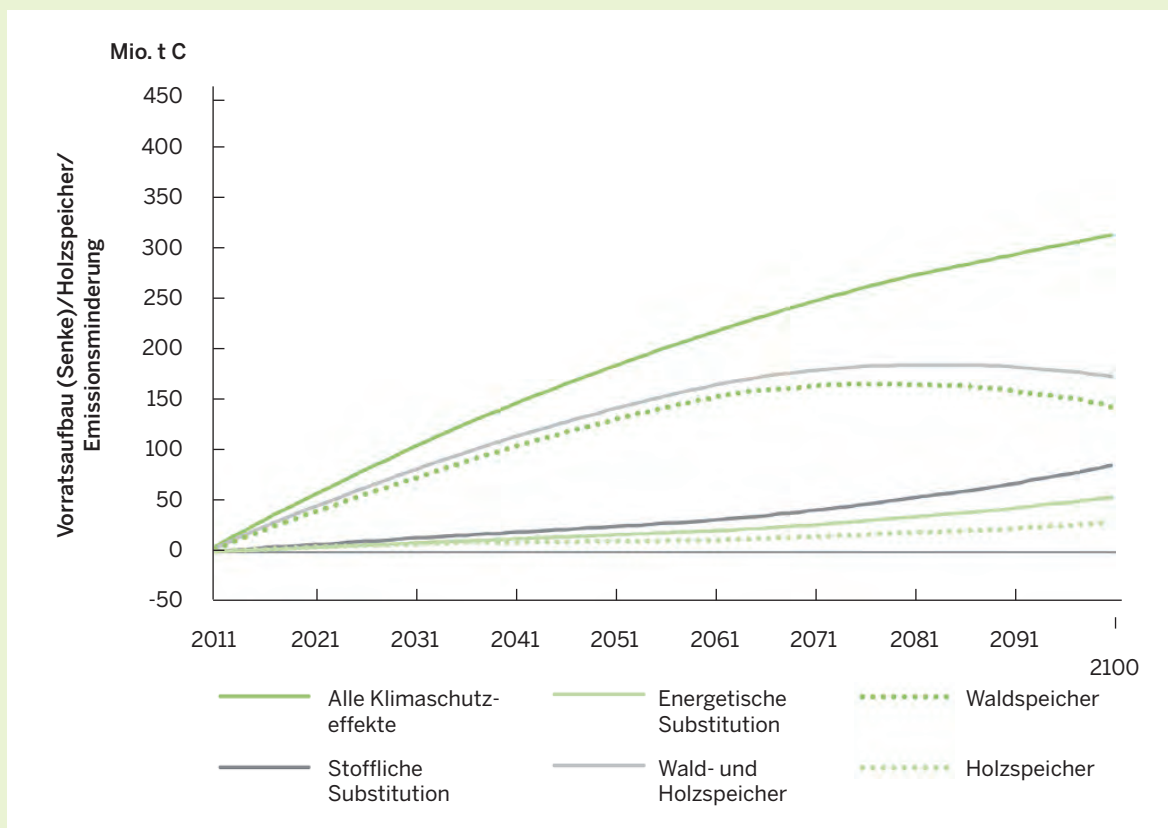


Abbildung 25: Entwicklung (kumuliert) der Klimaschutzleistungen des Speicheroptimierers (2011 bis 2100): Entwicklung der Speicher (Wald- und Produktspeicher) und der Substitutionswirkung der Holzverwendung (Emissionseinsparung durch energetische und stoffliche Substitution)

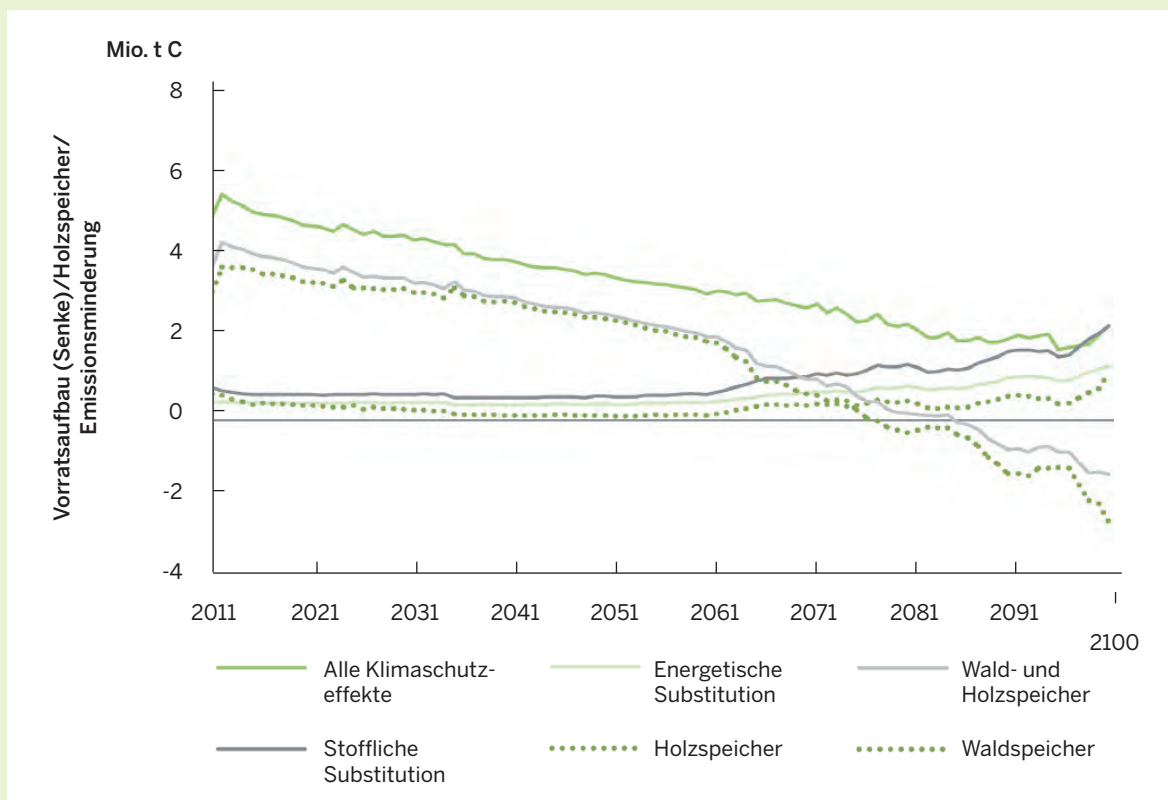


Abbildung 26: Entwicklung (jährlich) der Klimaschutzleistungen des Speicheroptimierers (2011 bis 2100): Entwicklung der Speicher (Wald- und Produktspeicher) und der Substitutionswirkung der Holzverwendung (Emissionseinsparung durch energetische und stoffliche Substitution)

## 117 Modellierung der zukünftigen Klimaschutzleistung des nordrhein-westfälischen Waldes und der Verwendung nordrhein-westfälischen Holzes

Durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung abhängig von der Bewirtschaftungsform (2011–2100)	Waldspeicher [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Holzspeicher [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Energiesubst. [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Materials subst. [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Summe [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]
Massenoptimierer	2,5	1,4	5,0	7,6	16,5
Wertoptimierer	0,5	1,5	4,5	7,0	13,5
Speicheroptimierer	5,5	0,5	2,1	3,3	11,5

**Tabelle 28:** Durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz in Nordrhein-Westfalen abhängig von der Bewirtschaftungsform (Grundszenarien) (2011–2100)

Durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung abhängig von der Bewirtschaftungsform (2011–2050)	Waldspeicher [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Holzspeicher [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Energiesubst. [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Materials subst. [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Summe [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]
Massenoptimierer	-1,0	2,9	5,1	8,6	15,8
Wertoptimierer	7,5	1,2	2,9	4,5	16,0
Speicheroptimierer	11,2	0,0	1,4	2,2	14,8

**Tabelle 29:** Durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz in Nordrhein-Westfalen abhängig von der Bewirtschaftungsform (Grundszenarien) (2011–2050)

### 6.2.2.2 Szenario mit Variation des Energiemix (zu den Grundszenarien der waldbaulichen Simulation)

In Abbildung 27 wird die Klimaschutzleistung für die Annahme einer Substitution von Braunkohle und einer Substitution von Energieträgern eines allgemeinen Energiemix' gemäß Kapitel 6.2.1 dargestellt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird darauf verzichtet, als Vergleich die Basisszenarien aufzunehmen. In Abbildung 28 werden zusätzlich zum Szenario des Wertoptimierers die Klimaschutzleistungen der beiden Variationen in Bezug zum Basisszenario gesetzt.

Tabelle 30 und 31 fassen die Ergebnisse der vergleichenden Betrachtung in Bezug auf den Energieträger zusammen. Sie zeigen die durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung für die Jahre 2011–2100 und 2011–2050.

Die Annahme der Substitution von Braunkohle führt dazu, dass sich die Klimaschutzleistung der einzelnen Szenarien deutlich erhöht. Daneben verändert sich das Verhältnis der Szenarien zueinander: Der Massenoptimierer zeigt über den gesamten Zeitraum bis 2100 die größte Klimaschutzleistung; der Speicheroptimierer zeigt bis 2100 wie schon vorher, aber ausgeprägter, die geringste

**Substitution von Braunkohle:  
Absolut höhere Klimaschutzleistungen und Vorteilhaftigkeit des Massenoptimierers**

**Nimmt man einen sich verändernden allgemeinen Energiemix mit einer Abnahme der THG-Emissionen auf null im Jahr 2100 an, so führt dies dazu, dass sich die Kurve der Klimaschutzleistung aller Szenarien immer stärker der Kurve des Waldspeichers annähert**

Klimaschutzleistung. Die Klimaschutzleistung des Wertoptimierers liegt über den gesamten Zeitraum zwischen den beiden anderen Szenarien.

Die Annahme der Substitution von Energieträgern eines allgemeinen sich verändernden Energiemix (bis 2100 mit dann 100 % erneuerbarer Energie) gemäß Kapitel 6.2.1 führt zu einem gegensätzlichen Ergebnis (auch in Bezug auf das Basisszenario). Bis ca. 2025 sind keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Szenarien zu erkennen. Danach erbringt der Speicheroptimierer bis ca. 2085 kumuliert eine höhere Speicherleistung als die anderen beiden Szenarien. Von 2085 bis 2100 ist der Massentoptimierer das Szenario, das die höchste Klimaschutzleistung (kumuliert) erbringt. Der Massentoptimierer zeigt von 2025 bis 2068 eine deutlich geringere kumulierte Klimaschutzleistung als die beiden anderen Szenarien.

Je mehr man spätere Zeitpunkte im Zeitraum bis 2100 betrachtet, desto stärker nähern sich die Kurven der drei Szenarien an. Dies hängt mit der zurückgehenden Bedeutung der Substitutionsleistungen (und auch dem geringer wachsenden bzw. stagnierenden Holzspeicher) zusammen. Dadurch dominiert die Entwicklung des Waldspeichers (geprägt durch Altersklasseneffekte) die Klimaschutzleistung. Da die Wälder in den Bewirtschaftungsszenarien Wert- und Speicheroptimierer 2054 bzw. 2070 zu Kohlenstoffquellen werden, wird die gesamte Klimaschutzleistung des nordrhein-westfälischen Clusters ForstHolz negativ.

Die Substitutionsfaktoren der Grundszenarien verringern sich bis 2050 im Schnitt um 35 % (Speicheroptimierer) bis 41 % (Wertoptimierer). Im Zeitraum bis 2100 beträgt die Abnahme im Schnitt 64 % (Massentoptimierer) bis 75 % (Wertoptimierer).

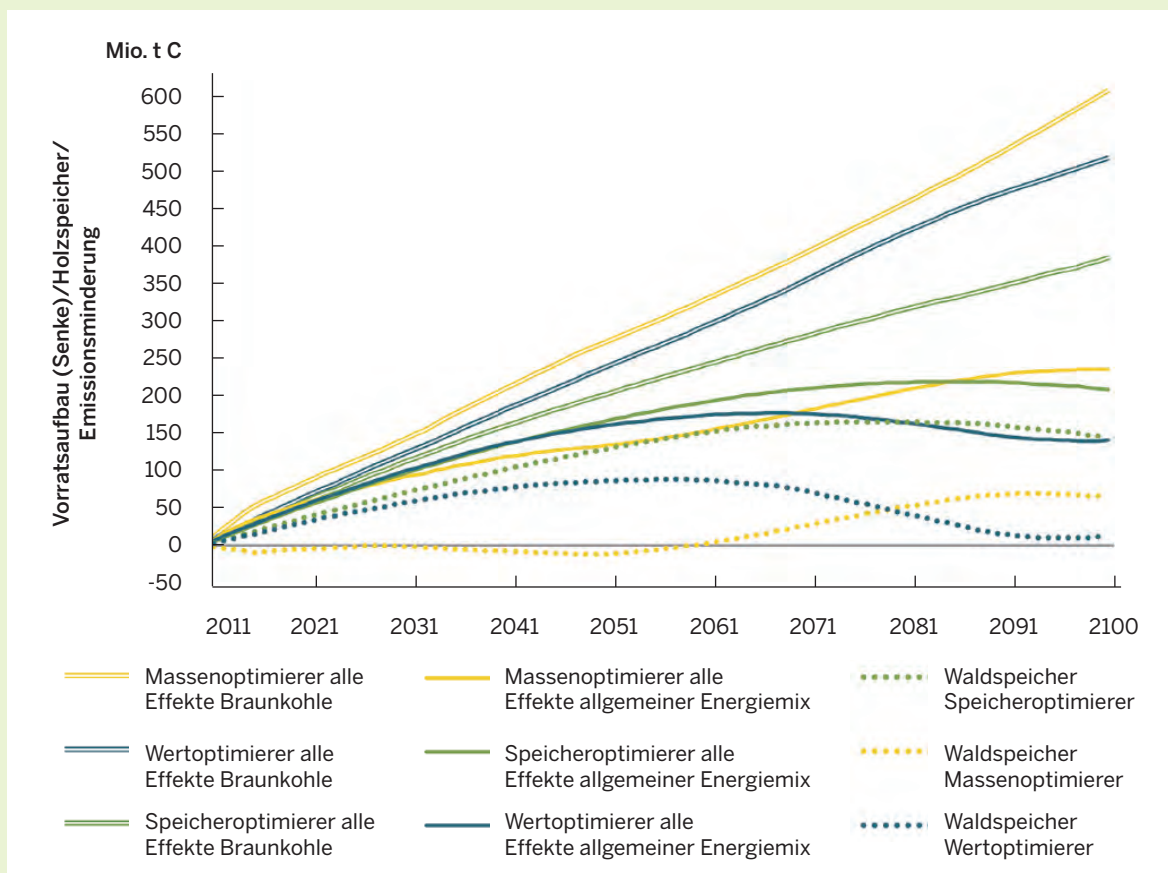


Abbildung 27: Entwicklung (kumuliert) der Kohlenstoffspeicher (2011 bis 2100) im Wald für die Grundszenarien (gepunktete Linien) und für alle Klimaschutzleistungen des Systems Wald–Holzverwendung (Wald- und Holzspeicher und Emissionseinsparung durch energetische und stoffliche Substitution) – dabei Differenzierung in ein Szenario, das einen veränderten allgemeinen Energiemix bzw. Braunkohle als zu substituierenden Energieträger zugrunde legt

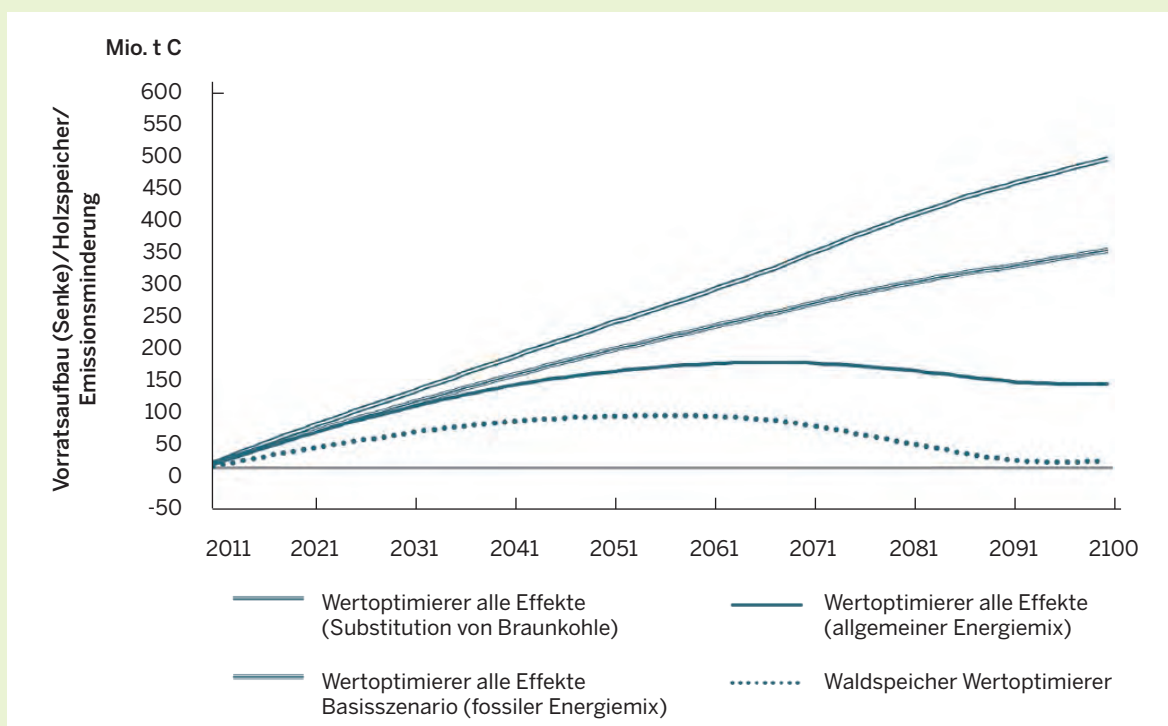


Abbildung 28: Entwicklung (kumuliert) der Kohlenstoffspeicher (2011 bis 2100) im Wald für das Grundszenario Wertoptimierer (gepunktete Linie) und für alle Klimaschutzleistungen des Systems Wald–Holzverwendung (Wald- und Holzspeicher und Emissionseinsparung durch energetische und stoffliche Substitution) – dabei Differenzierung in ein Szenario, das einen veränderten allgemeinen Energiemix bzw. Braunkohle als zu substituierenden Energieträger zugrunde legt; dazu im Vergleich das Basisszenario: 2. Kurve von oben

**120 Modellierung der zukünftigen Klimaschutzleistung des nordrhein-westfälischen Waldes und der Verwendung nordrhein-westfälischen Holzes**

Durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung abhängig von der Bewirtschaftungsform (2011–2100)	Waldspeicher [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Holzspeicher [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Energiesubst. [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Materials subst. [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Summe [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]
<b>Massenoptimierer</b>					
Substitution allg. Energiemix*	2,5	1,4	1,8	2,8	8,5
Substitution von Braunkohle	2,5	1,4	7,4	11,6	22,9
<i>Basisszenario (Substitution fossiler Energiemix) als Vergleich</i>	2,5	1,4	5,0	7,6	16,5
<b>Wertoptimierer</b>					
Substitution allg. Energiemix*	0,5	1,5	1,1	1,7	4,9
Substitution von Braunkohle	0,5	1,5	6,7	10,7	19,4
<i>Basisszenario (Substitution fossiler Energiemix) als Vergleich</i>	0,5	1,5	4,5	7,0	13,5
<b>Speicheroptimierer</b>					
Substitution allg. Energiemix*	5,5	0,5	0,5	0,9	7,4
Substitution von Braunkohle	5,5	0,5	3,1	5,1	14,2
<i>Basisszenario (Substitution fossiler Energiemix) als Vergleich</i>	5,5	0,5	2,1	3,3	11,5

**Tabelle 30:** Durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz in Nordrhein-Westfalen abhängig von der Bewirtschaftungsform und Szenario zu unterschiedlichem Energiemix bei Grundscenarien (\* abnehmend: Anteil fossiler Energieträger, steigender Anteil erneuerbarer Energieträger) (2011–2100)



**121 Modellierung der zukünftigen Klimaschutzleistung des nordrhein-westfälischen Waldes und der Verwendung nordrhein-westfälischen Holzes**

Durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung abhängig von der Bewirtschaftungsform (2011–2050)	Waldspeicher [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Holzspeicher [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Energiesubst. [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Materialsust. [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Summe [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]
<b>Massenoptimierer</b>					
Substitution allg. Energiemix*	-1,0	2,9	3,3	5,4	10,6
Substitution von Braunkohle	-1,0	2,9	7,6	12,9	22,4
<i>Basisszenario (Substitution fossiler Energiemix) als Vergleich</i>	-1,0	2,9	5,1	8,6	15,8
<b>Wertoptimierer</b>					
Substitution allg. Energiemix*	7,5	1,2	1,7	2,6	13,0
Substitution von Braunkohle	7,5	1,2	4,3	6,7	19,8
<i>Basisszenario (Substitution fossiler Energiemix) als Vergleich</i>	7,5	1,2	2,9	4,5	16,0
<b>Speicheroptimierer</b>					
Substitution allg. Energiemix*	11,2	0,0	0,9	1,4	13,5
Substitution von Braunkohle	11,2	0,0	2,1	3,3	16,6
<i>Basisszenario (Substitution fossiler Energiemix) als Vergleich</i>	11,2	0,0	1,4	2,2	14,8

**Tabelle 31:** Durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz in Nordrhein-Westfalen abhängig von der Bewirtschaftungsform und Szenario zu unterschiedlichem Energiemix bei Grundscenarien (\* abnehmend: Anteil fossiler Energieträger, steigender Anteil erneuerbarer Energieträger) (2011–2050)

### 6.2.2.3 Szenario mit erhöhtem Substitutionsfaktor (basierend auf den Grundszenarien der waldbaulichen Simulation)

Bei der Annahme des höheren Substitutionsfaktors gilt der Satz: „Mehr Holznutzung bedeutet eine höhere Klimaschutzleistung.“

Bei der Darstellung der Modellierung mit einem höheren Substitutionsfaktor ( $SF_{MA} = 2,1 \text{ t C/t C}$ ) zeigt sich in Abbildung 29 (bzw. Tabelle 32 und 33) ein ähnliches Bild wie bei der Annahme der Substitution von Braunkohle als fossilem Energieträger (vgl. Kapitel 6.2.2.2). Neben absolut höheren Klimaschutzleistungen aller Szenarien werden auch die Unterschiede zwischen den einzelnen Szenarien deutlicher. Der Massenoptimierer erbringt kontinuierlich höhere Klimaschutzleistungen als die beiden anderen Szenarien (im Gegensatz zum Basisszenario, in dem der Wertoptimierer im Betrachtungszeitraum bis 2050 dem Massenoptimierer leicht überlegen ist).

Im Basisszenario (vgl. Kapitel 6.2.2.1) erbringt der Massenoptimierer eine 43 % höhere Klimaschutzleistung als der Speicheroptimierer, bei der Annahme eines Faktors für die stoffliche Substitution von  $SF_{MA} = 2,1 \text{ t C/t C}$  eine 55 % höhere Klimaschutzleistung (bis 2100). Im Zeitraum bis 2050 wird der Vorteil des Massenoptimierers gegenüber dem Speicheroptimierer besonders deutlich: Lag die Klimaschutzleistung des Massenoptimierers im Basisszenario ca. 6 % höher als die des Speicheroptimierers, so ist sie bei der Annahme eines höheren Substitutionsfaktors 25 % höher.

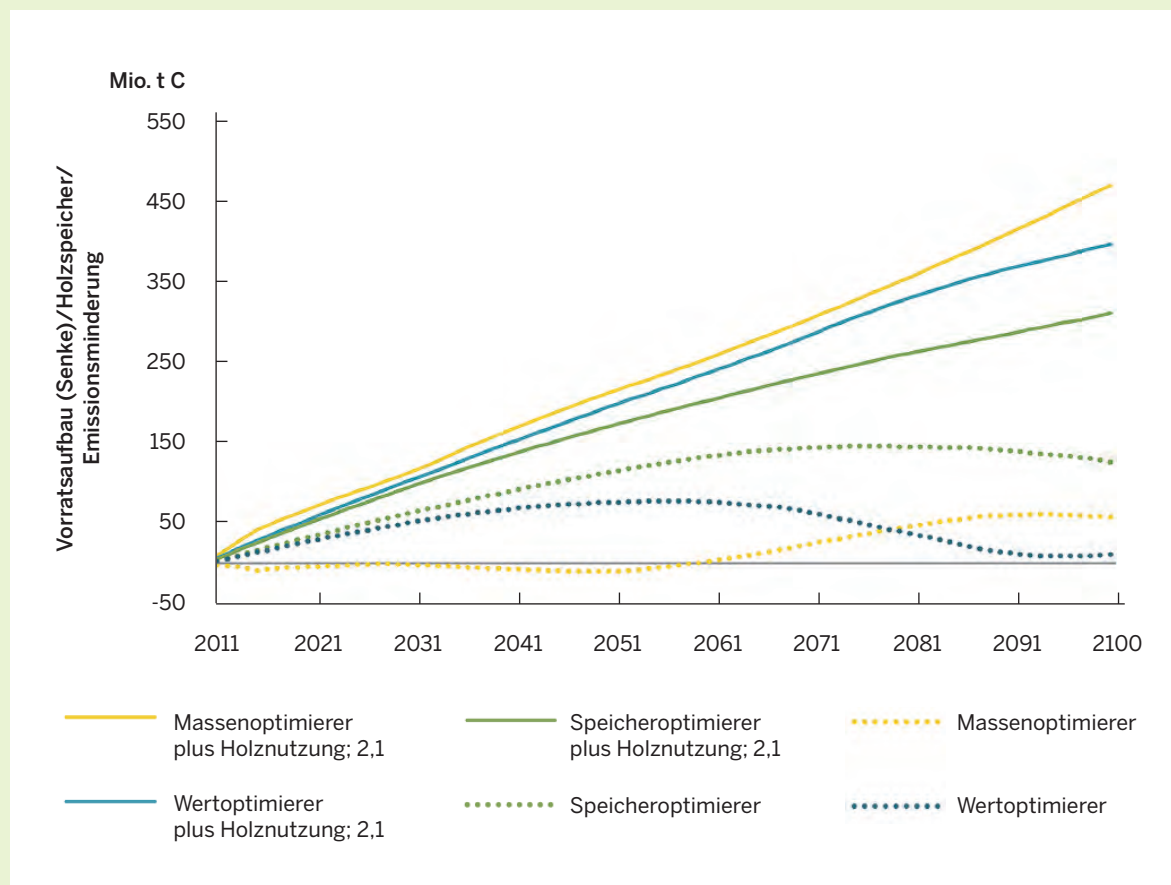


Abbildung 29: Entwicklung (kumuliert) der Kohlenstoffspeicher (2011 bis 2100) im Wald für die Grundszenarien (gepunktete Linien) und für alle Klimaschutzleistungen des Systems Wald–Holzverwendung (Wald- und Holzspeicher und Emissionseinsparung durch energetische und stoffliche Substitution); durchgezogene Linien auf Basis des vom vTI verwendeten Substitutionsfaktors für die stoffliche Substitution von  $SF_{MA} = 2,1 \text{ t C/t C}$  (gemäß Rüter et al. 2011)

## 123 Modellierung der zukünftigen Klimaschutzleistung des nordrhein-westfälischen Waldes und der Verwendung nordrhein-westfälischen Holzes

Durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung abhängig von der Bewirtschaftungsform (2011–2100)	Waldspeicher [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Holzspeicher [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Energiesubst. [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Materialsust. [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Summe [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]
Massenoptimierer	2,5	1,4	5,0	11,2	20,1
Wertoptimierer	0,5	1,5	4,5	10,4	16,9
Speicheroptimierer	5,5	0,5	2,1	4,9	13,0

**Tabelle 32:** Durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz in Nordrhein-Westfalen abhängig von der Bewirtschaftungsform (erhöhter Substitutionsfaktor  $SF_{MA} = 2,1 \text{ t C/t C}$  bei den Grundszenarien) (2011–2100)

Durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung abhängig von der Bewirtschaftungsform (2011–2050)	Waldspeicher [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Holzspeicher [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Energiesubst. [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Materialsust. [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Summe [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]
Massenoptimierer	-1,0	2,9	5,1	12,9	19,9
Wertoptimierer	7,5	1,2	2,9	6,8	18,4
Speicheroptimierer	11,2	0,0	1,4	3,3	15,9

**Tabelle 33:** Durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz in Nordrhein-Westfalen abhängig von der Bewirtschaftungsform (erhöhter Substitutionsfaktor  $SF_{MA} = 2,1 \text{ t C/t C}$  bei den Grundszenarien) (2011–2050)

### 6.2.3 Klimaschutzwirkung von Forst- und Holzverwendung bis 2100 – Ergebnisse basierend auf den Kombinationsszenarien der waldbaulichen Simulation

#### 6.2.3.1 Basisszenario

Die Definition der Kombinationsszenarien findet sich in Tabelle 13. Abbildung 30 zeigt die Klimaschutzleistung der Kombinationsszenarien von 2011-2100 kumuliert (Abbildung 31 bis Abbildung 36 differenziert nach Speicher und Substitutionsleistungen, kumuliert wie auch jährlich). Tabelle 34 und Tabelle 35 fassen die Ergebnisse in Bezug auf den Zeitraum 2011–2100 und 2011–2050 zusammen.

Abbildung 30 zeigt, dass die Klimaschutzleistung der drei Kombinationsszenarien bis 2070 in etwa gleich hoch ist. Von 2070-2100 findet eine Differenzierung statt und das Nutz-Szenario zeigt die insgesamt höchste und das Szenario Schutz-Szenario die niedrigste Klimaschutzleistung (Erhalt-Szenario liegt dazwischen). Das heißt, ab 2070 zeigt sich die Vorteilhaftigkeit eines auf Holznutzung orientierten Szenarios; jedoch liegt die Vorteil-

**Geringe Unterschiede in den Klimaschutzleistungen der Kombinationsszenarien**

**Erst ab 2070 Vorteilhaftigkeit eines auf Holznutzung orientierten Szenarios**

## 124 Modellierung der zukünftigen Klimaschutzleistung des nordrhein-westfälischen Waldes und der Verwendung nordrhein-westfälischen Holzes

haftigkeit von Nutz gegenüber Erhalt im Zeitraum 2011–2100 bei nur ca. 5 %, gegenüber Schutz bei 10 %. In Bezug auf 2050 liegen die drei Szenarien noch stärker zusammen, wobei das Schutz-Szenario zu diesem Zeitpunkt sogar eine etwas höhere Klimaschutzleistung als das Nutz-Szenario erbringt. Dieser Unterschied bewegt sich jedoch im Rahmen der Genauigkeit der Modellierung. Bis 2050 hat die Art der waldbaulichen Nutzung (gemäß der Kombinationsszenarien) im Hinblick auf die Klimaschutzleistung keine bzw. sehr geringe Auswirkungen.

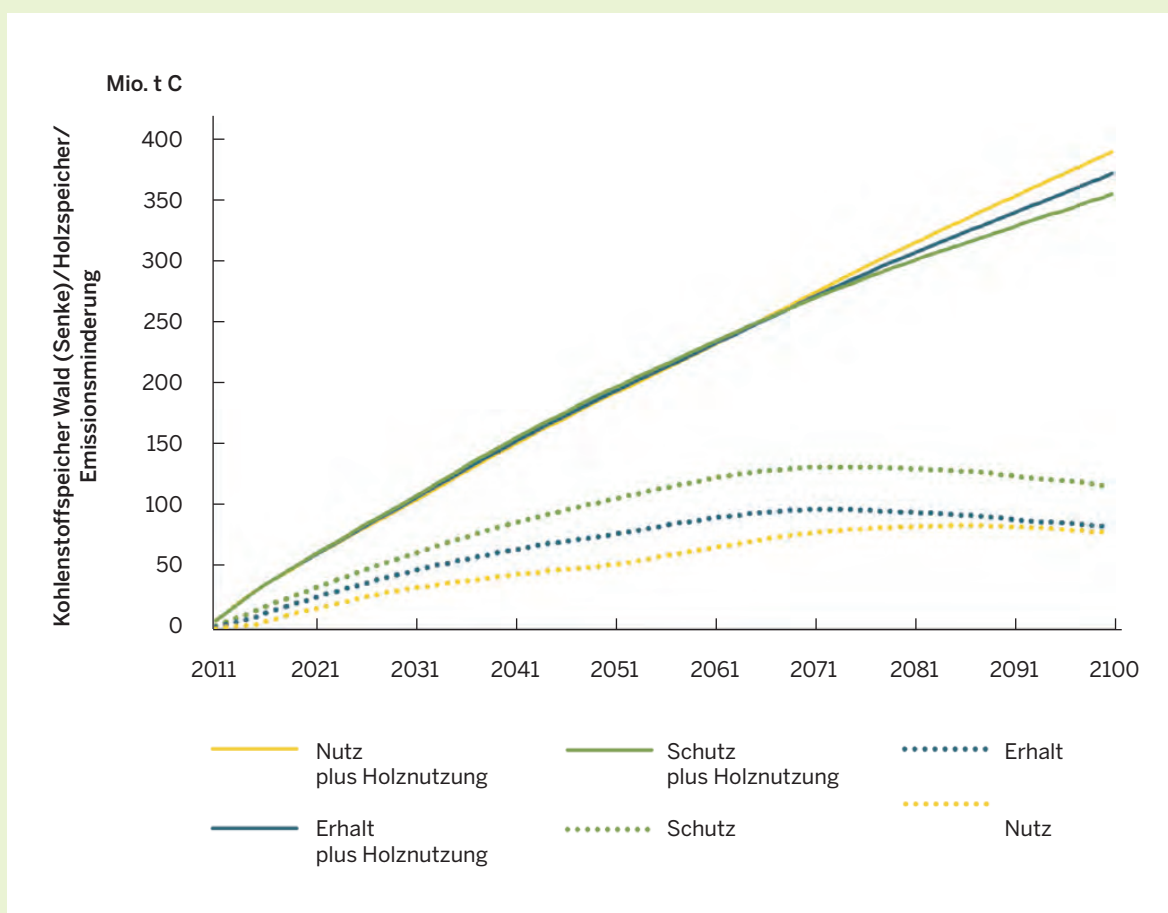


Abbildung 30: Entwicklung (kumuliert) der Kohlenstoffspeicher (2011 bis 2100) im Wald für die Kombinationsszenarien (gestrichelte Linien) und für alle Klimaschutzleistungen des Systems Wald–Holzverwendung (Wald- und Holzspeicher und Emissionseinsparung durch energetische und stoffliche Substitution; durchgezogene Linien)

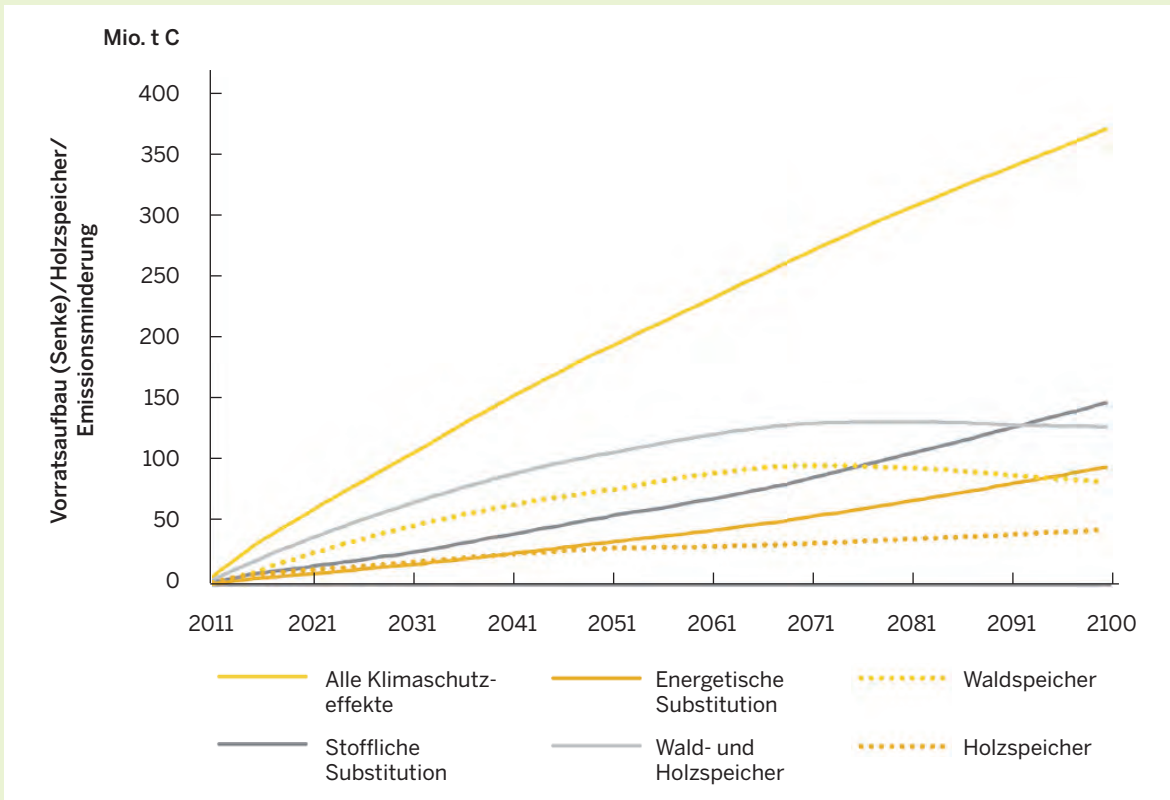


Abbildung 31: Entwicklung (kumuliert) der Klimaschutzleistungen des Nutz-Szenarios (2011 bis 2100): Entwicklung der Speicher (Wald- und Produktspeicher) und der Substitutionswirkung der Holzverwendung (Emissionseinsparung durch energetische und stoffliche Substitution)

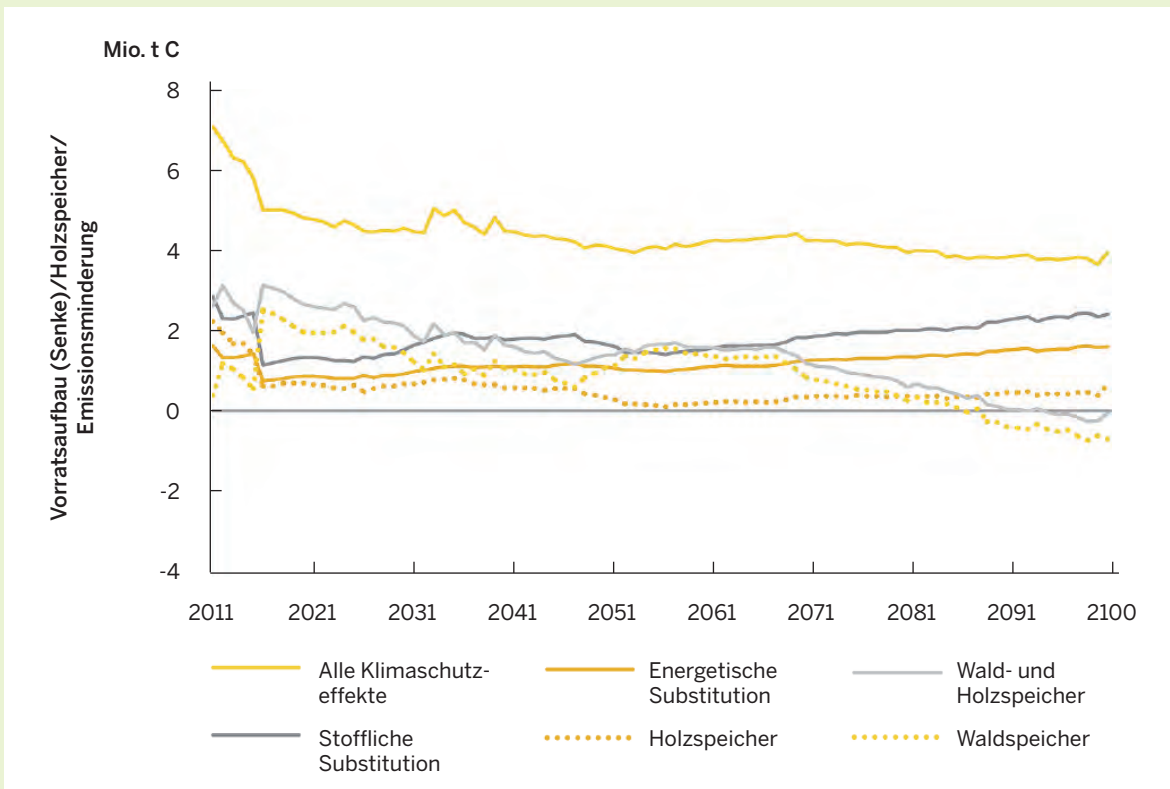


Abbildung 32: Entwicklung (jährlich) der Klimaschutzleistungen des Nutz-Szenarios (2011 bis 2100): Entwicklung der Speicher (Wald- und Produktspeicher) und der Substitutionswirkung der Holzverwendung (Emissionseinsparung durch energetische und stoffliche Substitution)

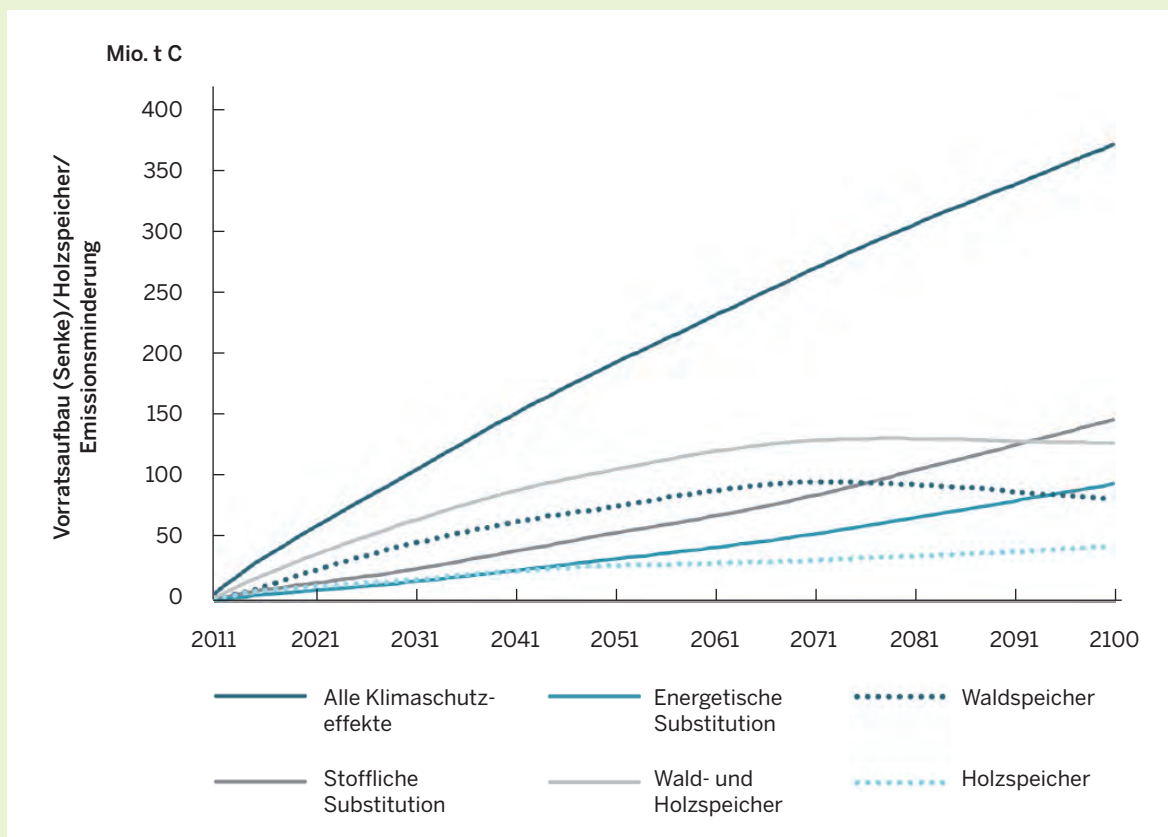


Abbildung 33: Entwicklung (kumuliert) der Klimaschutzleistungen des Erhalt-Szenarios (2011 bis 2100): Entwicklung der Speicher (Wald- und Produktspeicher) und der Substitutionswirkung der Holzverwendung (Emissionseinsparung durch energetische und stoffliche Substitution)

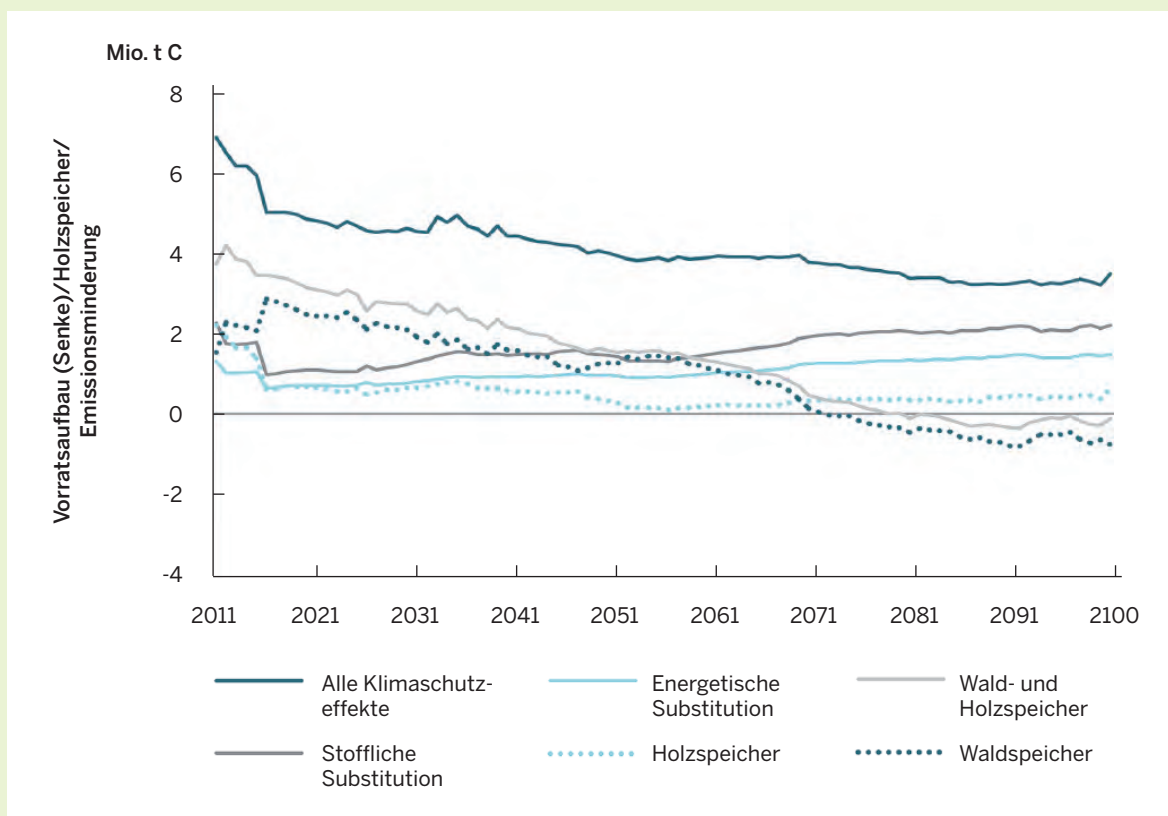


Abbildung 34: Entwicklung (jährlich) der Klimaschutzleistungen des Erhalt-Szenarios (2011 bis 2100): Entwicklung der Speicher (Wald- und Produktspeicher) und der Substitutionswirkung der Holzverwendung (Emissionseinsparung durch energetische und stoffliche Substitution)

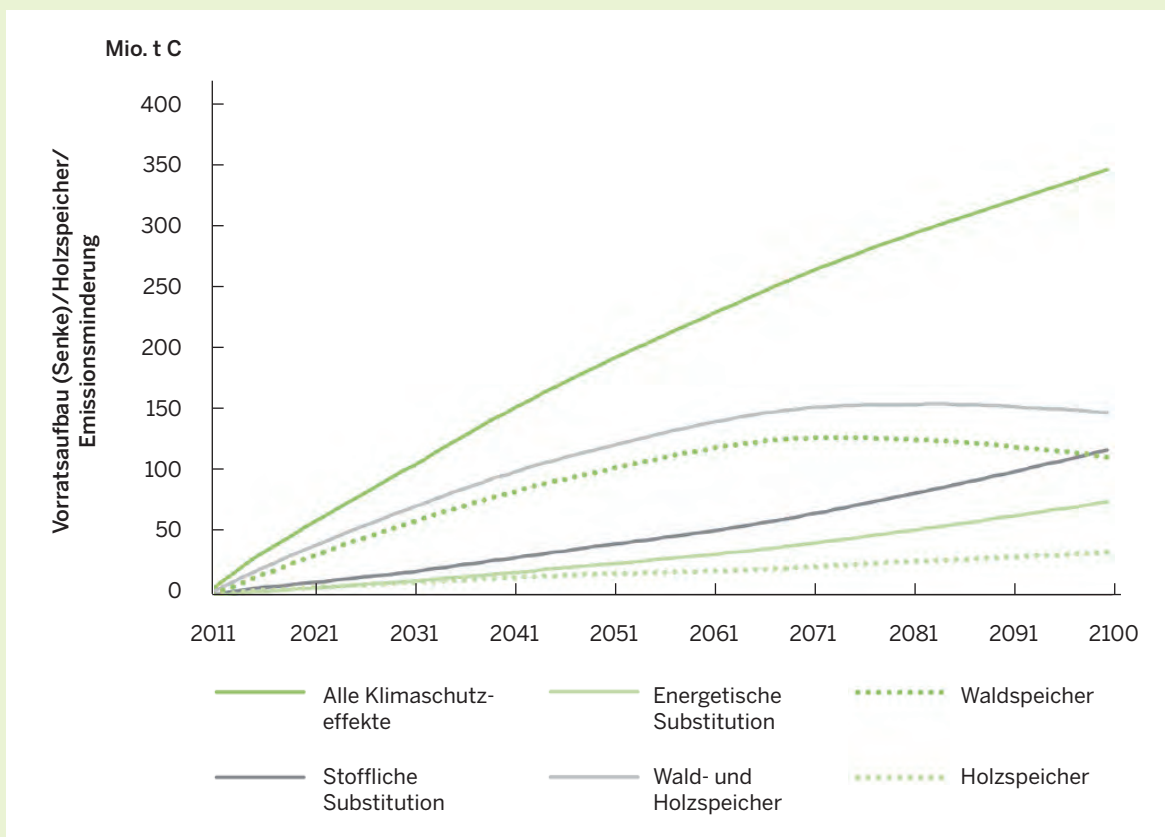


Abbildung 35: Entwicklung (kumuliert) der Klimaschutzleistungen des Schutz-Szenarios (2011 bis 2100): Entwicklung der Speicher (Wald- und Produktspeicher) und der Substitutionswirkung der Holzverwendung (Emissionseinsparung durch energetische und stoffliche Substitution)

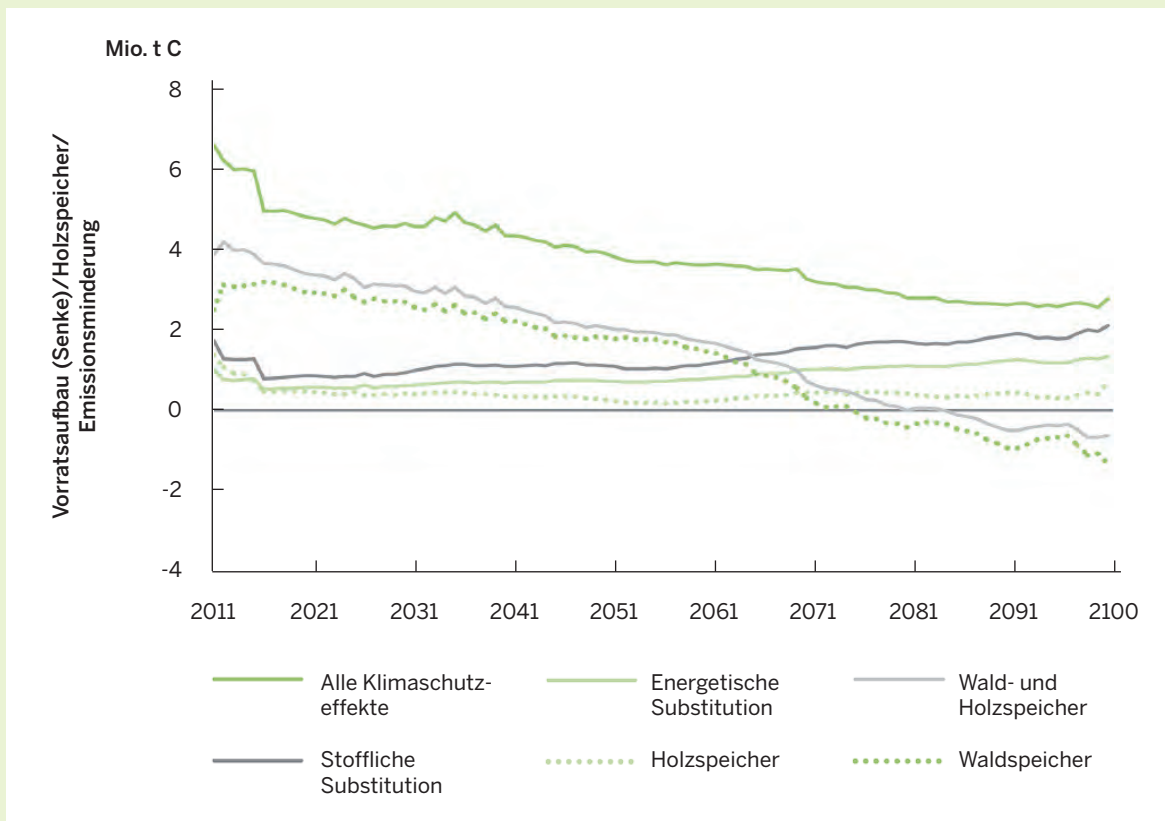


Abbildung 36: Entwicklung (jährlich) der Klimaschutzleistungen des Schutz-Szenarios (2011 bis 2100): Entwicklung der Speicher (Wald- und Produktspeicher) und der Substitutionswirkung der Holzverwendung (Emissionseinsparung durch energetische und stoffliche Substitution)

Durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung abhängig von der Bewirtschaftungsform (2011–2100)	Waldspeicher [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Holzspeicher [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Energiesubst. [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Materialsubst. [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Summe [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]
Nutz	3,1	1,2	4,1	6,3	14,7
Erhalt	3,3	1,1	3,8	5,8	14,0
Schutz	4,6	0,8	3,1	4,8	13,3

**Tabelle 34:** Durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz in Nordrhein-Westfalen abhängig von der Bewirtschaftungsform (Basisszenario der Kombinationsszenarien) (2011–2100)

Durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung abhängig von der Bewirtschaftungsform (2011–2050)	Waldspeicher [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Holzspeicher [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Energiesubst. [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Materialsubst. [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Summe [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]
Nutz	4,6	1,7	3,6	5,9	15,8
Erhalt	6,8	1,3	3,0	4,9	16,0
Schutz	9,3	0,8	2,4	3,8	16,3

**Tabelle 35:** Durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz in Nordrhein-Westfalen abhängig von der Bewirtschaftungsform (Basisszenario der Kombinationsszenarien) (2011–2050)

### 6.2.3.2 Szenario mit Variation des Energiemix (basierend auf den Kombinationsszenarien der waldbaulichen Simulation)

Die Darstellung in Abbildung 37 und die Zusammenfassungen in Tabelle 36 und 37 zeigen die Variation des zugrunde gelegten Energiemix in den Kombinationsszenarien.

#### Substitution gegen Braunkohle: Absolut höhere Klimaschutzleistungen und Vorteilhaftigkeit des Szenarios Nutz

Legt man Braunkohle als zu substituierenden fossilen Energieträger zugrunde, so sind die ausgewiesenen Klimaschutzleistungen aller Szenarien höher; gleichzeitig zeigen sich im Gegensatz zum Basisszenario schon wesentlich früher Unterschiede zwischen den drei Szenarien. So ist zum Zeitpunkt 2050 das Nutz-Szenarios den anderen beiden Szenarien überlegen.

#### Annahme veränderter allgemeiner Energiemix mit einem steigenden Anteil an erneuerbarer Energie: Deutliche Verringerung der Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz

Die Annahme eines sich verändernden allgemeinen Energiemix führt dazu, dass sich die durch das System Wald–Holzverwendung erbrachte durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung aller Szenarien deutlich verringert. Im Zeitraum bis 2100 kommt es bei allen Szenarien zu fast einer Halbierung der durchschnittlichen jährlichen Klimaschutzleistung (im Vergleich zum Basisszenario). So sinkt die durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung des Kombinationsszenarios Erhalt von 14 Mio. t CO<sub>2</sub> auf 7,2 Mio. t CO<sub>2</sub> (2011–2100). Die durchschnittlichen jährlichen



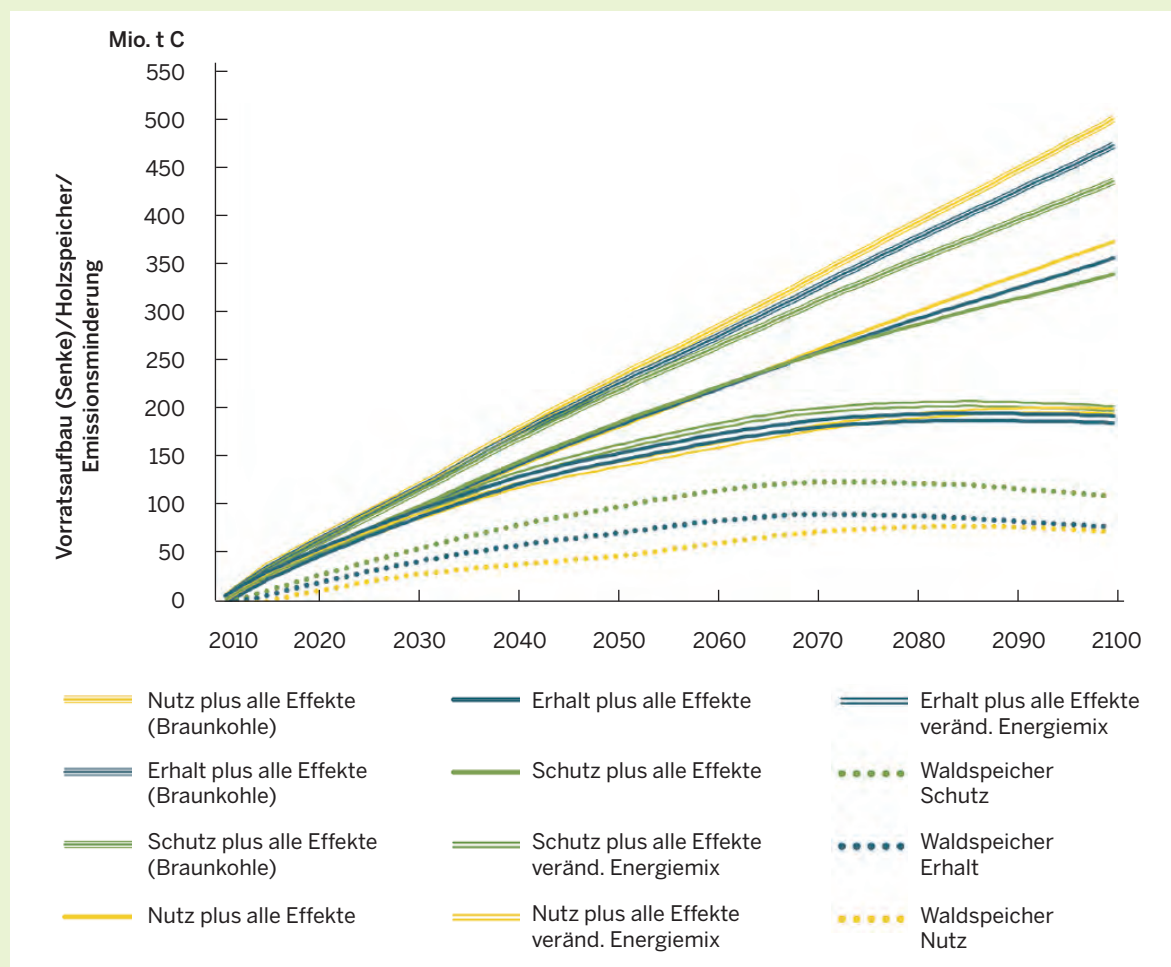
Klimaschutzleistungen im Zeitraum 2011–2100 liegen auch sehr nahe zusammen. Am Ende des Betrachtungszeitraumes wird die Entwicklung von der Veränderung des Waldspeichers und dabei von der großen Bedeutung der Altersklasseneffekte dominiert. Im Zeitraum bis 2050 können Unterschiede ausgemacht werden. Das Schutz-Szenario hat mit einer jährlichen Klimaschutzleistung von 14 Mio. t CO<sub>2</sub> die größte Klimaschutzleistung (Erhalt: 13,1 Mio. t CO<sub>2</sub>, Nutz: 12,3 Mio. t CO<sub>2</sub>).

Das heißt, unterstellt man einen allgemeinen sich verändernden Energiemix, so erbringt eine schutz- und speicherorientierte Waldwirtschaft bis 2050 nicht nur die höchste Senkenleistung (Wald), sondern auch die größte Klimaschutzleistung unter Einbeziehung des Gesamtsystems Wald–Holzverwendung. Im Zeitraum von 2011–2100 unterscheiden sich schutz- und speicherorientierte Waldwirtschaft und holznutzungsorientierte Waldwirtschaft nicht in den von ihnen erbrachten Klimaschutzleistungen. Die Ursache ist eine starke Verringerung der Substitutionsleistung.

Die Substitutionsfaktoren verringern sich im Modell von 2010 bis 2050 um 37 % und von 2010 bis 2100 um über 70 %.

**Annahme veränderter allgemeiner Energiemix mit einem steigenden Anteil an erneuerbarer Energie: Schutz- und speicherorientierte Waldwirtschaft erbringt von 2011–2050 die größte Klimaschutzleistung**

**Von 2011–2100 unterscheiden sich schutz- und speicherorientierte Waldwirtschaft und holznutzungsorientierte Waldwirtschaft nicht in den von ihnen erbrachten Klimaschutzleistungen**



**Abbildung 37:** Entwicklung (kumuliert) der Kohlenstoffspeicher (2011 bis 2100) im Wald für die Kombinationsszenarien (gepunktete Linien) und für alle Klimaschutzleistungen des Systems Wald–Holzverwendung (Wald- und Holzspeicher und Emissionseinsparung durch energetische und stoffliche Substitution) – dabei Differenzierung in ein Szenario, das einen veränderten allgemeinen Energiemix bzw. Braunkohle als zu substituierenden Energieträger zugrunde legt; zum Vergleich Basisszenario

**130 Modellierung der zukünftigen Klimaschutzleistung des nordrhein-westfälischen Waldes und der Verwendung nordrhein-westfälischen Holzes**

Durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung abhängig von der Bewirtschaftungsform (2011–2100)	Waldspeicher [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Holzspeicher [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Energiesubst. [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Materialsust. [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Summe [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]
<b>Kombiszenario Nutz</b>					
Substitution allg. Energiemix*	3,1	1,2	1,3	2,0	7,6
Substitution von Braunkohle	3,1	1,2	6,2	9,4	19,9
<i>Basisszenario (Substitution fossiler Energiemix) als Vergleich</i>	<i>3,1</i>	<i>1,2</i>	<i>4,1</i>	<i>6,3</i>	<i>14,7</i>
<b>Kombiszenario Erhalt</b>					
Substitution allg. Energiemix*	3,3	1,1	1,1	1,7	7,2
Substitution von Braunkohle	3,3	1,1	5,7	8,7	18,8
<i>Basisszenario (Substitution fossiler Energiemix) als Vergleich</i>	<i>3,3</i>	<i>1,1</i>	<i>3,8</i>	<i>5,8</i>	<i>14,0</i>
<b>Kombiszenario Speicher</b>					
Substitution allg. Energiemix*	4,6	0,8	0,9	1,4	7,7
Substitution von Braunkohle	4,6	0,8	4,7	7,2	17,3
<i>Basisszenario (Substitution fossiler Energiemix) als Vergleich</i>	<i>4,6</i>	<i>0,8</i>	<i>3,1</i>	<i>4,8</i>	<i>13,3</i>

**Tabelle 36:** Durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz in Nordrhein-Westfalen abhängig von der Bewirtschaftungsform und Szenario zu unterschiedlichem Energiemix bei den Kombinationsszenarien (\* abnehmend: Anteil fossiler Energieträger, steigend: Anteil erneuerbarer Energieträger) (2011–2100)

**131 Modellierung der zukünftigen Klimaschutzleistung des nordrhein-westfälischen Waldes und der Verwendung nordrhein-westfälischen Holzes**

Durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung abhängig von der Bewirtschaftungsform (2011-2050)	Waldspeicher [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Holzspeicher [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Energiesubst. [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Materialsust. [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Summe [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]
<b>Kombiszenario Nutz</b>					
Substitution allg. Energiemix*	4,6	1,7	2,3	3,7	12,3
Substitution von Braunkohle	4,6	1,7	5,4	8,9	20,6
<i>Basisszenario (Substitution fossiler Energiemix) als Vergleich</i>	4,6	1,7	3,6	5,9	15,8
<b>Kombiszenario Erhalt</b>					
Substitution allg. Energiemix*	6,8	1,3	1,9	3,1	13,1
Substitution von Braunkohle	6,8	1,3	4,5	7,4	20,0
<i>Basisszenario (Substitution fossiler Energiemix) als Vergleich</i>	6,8	1,3	3,0	4,9	16,0
<b>Kombiszenario Speicher</b>					
Substitution allg. Energiemix*	9,3	0,8	1,5	2,4	14,0
Substitution von Braunkohle	9,3	0,8	3,6	5,7	19,4
<i>Basisszenario (Substitution fossiler Energiemix) als Vergleich</i>	9,3	0,8	2,4	3,8	16,3

**Tabelle 37:** Durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz in Nordrhein-Westfalen abhängig von der Bewirtschaftungsform und Szenario zu unterschiedlichem Energiemix bei den Kombinationsszenarien (\* abnehmend: Anteil fossiler Energieträger, steigend: Anteil erneuerbarer Energieträger) (2011–2050)

### 6.2.3.3 Szenario mit erhöhtem Substitutionsfaktor (basierend auf den Kombinationsszenarien der waldbaulichen Simulation)

Bei der Annahme des höheren Substitutionsfaktors gilt auch bei den Kombinationsszenarien: „Mehr Holznutzung bedeutet eine höhere Klimaschutzleistung.“

Bei der Berücksichtigung eines erhöhten Substitutionsfaktors  $SF_{MA} = 2,1 \text{ t C/t C}$  für die Kombinationsszenarien (Abbildung 38 und Tabelle 38 und 39) zeigt sich das gleiche Bild wie bei der Darstellung dieser Variante bei den Grundszenarien (Kapitel 6.2.2.3). Neben absolut höheren Klimaschutzleistungen aller Szenarien werden auch die Unterschiede zwischen den einzelnen Szenarien deutlicher. Das Nutz-Szenario erbringt wesentlich früher kontinuierlich höhere Klimaschutzleistungen als die beiden anderen Szenarien (im Gegensatz zum Basisszenario der Kombinationsszenarien in Kapitel 6.2.2.1, in dem alle drei Szenarien bis ca. 2070 die gleiche Klimaschutzleistung erbracht haben).

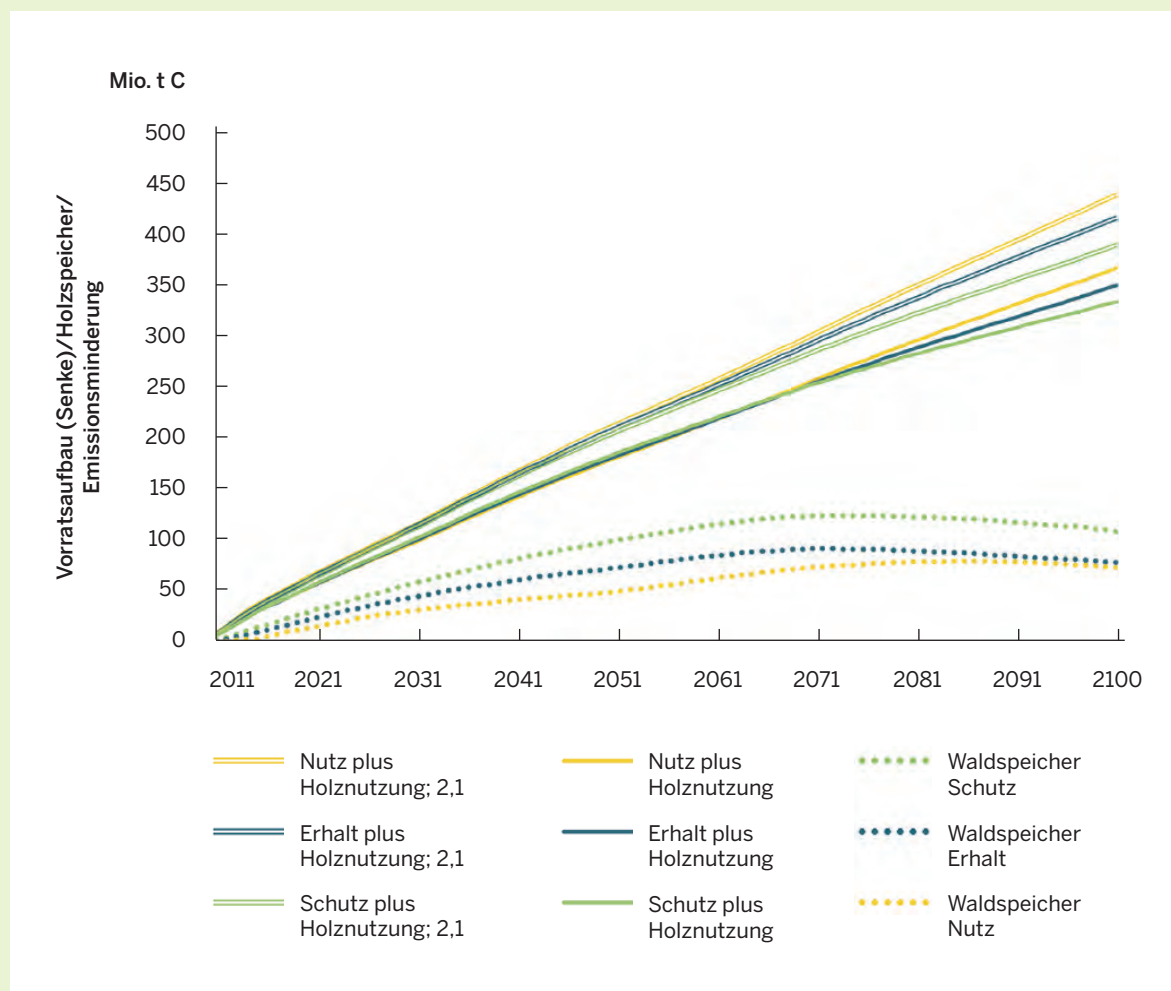


Abbildung 38: Entwicklung (kumuliert) der Kohlenstoffspeicher (2011 bis 2100) im Wald für die Kombinationsszenarien (gepunktete Linien) und für alle Klimaschutzleistungen des Systems Wald–Holzverwendung (Wald- und Holzspeicher und Emissionseinsparung durch energetische und stoffliche Substitution); durchgezogene Linien auf Basis des vom vTI verwendeten Substitutionsfaktors für die stoffliche Substitution von  $SF_{MA} = 2,1 \text{ t C/t C}$  (gemäß Rüter et al. 2011)

### 133 Modellierung der zukünftigen Klimaschutzleistung des nordrhein-westfälischen Waldes und der Verwendung nordrhein-westfälischen Holzes

Durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung abhängig von der Bewirtschaftungsform (2011-2100)	Waldspeicher [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Holzspeicher [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Energiesubst. [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Materials subst. [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Summe [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]
Nutz	3,1	1,2	4,1	9,3	17,7
Erhalt	3,3	1,1	3,8	8,6	16,8
Schutz	4,6	0,8	3,1	7,1	15,6

**Tabelle 38:** Durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz in Nordrhein-Westfalen abhängig von der Bewirtschaftungsform (erhöhter Substitutionsfaktor SF<sub>MA</sub> = 2,1 t C/t C bei den Kombinationsszenarien) (2011–2100)

Durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung abhängig von der Bewirtschaftungsform (2011-2050)	Waldspeicher [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Holzspeicher [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Energiesubst. [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Materials subst. [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Summe [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]
Nutz	4,6	1,7	3,6	8,8	18,7
Erhalt	6,8	1,3	3,0	7,4	18,5
Schutz	9,3	0,8	2,4	5,7	18,2

**Tabelle 39:** Durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz in Nordrhein-Westfalen abhängig von der Bewirtschaftungsform (erhöhter Substitutionsfaktor SF<sub>MA</sub> = 2,1 t C/t C bei den Kombinationsszenarien) (2011–2050)

## 6.2.4 Szenarien zur Bewertung der Kaskadennutzung aus Sicht des Klimaschutzes

### 6.2.4.1 Szenario mit der Variation der stofflichen bzw. energetischen Verwendung des Holzes

Für die Variation der Kaskadennutzung wird aus Gründen der Übersichtlichkeit zunächst das Szenario des Kombinationsszenarios Erhalt an dieser Stelle dargestellt. Später wird der Vergleich aller Kombinationsszenarien gezeigt.

In Abbildung 39 und 40 werden Szenarien der Klimaschutzleistung bei einem unterschiedlich starken stofflichen/energetischen Einsatz des Holzes gezeigt. Abbildung 39 zeigt dabei die gesamte Klimaschutzleistung einschließlich des Waldspeichers, Abbildung 40 lediglich die Effekte, die in der Holznutzung begründet sind (Holzspeicher und Substitutionseffekte). Beide Betrachtungen sind relevant, denn sowohl der Waldbesitz (durch Holzsortimente und waldbauliches Management) als auch die Holzwirtschaft bestimmen letztlich, wie viel des Rohholzes energetisch und wie viel stofflich genutzt wird bzw. genutzt werden

**Beiderseitige Verantwortung: Waldbesitz als auch Holzwirtschaft bestimmen, wie viel des Rohholzes energetisch und wie viel stofflich genutzt wird**

## 134 Modellierung der zukünftigen Klimaschutzleistung des nordrhein-westfälischen Waldes und der Verwendung nordrhein-westfälischen Holzes

kann.<sup>116</sup> An dieser Stelle sollen jedoch die in Abbildung 40 gezeigten Szenarien interpretiert werden. Die dargestellten Szenarien bilden (z. T. realitätsfremde) Extreme ab und beinhalten keine Prognosen hinsichtlich einer sich verändernden Holzverwendung.

**Die Klimaschutzleistung der Holzverwendung würde sich von 2011–2100 halbieren, würde man vollständig auf die stoffliche Holzverwendung verzichten und alles Holz energetisch nutzen**

Unterstellt man, dass von 2011–2100 das gesamte Rohholz nur noch energetisch und nicht mehr stofflich/energetisch genutzt wird, so nimmt die Klimaschutzleistung der Holzverwendung auf 46 % ab. Bei einer Steigerung der stofflichen Holznutzung steigt die Klimaschutzleistung entsprechend. Werden 50 % des bislang energetisch genutzten Rohholzes von 2011–2100 stofflich genutzt, so würde sich die Klimaschutzleistung um 23 % erhöhen; wären es 100 %, so würde sich die Klimaschutzleistung um 46 % erhöhen.

**Selbst bei der theoretischen Annahme einer 100 %igen stofflichen Nutzung des Rohholzes sinkt im Zeitraum bis 2100 die energetische Substitution durch Holzverbrennung nur um ca. 30 %**

Selbst bei einer (unwahrscheinlichen) 100 %igen stofflichen Nutzung des Rohholzes werden weiterhin ca. 66 Mio. t C energetisch (durch die energetische Verwertung des Altholzes<sup>117</sup>) genutzt. Umgerechnet auf den durchschnittlichen Klimaschutzbeitrag der energetischen Nutzung von 2010 bis 2100 sind dies ca. 2,7 Mio. t CO<sub>2</sub>/Jahr. Im Vergleich zum Basisszenario (3,8 Mio. t CO<sub>2</sub>/Jahr, vgl. Tabelle 34) sind dies ca. 30 % weniger. Diese Betrachtung zeigt, dass eine verstärkte stoffliche Nutzung des Rohholzes die energetische Nutzung des Holzes nicht verhindert, sondern sie nur um die Nutzungsdauer des Holzes (Verbleib im Holzspeicher) in die Zukunft „verschiebt“. Die Differenz zwischen der energetischen Substitution im Basisszenario 3,8 Mio. t CO<sub>2</sub>/Jahr und 2,7 Mio. t CO<sub>2</sub>/Jahr ist vor allem darin begründet, dass sich 2100 noch Holz im Produktspeicher befindet, das erst nach 2100 energetisch genutzt wird. In Kapitel 5 wurde diese als potenzielle Substitution definiert.<sup>118</sup>

**Verstärkte stoffliche Nutzung des Rohholzes verhindert nicht die energetische Nutzung des Holzes, sondern „verschiebt“ sie nur um die Nutzungsdauer des Holzes in die Zukunft**

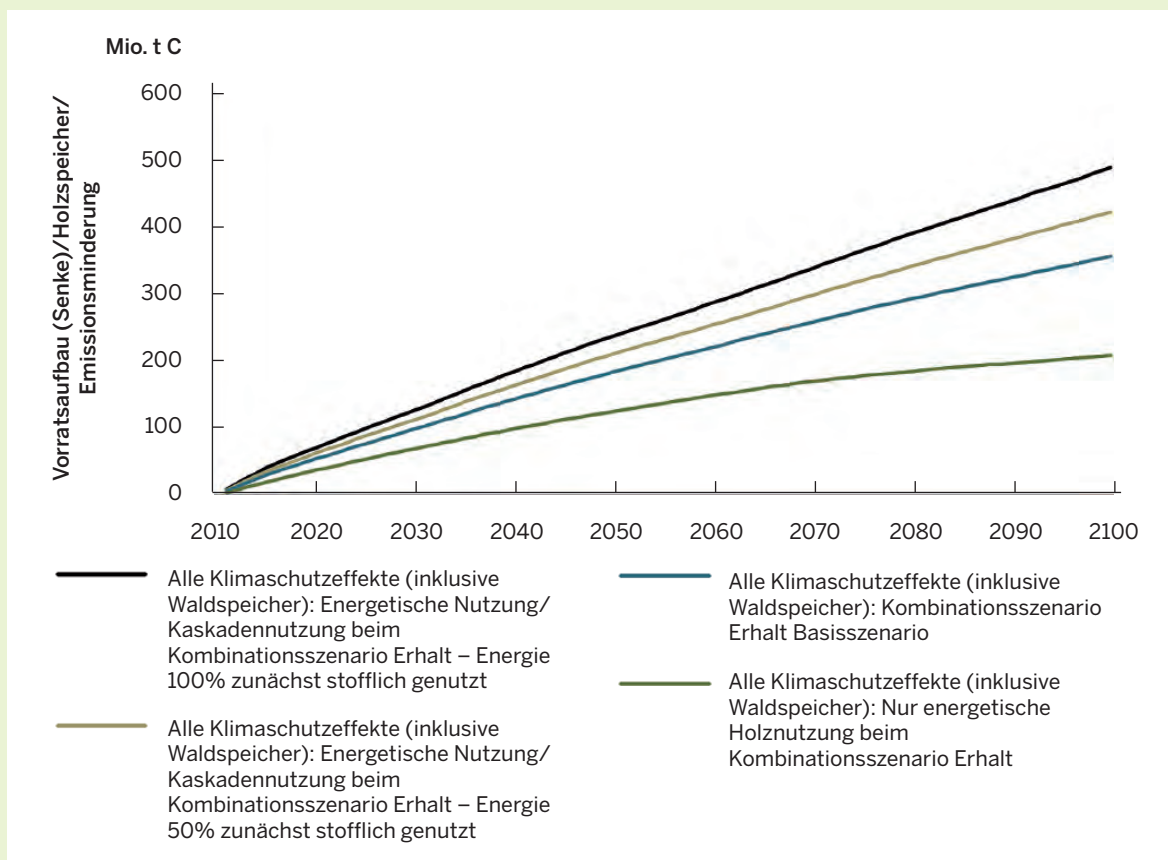
---

116 Es ist selbstverständlich, dass nicht nur Waldbesitz und Holzwirtschaft über die Verwendung entscheiden, sondern dass letztlich die Entscheidung bei den Verbraucher/innen liegt.

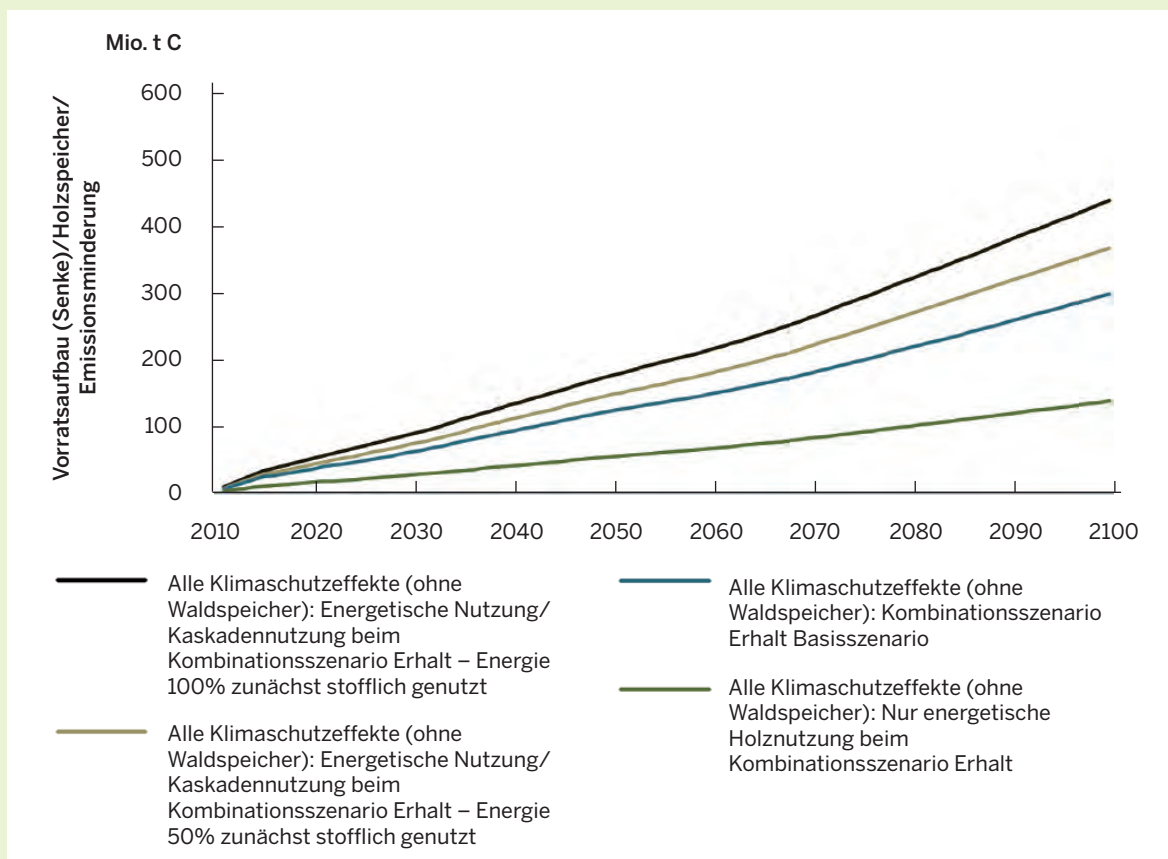
117 In den Modellen wird davon ausgegangen, dass nur 80 % des Altholzes energetisch genutzt werden. Der Rest bleibt ungenutzt (Verrotten o. ä.) und erbringt keinen Klimaschutzbeitrag.

118 Der Wert für die energetische Nutzung im Basisszenario läge 5–10 % höher, was seinen Grund darin hat, dass in den gesamten Annahmen zur Modellierung davon ausgegangen wird, dass lediglich 80 % des stofflich genutzten Gebrauchtholzes energetisch genutzt werden und Energieholz (Rohholz) zu 100 % energetisch genutzt wird.

**135 Modellierung der zukünftigen Klimaschutzleistung des nordrhein-westfälischen Waldes und der Verwendung nordrhein-westfälischen Holzes**



**Abbildung 39:** Darstellung (kumuliert) der Klimaschutzleistung der Holzverwendung für das Kombiszenario Erhalt (2011 bis 2100, mit Waldspeicher) – Vergleich der Klimaschutzleistung bei verschiedenen Einsatzquoten stoffliche Nutzung zu Energieholz



**Abbildung 40:** Darstellung (kumuliert) der Klimaschutzleistung der Holzverwendung für das Kombiszenario Erhalt (2011 bis 2100, ohne Waldspeicher) – Vergleich der Klimaschutzleistung bei verschiedenen Einsatzquoten stoffliche Nutzung zu Energieholz

**Eine erhöhte stoffliche Nutzung verbessert nutzungsorientierte Bewirtschaftung relativ zu schutzorientierter Bewirtschaftung**

Tabelle 40 zeigt die Modellierung einer Erhöhung der stofflichen Nutzung bei allen drei Kombinationsszenarien für den Zeitraum 2011–2050 (heute energetisch genutztes Rohholz oder Reststoffe werden zu 50 % zunächst stofflich verwertet; Einschlag bleibt gleich). War im Basisszenario die Klimaschutzleistung des Szenarios Schutz am höchsten und von Nutz am niedrigsten, so ergibt sich nun ein umgekehrtes Ergebnis.

Durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung abhängig von der Bewirtschaftungsform (2011–2050)	Waldspeicher [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Holzspeicher [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Energiesubst. [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Materialsubst. [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Summe [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]
<i>Nutz Basisszenario</i>	4,6	1,7	3,6	5,9	15,8
Nutz; stoffliche Nutzung + 50%	4,6	2,7	2,9	8,6	18,7
<i>Erhalt Basisszenario</i>	6,8	1,3	3,0	4,9	16,0
Erhalt; stoffliche Nutzung + 50%	6,8	2,1	2,4	7,2	18,5
<i>Schutz Basisszenario</i>	9,3	0,8	2,4	3,8	16,3
Schutz; stoffliche Nutzung + 50%	9,3	1,4	1,9	5,6	18,2

**Tabelle 40:** Durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz in Nordrhein-Westfalen abhängig von der Bewirtschaftungsform (Basisszenario der Kombinationsszenarien im Vergleich zu Kombinationsszenarien mit der Annahme, dass heute energetisch genutztes Rohholz oder Reststoffe zu 50 % zunächst stofflich verwertet werden) (2011–2050)

**Wird Rohholz nur noch energetisch genutzt, dann verringert sich die Klimaschutzleistung bei Ausweitung der Holznutzung**

Tabelle 41 zeigt die Modellierung einer 100 %igen energetischen Nutzung des gesamten Rohholzes bei den drei Kombinationsszenarien für den Zeitraum 2011–2100. War im Basisszenario die Klimaschutzleistung des Szenarios Nutz am höchsten und von Schutz am niedrigsten, so ergeben sich nahezu identische Klimaschutzleistungen für alle drei Kombinationsszenarien.



## 137 Modellierung der zukünftigen Klimaschutzleistung des nordrhein-westfälischen Waldes und der Verwendung nordrhein-westfälischen Holzes

Durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung abhängig von der Bewirtschaftungsform (2011–2100)	Waldspeicher [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Holzspeicher [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Energiesubst. [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Materials subst. [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]	Summe [Mio. t CO <sub>2</sub> a <sup>-1</sup> ]
<i>Nutz Basisszenario</i>	3,1	1,2	4,1	6,3	14,7
Nutz; nur energetische Nutzung	3,1	-0,6	5,6	0	8,1
<i>Erhalt Basisszenario</i>	3,3	1,1	3,8	5,8	14,0
Erhalt; nur energetische Nutzung	3,3	-0,6	5,4	0	8,1
<i>Schutz Basisszenario</i>	4,6	0,8	3,1	4,8	13,3
Schutz; nur energetische Nutzung	4,6	-0,6	4,3	0	8,3

**Tabelle 41:** Durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz in Nordrhein-Westfalen abhängig von der Bewirtschaftungsform (Basisszenario der Kombinationsszenarien im Vergleich zu Kombinationsszenarien mit einer 100 %igen energetischen Nutzung des Rohholzes) (2011–2100)

### 6.2.4.2 Szenario mit der Bewertung von Recycling des Gebrauchtholzes

Wie im letzten Kapitel wird auch hier lediglich das Kombinationsszenario Erhalt dargestellt, um den Einfluss einer unterschiedlich hohen Recyclingquote auf die Klimaschutzleistung des Clusters Forst-Holz zu beschreiben. Abbildung 41 zeigt, dass eine Variation des Anteils des Altholzes, das stofflich genutzt wird, einen Einfluss auf die Klimaschutzleistung des Holzes hat. Ein vollkommener Verzicht auf ein (stoffliches) Recycling und damit einhergehend die vollständige Verbrennung des Altholzes würde im Zeitraum von 2011–2100 durchschnittlich zu einer jährlich geringeren Klimaschutzleistung von 0,4 Mio. t CO<sub>2</sub>/Jahr führen. Dies entspricht ca. 2,7 % der gesamten Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz.

Eine Verdopplung des heute angenommenen 20 %igen stofflichen Recyclings auf 40 % würde die Klimaschutzleistung um durchschnittlich jährlich 0,4 Mio. t CO<sub>2</sub>/Jahr erhöhen. Die theoretisch mögliche Vervierfachung der Recyclingquote würde zu einer Erhöhung der Klimaschutzleistung um durchschnittlich 1,2 Mio. t CO<sub>2</sub>/Jahr führen.

In den Betrachtungen wurde bislang davon ausgegangen, dass die stoffliche Ausbeute des Recyclingmaterials 60 % beträgt (bis zum Fertigprodukt). Der Rest wird energetisch genutzt. Das heißt, das Altholz, das zu 20 % recycelt wird, befindet sich zu 60 % im Fertigprodukt. Bezogen auf den Gesamtholzeinsatz sind dies 12 % (60 % von 20 %). Erhöht man diesen Wert von 12 %

**Verzicht auf derzeitiges Recycling würde Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz um knapp 3 % verringern**

**Eine Erhöhung des Recyclings führt zu einer Erhöhung des Klimaschutzeffektes**

**Verbesserung der Ausbeute beim Recyclingprozess kann Klimaschutzleistung erhöhen**

auf 13 % (Verbesserung der Ausbeute von 60 % auf 65 %), so ergibt dies von 2011–2100 eine zusätzliche Klimaschutzleistung von kumuliert ca. 3 Mio. t CO<sub>2</sub>, ca. 30.000 t CO<sub>2</sub>/Jahr (ca. 0,3 % der gesamten Klimaschutzleistung).

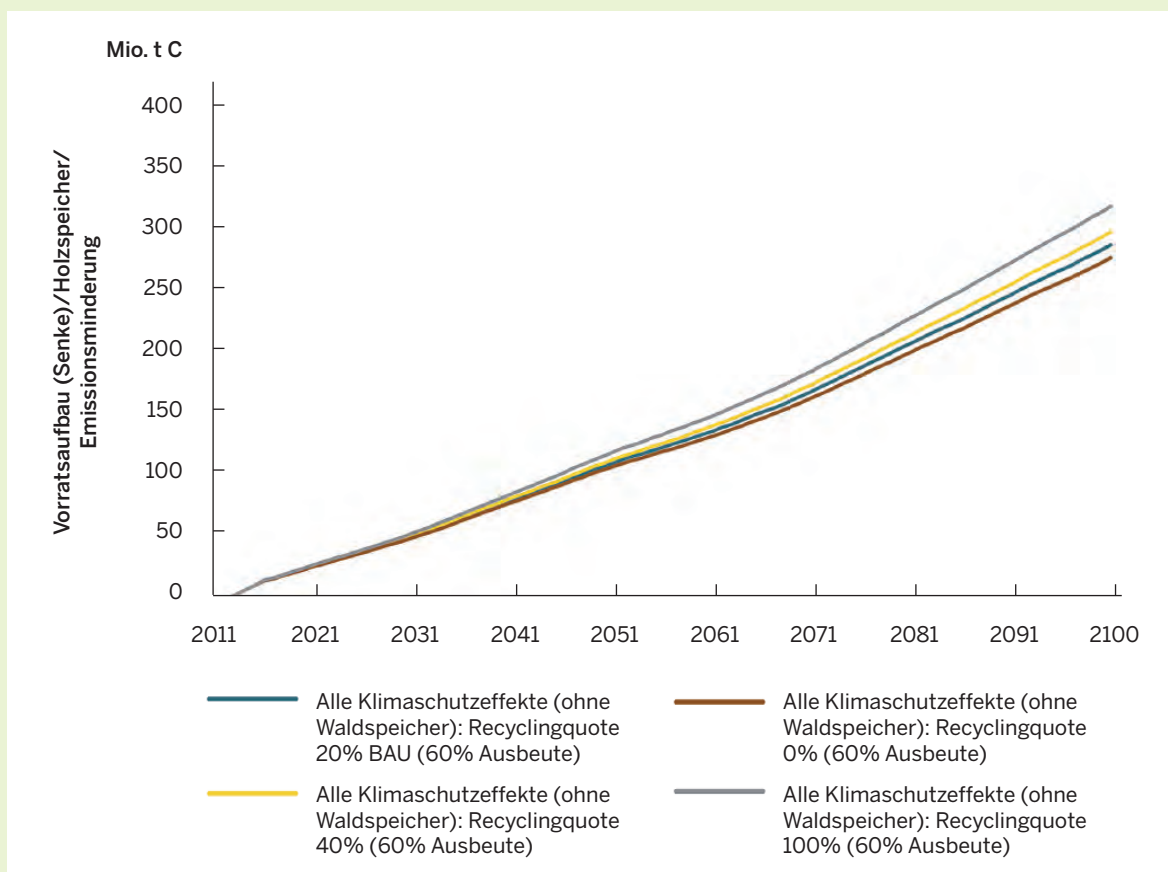


Abbildung 41: Darstellung (kumuliert) der Klimaschutzleistung der Holzverwendung für das Kombiszenario Erhalt (2011 bis 2100, ohne Waldspeicher) – Vergleich der Klimaschutzleistung bei verschiedenen Recyclingquoten

### 6.3 Sekundäre Klimaschutzeffekte: Opportunitäten aus entgangenem Nutzen

Neben den primären Klimaschutzleistungen sind auch sekundäre Klimaschutzleistungen zu beachten

Bislang wurden lediglich Klimaschutzeffekte betrachtet, die ihre Ursache in Senkenleistungen (Wald- und Holzspeicher) bzw. in Emissionsminderungen durch Substitutionen (energetische und stoffliche Substitution) haben. Diese Klimaschutzeffekte werden hier als primäre Klimaschutzleistungen definiert. Darüber hinaus haben Wälder in einer multifunktionalen Waldbewirtschaftung auch weitere Funktionen (Luft, Boden, Wasser, Erosion usw.) und erbringen sozioökonomische Leistungen, die unter Klimaschutz Gesichtspunkten berücksichtigt werden können. Sie werden im Folgenden als sekundäre Klimaschutzleistungen bezeichnet. Jedoch werden in dieser Studie nur die sozioökonomischen Aspekte mit Schwerpunkt auf den ökonomischen Aspekten diskutiert und deren Beziehung zum Klimaschutz herausgearbeitet. Darunter fallen insbesondere die mit der Holznutzung verbundenen vorteilhaften ökonomischen Effekte, die für (weitere)

Klimaschutzmaßnahmen – neben den primären Klimaschutzleistungen – genutzt werden können. Die ökonomischen Effekte der Holznutzung führen zu einer erhöhten volkswirtschaftlichen Wertschöpfung, die über fiskalische Effekte zum Klimaschutz beitragen kann. Diese ökonomischen Effekte werden auf Basis der Publikation „Volkswirtschaftliche Betrachtung von holzbasierter Wertschöpfung in Deutschland“ von Dieter (Institut für Ökonomie der Forst- und Holzwirtschaft am vTI) bewertet (Dieter 2008). Dieter bezieht in seine Überlegungen die Bewertung anderer Autoren aus Clusterstudien, die die volkswirtschaftliche Leistung ähnlich oder sogar höher einschätzen, mit ein (z. B. Seintsch 2008).

In Kapitel 6.1.6 wurde für die Grundszenarien (Tabelle 18) und Kombinationsszenarien (Tabelle 19) die entnommene durchschnittliche jährliche Rohholzmenge angegeben (2011–2100). Die dort in t C angegebenen Rohholzmengen (Durchschnitt 2011–2100) wurden gemäß den Umrechnungsfaktoren in der Inventurstudie 2008 (Oehmichen et al. 2011: 76) in m<sup>3</sup> umgerechnet:

Massenoptimierer: ca. 11,0 Mio. m<sup>3</sup> pro Jahr  
Wertoptimierer: ca. 10,3 Mio. m<sup>3</sup> pro Jahr  
Speicheroptimierer: ca. 5,5 Mio. m<sup>3</sup> pro Jahr

Nutz: ca. 9,2 Mio. m<sup>3</sup> pro Jahr  
Erhalt: ca. 8,5 Mio. m<sup>3</sup> pro Jahr  
Schutz: ca. 7,0 Mio. m<sup>3</sup> pro Jahr

Betrachtet man die Differenz der Rohholzbereitstellung des Erhalt-Szenarios zu den Szenarien Nutz und Schutz,<sup>119</sup> so liefert Nutz durchschnittlich ca. 700.000 m<sup>3</sup> Rohholz/Jahr mehr und Schutz ca. 1,5 Mio. m<sup>3</sup> Rohholz/Jahr weniger im Vergleich zum Erhalt-Szenario. Nach Dieter (2008) können diese Rohholzmen-gen mit einer volkswirtschaftlichen Wertschöpfung von ca. 370 Mio. Euro/Jahr und ca. 7.000 Arbeitsplätzen (Nachteil Erhalt gegenüber Nutz) bzw. ca. 800 Mio. Euro/Jahr und ca. 15.000 Arbeitsplätzen (Vorteil Erhalt gegenüber Schutz) bewertet werden.<sup>121, 122</sup> Im Folgenden wird auf den Vergleich des Erhalt-Szenarios mit dem Schutz-Szenario abgestellt und die Differenz eines volkswirtschaftlichen Nutzen von ca. 800 Mio. Euro/Jahr betrachtet. Legt man eine Steuerquote von einem Drittel (bezogen

#### **Opportunitätskosten durch ein-geschränkte Holznutzung**

**Die im Schutz-Szenario ge-genüber dem Erhalt-Szenario weniger genutzte Rohholzmenge entspricht einer volkswirtschaft-lichen Wertschöpfung von ca. 800 Mio. Euro/Jahr**

119 Würde man die Grundszenarien betrachten, so wären die Differenzen in der volkswirtschaftlichen Wertschöpfung des Speicheropti-mierers und des Massenoptimierers noch deutlich größer.

120 Dieter legt den Wertschöpfungseffekt mit dem 10,4-fachen des Wertes des eingesetzten Rohholzes zugrunde und veranschlagt den Wert des Rohholzes mit 50 Euro/m<sup>3</sup>. Daraus leitet er eine volkswirtschaftliche Wertschöpfung von 52.000 Euro für den Rohstoffeinsatz von 100 m<sup>3</sup> ab. Dieter geht davon aus, dass die Be- und Verarbeitung von 100 m<sup>3</sup> Rohholz über direkte und indirekte Wertschöp-fung einer Vollzeitbeschäftigtenstelle entspricht.

121 Es könnte der (richtige) Einwand erhoben werden, dass eine Ausweitung der Holznutzung in der Vergangenheit nicht zu Arbeitsplatz-gewinnen in dem beschriebenen Maße geführt hat (Grund: Produktivitätsgewinne der Fertigung). Diese Betrachtung greift jedoch zu kurz. Eine Nichtausweitung hätte wahrscheinlich zu einem Verlust an Konkurrenzfähigkeit der Holzwirtschaft und einem deutlichen Arbeitsplatzabbau geführt – ggf. sogar über das Maß hinaus, das als positiver Effekt berechnet wird, weil durch den Verlust der Kon-kurrenzfähigkeit der Rückgang ggf. überproportional ausfallen könnte. Für die Bewertung ist es ökonomisch irrelevant, ob durch eine Ausweitung der Holznutzung neue Arbeitsplätze und damit volkswirtschaftliche Wertschöpfung entsteht oder ob eine Reduktion mit einem Abbau von Arbeitsplätzen vermieden wird. Außerdem sind Produktionsgewinne in der Forst- und Holzwirtschaft mit Arbeits-plätzen bei Zulieferern, besonders auch im Maschinenbau verbunden.

122 14.08.2012; Emissionsrechtehandel eex EU Emission Allowances | Primary Market Auction

auf das Bruttoinlandsprodukt) zugrunde, so ist diese volkswirtschaftliche Wertschöpfung mit Steuereinnahmen von ca. 270 Mio. Euro/Jahr verbunden.

**Die sekundäre Klimaschutzleistung ist mit 13,5 Mio. t CO<sub>2</sub>/Jahr in etwa so groß wie die primäre Klimaschutzleistung**

Die Bewertung einer Steuereinnahme von 270 Mio. Euro/Jahr im Hinblick auf Klimaschutzleistungen kann zum einen über den Preis von CO<sub>2</sub>-Zertifikaten erfolgen (zurzeit 7,50 Euro/t CO<sub>2</sub><sup>122</sup>) oder könnte sich an CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten festmachen (Annahme 20 Euro/t CO<sub>2</sub>).<sup>123</sup> Wird der langfristig konservative Wert von 20 Euro/t CO<sub>2</sub> zugrunde gelegt, entsprechen 270 Mio. Euro/Jahr einer Klimaschutzleistung von 13,5 Mio. t CO<sub>2</sub>/Jahr. Diese sekundäre Klimaschutzleistung ist damit in etwa so groß wie die primäre Klimaschutzleistung des Erhalt-Szenarios von durchschnittlich 14,0 Mio. t CO<sub>2</sub>/Jahr (vgl. Tabelle 34). Bei Bezug auf den Preis von CO<sub>2</sub>-Zertifikaten ergäben sich sogar sekundäre Klimaschutzeffekte von 36 Mio. t CO<sub>2</sub>.

Für die Bewertung der sekundären Klimaschutzeffekte wird nur der Vergleich der Nutzung zwischen den Szenarien gezogen und nicht auf den absoluten volkswirtschaftlichen Nutzen der Holznutzung rekurriert, denn Ziel der Betrachtung/Modellierung ist es, die Auswirkungen verschiedener waldbaulicher Systeme auf die Klimaschutzleistung aufzuzeigen. Die absolute Höhe der sekundären Klimaschutzeffekte ist dabei in dieser Studie nicht von primärem Interesse.

**Opportunitätskosten durch Erhöhung der Holznutzung**

Auf der anderen Seite entstehen nicht nur Opportunitätskosten durch eine entgangene Holznutzung. Eine erhöhte Holznutzung kann auch mit Opportunitätskosten verbunden sein, denn ökonomisch bewertbare Leistungen (z. B. Erholungsleistungen des Waldes, Naturschutzleistungen des Waldes) können ggf. nicht mehr erbracht werden. Die Zuweisung eines ökonomischen Wertes zu diesen Leistungen ist ungleich schwieriger als die Bewertung der volkswirtschaftlichen Bedeutung der Holznutzung.

**TEEB-Studien bewerten seit einigen Jahren die Leistungen von Ökosystemen monetär**

**Dabei ist in Bezug auf Waldökosysteme die Klimaschutzleistung des Waldes die wichtigste Bewertungsgrundlage; dieser Klimaschutzeffekt ist durch diese Studie erfasst**

In den TEEB-Studien (The Economics of Ecosystems & Biodiversity) wurde in den letzten Jahren der Versuch unternommen, die Leistungen von Ökosystemen monetär zu bewerten. In Bezug auf die Bewertung von Waldökosystemen rekurriert TEEB auf die Klimafunktion der Wälder und verweist lediglich darauf, dass die anderen positiven Nebeneffekte von Waldökosystemen noch nicht berücksichtigt seien (TEEB 2010: 10). Gerade die Klimafunktion von Wäldern wird in der hier vorgelegten Studie zur Klimaschutzleistung des Clusters Forst-Holz umfassend analysiert und bewertet. Der Umfang zusätzlicher monetärer Leistungen wird als begrenzt eingestuft, denn die hier zur Diskussion gestellten Kombinationsszenarien sind so angelegt, dass die Multifunktionalität der Waldnutzung schon im Ansatz gewährleistet ist. Forschungsarbeiten zu einer monetären Bewertung der weiteren Funktionen der Waldleistung sind sinnvoll und würden eine wichtige Ergänzung zu den hier vorgelegten Studienergebnissen bieten.

## 6.4 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse

Bei der Beurteilung, welche Waldbewirtschaftung (Grundszenarien bzw. Kombinationsszenarien) die höchste Klimaschutzleistung erbringt, zeigt sich, dass die alleinige Bewertung der Klimaschutzleistung des Waldes (Waldökosystemansatz – Senkenleistung des Waldes und Waldspeicher) zu einem anderen Ergebnis führt als die ganzheitliche Betrachtung des Gesamtsystems Wald–Holzverwendung. Sind bei der isolierten Betrachtung des Waldökosystemansatzes die waldspeicherorientierten, weniger Holz nutzenden Szenarien (Speicheroptimierer, Kombinationsszenario Schutz) vorteilhaft, so zeigt die umfassende ganzheitliche Betrachtung ein gegensätzliches Bild.

Die Klimaschutzleistungen des Clusters ForstHolz lassen sich also nur beurteilen, wenn das Gesamtsystem der Wald- und Holznutzung betrachtet wird. Eine sachgerechte Beurteilung und entsprechende Ableitung von Maßnahmen ist nur möglich, wenn man die Klimawirkung bzw. die Wertschöpfung insgesamt in den Blick nimmt.

Betrachtet man z. B. nur isoliert die Urproduktion im Wald unabhängig von der Holzverwendung (Ökosystemansatz), so würde die Klimaschutzleistung insgesamt falsch bestimmt. Es würden klimapolitische Entscheidungen (z. B. über Managementsysteme der Waldbewirtschaftung) getroffen, die zwar auf der Ebene des Teilsystems Wald logisch erscheinen, aber bei Betrachtung des Gesamtsystems suboptimal sind. Eine solche isolierte Betrachtung kann u. a. zur Empfehlung führen, dass Nutzungseinschränkungen von Wäldern als klimapolitisch beste Nutzungsweise gelten (vgl. aktuelles Umweltgutachten des Sachverständigenrates für Umweltfragen; SRU 2012a<sup>124</sup>). Selbst in einer isolierten Betrachtung des Ökosystems Wald lässt sich dieser Betrachtung schon widersprechen (z. B. Risiken eines zusammenbrechenden Ökosystems mit hohen CO<sub>2</sub>-Emissionen, die in dieser Studie für NRW nicht betrachtet werden können<sup>125</sup>), bei Betrachtung des Gesamtsystems Wald–Holznutzung zeigt sich, dass der Ansatz insgesamt zu falschen Ergebnissen führt. Die Sichtweise der systemisch-ganzheitlichen Betrachtung der

**1. Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz kann nur als Gesamtsystem mit ganzheitlich-systemischem Ansatz beurteilt und sachgerecht darstellbar werden**

---

124 Vgl. dazu auch als Entgegnung auf das Gutachten des SRU den offenen Brief von 14 Forstwissenschaftlern (Erler et al. 2012). Die Forstwissenschaftler sprechen dort u. a. auch die Fehlerhaftigkeit einer isolierten Betrachtung an. Der SRU hat im September 2012 mit einer Stellungnahme auf das Schreiben reagiert und die Betrachtungsweise des Gutachtens verteidigt (SRU 2012b).

125 Kalamitäten in nicht genutzten Beständen stellen ein großes Risiko für erhebliche CO<sub>2</sub>-Freisetzungen dar – selbst auf relativ kleiner Fläche kommt es zu großen Quelleneffekten. Köhl et al. (2008: 109) wiesen in einem Beitrag zur Erarbeitung einer bundesweiten Waldstrategie auf die große Gefahr hin, dass aus der Nutzung genommene Bestände zu einer Kohlenstoffquelle werden können. Sie verweisen auf das Beispiel des Nationalparks Bayerischer Wald, wo eine Fläche von 4.000 ha dem Borkenkäfer zum Opfer fiel (ebd.). Auf Basis des durchschnittlichen Derbholzvolumens in deutschen Wäldern errechnen sie für diese Fläche von 4.000 ha eine CO<sub>2</sub>-Freisetzung von ca. 1,2 Mio. t (ebd.). Auch in anderen Natur- oder Nationalparks wurden großflächige Kalamitäten beschrieben. Dabei ist zu beachten, dass eine Fläche von 4.000 ha, die hier beispielhaft genannt ist, lediglich knapp 0,5 % der nordrhein-westfälischen Waldfläche darstellen würde. Bei dem Sturm „Kyrill“ war die 10-fache Fläche betroffen und es fielen ca. 15,7 Mio. m<sup>3</sup> Sturmholz an. Alleine dieses Sturmholz (ohne sonstige anfallende Biomasse) würde zu einer CO<sub>2</sub>-Freisetzung von mehr als 12 Mio. t CO<sub>2</sub> führen, wäre es nicht holzwirtschaftlich genutzt worden (wenngleich die wirtschaftlichen Verluste mit mehr als 500 Mio. Euro angegeben wurden). Bei reiner Betrachtung des Waldes (Waldökosystemansatz) wurde der Wald 2007 zur Kohlenstoffquelle. In einem nicht genutzten Wald wäre die in NRW während „Kyrill“ angefallene Menge Sturmholz in das Totholz übergegangen und über den Zersetzungszeitraum des Totholzes emittiert worden. Nicht berücksichtigt sind dabei ebenfalls stattfindende CO<sub>2</sub>-Freisetzungen aus dem Boden.

Klimaschutzleistung des Waldes und der Holzverwendung wird mittlerweile auch im politischen Prozess anerkannt. In einem aktuellen Bundesratsbeschluss vom 15. Juni 2012 (Bundesrat 2012), der auch von Nordrhein-Westfalen getragen wurde, wird bei der Beurteilung der Klimaschutzleistung des Forstsektors die Betrachtung des Gesamtsystems Wald–Holznutzung gefordert: „Um die tatsächliche Klimaschutzleistung des Forstsektors sachgerecht zu ermitteln, sind für eine Klima-Gesamtbilanz neben den stofflichen Kohlenstoffspeichern sektorübergreifend auch die Substitutions- und Einspareffekte der Holzverwendung aus dem Sektor ‚Energie‘ zu quantifizieren und einzukalkulieren“ (ebd.).

Die Ergebnisse dieser Studie stützen wissenschaftlich die in diesem Bundesratsbeschluss erhobene Forderung einer Einbeziehung aller Klimaschutzeffekte des Waldes und der Holzverwendung.

**2. Der Klimaschutzeffekt aus Holzverwendung (Holzspeicher und Substitutionseffekte) ist in allen Szenarien größer als der Effekt aus der Senkenleistung des Waldes**

In allen untersuchten Szenarien (Grund- und Kombinationsszenarien) ist der Klimaschutzeffekt, der in der Holzverwendung begründet ist, im Zeitraum 2011–2100 größer als der Klimaschutzeffekt aus der Senkenleistung des Waldes. In den Kombinationsszenarien ist der Substitutionseffekt 1,6-mal (Schutz), 3,2-mal (Erhalt) und 3,7-mal (Nutz) so groß wie die Senkenleistung.<sup>126</sup>

**3. Der Betrachtungszeitraum ist entscheidend dafür, welche Klimaschutzleistung berechnet werden kann; es ist daher wissenschaftlich geboten, verschiedene Zeitpunkte zu betrachten**

Je nach Wahl des Betrachtungszeitraums ergeben sich unterschiedliche Ergebnisse. Tendenziell schneiden in bewirtschafteten Wäldern schutzorientierte Szenarien in kurzfristiger Betrachtung besser ab als in einer langfristigen Betrachtung.<sup>127</sup> Die Ursachen dafür liegen u. a. in der aktuellen Altersklassenverteilung des Bestands und auch in der Möglichkeit des Speicheraufbaus im Totholzspeicher. Daneben benötigen Umstellungen des Forstmanagements hin zu einer stärker auf Holzproduktion orientierten Nutzung einen längeren Zeitraum.

Vor dem Hintergrund einer nachhaltigen Waldbewirtschaftung, die auch die Klimaschutzleistungen des Clusters ForstHolz nachhaltig sicherstellen sollte, ist es in einer seriösen wissenschaftlichen Betrachtung notwendig, einen kurzen Betrachtungszeitraum auch immer mit einem längeren Betrachtungszeitraum zu ergänzen. Jedoch auch die umgekehrte Aussage gilt: Um die Handlungsoptionen für einen kürzeren Zeitraum beurteilen können, ist es nicht ausreichend, einen langen Zeitraum (z. B. 2100) zu betrachten.

Insgesamt lässt sich resümieren, dass sich Strategien zur Waldbewirtschaftung, die Maßnahmen für die nahe (2020) oder mittlere Zukunft (2050) festlegen, über den Zeitraum 2020 bzw. 2050 hinaus blicken sollen – idealerweise sogar über das Jahr 2100 hinaus.

---

<sup>126</sup> Grundszenarien: Massenoptimierer 6-mal so groß, Wertoptimierer 26-mal so groß (wegen Altersklasseneffekten) und Speicheroptimierer 1,1-mal so groß

<sup>127</sup> Aussagen beziehen sich auf das zurzeit in Deutschland übliche Verhältnis von stofflicher und energetischer Verwendung des Rohholzes.

## 143 Modellierung der zukünftigen Klimaschutzleistung des nordrhein-westfälischen Waldes und der Verwendung nordrhein-westfälischen Holzes

Waldbauliche Veränderungen hin zu anderen Bewirtschaftungsformen benötigen Zeit. Umstellungen des Forstmanagements wirken sich oftmals erst (deutlich) später aus. So zeigt sich die Vorteilhaftigkeit des Grundszenarios Massenoptimierer gegenüber den anderen Szenarien erst nach 2050 bzw. nach 2070.

Die Simulationen und die Szenarienentwicklung in dieser Studie zeigen für den nordrhein-westfälischen Cluster ForstHolz, dass eine höhere Holznutzung (in einem längeren Betrachtungszeitraum) einen höheren Klimaschutzeffekt bewirkt als eine speicherorientierte Bewirtschaftung (einen ganzheitlich-systemischen Bewertungsansatz der Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz vorausgesetzt). Dieses Ergebnis bestätigt die Ergebnisse der meisten bislang vorgelegten Studien zur Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz (vgl. Kapitel 3.1).

Jedoch ist die Höhe des Effekts, wonach eine vermehrte Holznutzung zu höheren Klimaschutzleistungen führt, geringer als bislang beschrieben und auch von den Autoren dieser Studie erwartet. Im Zeitraum bis 2100 bewegen sich die Unterschiede in den Kombinationsszenarien lediglich im Rahmen von 10 %. Im Zeitraum bis 2050 ist sogar kein Vorteil einer stärker auf Holznutzung ausgerichteten Bewirtschaftung vorhanden. Gründe für dieses (überraschende) Ergebnis im Vergleich zu vielen veröffentlichten Studien sind zum Beispiel:

- a) auf Seiten der Holzverwendung: Wahl von konservativen Modellannahmen (Energie wird z. B. zu dem Zeitpunkt als energetische Substitution bewertet, wenn die Holzverbrennung stattfindet; Wahl eines konservativen, niedrigeren Substitutionsfaktors für die stoffliche Substitution etc.)
- b) derzeit hohe Anteile an energetischer Verwendung von Holz, die in den Modellen fortgeschrieben sind
- c) auf der Waldseite führt die Betrachtung aller C-Pools zu Verzögerungseffekten, so dass hohe Speicherleistungen (z. B. im Totholz) auch in Bezug auf die Klimaschutzeffekte „konservierend“ wirken<sup>128</sup>
- d) Einfluss der aktuellen Altersklassenstruktur des nordrhein-westfälischen Waldes; die (zyklische) Entwicklung des Waldspeichers hat ihre Ursache in Altersklasseneffekten des Waldes – die Altersklasseneffekte begründen sich im Wesentlichen in den (Wieder-)Aufforstungen nach dem 2. Weltkrieg<sup>129</sup>

Natürlich muss man dabei beachten, dass die Kombinationsszenarien die Unterschiede verschiedener Bewirtschaftungsformen (Grundszenarien) auch nivellieren. Bei den Grundszenarien sind die Unterschiede deutlicher, aber auch relativ gering.

Der unter c) beschriebene Punkt wurde bisher (im Gegensatz zu den Altersklasseneffekten des Waldes) in der generellen Fachdiskussion nicht hinreichend gewürdigt. Er soll wegen seiner

### 4. Umstellungen des Forstmanagements benötigen Zeit

### 5. Mehr Holznutzung erbringt im ganzheitlich-systemischen Ansatz bis 2100 eine höhere Klimaschutzleistung – jedoch ist der Effekt geringer als erwartet

### Aufbau von Totholzspeicher begünstigt bis 2100 speicherorientierte Szenarien

<sup>128</sup> Wegen der großen Bedeutung des Totholzspeichers wäre eine tiefer gehende Untersuchung zu sich verändernden Zersetzungsraten des Totholzes bei zunehmender Erderwärmung sinnvoll.

<sup>129</sup> Die Untersuchungen beziehen sich auf den nordrhein-westfälischen Wald. Sie sind daher nicht übertragbar und gelten zunächst nur für den in dieser Studie betrachteten Wald in Nordrhein-Westfalen.

großen Bedeutung für die Ergebnisse der Studie an dieser Stelle umfassender ausgeführt werden: Durch den Speicheraufbau der nichtlebenden Biomasse (Totholz) gibt es bis 2100 einen bedeutenden Senkeneffekt. Die Abbildungen 13–15 zeigen die Entwicklung der unterschiedlichen (Teil-)Waldspeicher (C-Pools) am Beispiel der Grundscenarien, die Abbildungen 17–19 am Beispiel der Kombinationsszenarien. Die Totholzspeicher erreichen je nach Szenario nach 2080 bzw. auch erst nach 2100 ein Gleichgewicht bzw. schwanken (abhängig vom jährlichen Input/Output in den Totholzspeicher) um einen Gleichgewichtswert. Ist dieser Gleichgewichtszustand erreicht, erbringt der Totholzspeicher keinen Beitrag mehr zur Senkenleistung des Waldes. Da der Kohlenstoffspeicher im Totholz genauso bewertet wird wie der Kohlenstoffspeicher im lebenden Baum und Totholz sich erst über einen längeren Zeitraum abbaut, weisen speicherorientierte Szenarien in der Betrachtung bis 2100 deutlich höhere jährliche durchschnittliche Speicherleistungen aus als bei einer längerfristigen Betrachtung über 2100 hinaus. Das heißt, der Aufbau der Totholzspeicher im Betrachtungszeitraum bis 2100 begünstigt die speicherorientierten Szenarien und diskriminiert die Szenarien mit einer hohen Holznutzung. Nach 2100 ergäbe sich ein anderes Ergebnis. Dann würden die positiven Effekte einer auf Holznutzung orientierten Waldwirtschaft deutlicher sichtbar werden.

**6. Kombinationsszenario Erhalt, das die angestrebte multifunktionale Waldnutzung in NRW am besten repräsentiert, gewährleistet auch die nachhaltige Klimaschutzleistung des Waldes**

Die zurzeit in Nordrhein-Westfalen erarbeitete Waldstrategie 2050 hat u. a. eine multifunktionale Waldwirtschaft zum Ziel. Das Kombinationsszenario „Erhalt“ erfüllt diese in der Waldstrategie des Landes geforderte Multifunktionalität.<sup>130</sup> Die Erbringung von Klimaschutzleistungen des Waldes ist als Funktion des Waldes bislang nicht bzw. nur indirekt in den Konzepten zur nachhaltigen multifunktionalen Waldwirtschaft berücksichtigt. Sie kann mithilfe dieser Studie ebenfalls beurteilt und bei der Entwicklung von Zielindikatoren berücksichtigt werden.

Die Klimaschutzleistung des Kombinationsszenarios „Erhalt“ wird sowohl 2050 als auch 2100 einer nachhaltigen multifunktionalen Waldbewirtschaftung in diesem Sinne gerecht.

**7. Die zur Beurteilung der Szenarien zugrunde gelegte Modellannahme des Substitutionsfaktors für die energetische Substitution ist für die Berechnung und Bewertung entscheidend**

Die Variation der Substitutionsfaktoren hat gezeigt, dass die ausgewiesene Klimaschutzleistung gerade von der Annahme abhängig ist, welcher Energiemix für die Substitutionsfaktoren zugrunde gelegt wird.

**Solange noch fossile Energieträger verwendet werden, ist die Annahme einer Substitution**

Das Basisszenario geht von der Substitution von Energie aus einem (deutschen) Mix fossiler Energieträger aus. Diese Grenznutzenbetrachtung ist gerechtfertigt, so lange fossile Energie in Nordrhein-Westfalen eingesetzt wird und die durch Holzprodukte substituierte Energie geringer ist als die verwendete

---

<sup>130</sup> Multifunktionalität versucht ein Optimum bei der Erfüllung der verschiedenen Funktionen des Waldes und seinen Leistungen für Wirtschaft und Gesellschaft zu finden (Egan-Krieger/Ott 2007: 44). Die integrative, multifunktionale Waldwirtschaft versucht einen „optimierte(n) Kompromiss zwischen verschiedenen Funktionen: Nachhaltige Holzproduktion; naturnahe artenreiche Biozönose einschl. mäßig anspruchsvoller Arten; abwechslungsreiche Waldlandschaft; relativ ungestörte Walddynamik; Schutz von Boden, Wasser, Luft und Klima“ auf gleicher Fläche (ebd.). Auf gleicher Fläche sollen also folgende Waldfunktionen verwirklicht werden: „Versorgungsfunktion, Lebensraumfunktion, eudaimonistische Funktion, Regulationsfunktion, Grundlagenfunktion“ (ebd.).



fossile Energie. Gegebenenfalls wäre vor dem Hintergrund dieser Argumentation auch eine Substitution von Braunkohle als in Nordrhein-Westfalen eingesetzter Energieträger gerechtfertigt. Eine Substitution von Braunkohle würde zu deutlich größeren Klimaschutzeffekten der Holznutzung (und einer größeren Differenz zwischen nutzungs- und speicherorientierten Szenarien) führen. Aus Gründen der konservativen Betrachtung wird die Substitution von Energieträgern eines bundesdeutschen fossilen Energiemix als Bezug gewählt (zu diesem Thema vgl. die ausführliche Begründung in Kapitel 6.2.1).

Sollten in Zukunft (außerhalb des Betrachtungszeitraums dieser Studie, also nach 2100) fossile Energieträger vollständig durch CO<sub>2</sub>-emissionsfreie Energieträger ersetzt werden, sind durch die Materialsubstitution in Verbindung mit der Holznutzung keine dauerhaften Klimaschutzeffekte mehr zu erzielen. Die Holznutzung hätte nur noch einen Einfluss auf die Veränderung des Holzproduktespeichers. Eine Holznutzung wäre aus Klimaschutzgründen weiterhin sinnvoll, denn bei Einstellung der Holznutzung käme es zu einem Abbau des Holzproduktespeichers und damit netto zu CO<sub>2</sub>-Emissionen. Gleichzeitig würde sich auf Dauer im Wald ein biologisches Gleichgewicht (Biomasseaufbau und -abbau sind gleich) einstellen.

Im Fall einer CO<sub>2</sub>-freien Wirtschaft ist die Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz damit nur noch von der Veränderung des Waldspeichers und der Veränderung des Holzspeichers abhängig. Die Klimaschutzleistung des Clusters Forst-Holz könnte dann nur noch danach beurteilt werden, ob Maßnahmen des Clusters ForstHolz zum Klimaschutz zu geringeren Kosten (also ökonomischer) erbracht werden als andere Maßnahmen.<sup>131</sup> Daneben könnte man die in Kapitel 6.3 diskutierten sekundären Klimaschutzeffekte bewerten.<sup>132</sup>

Die Abbildungen 21 bis 26 und 31 bis 36 zeigen instruktiv, dass die Kohlenstoffspeicherung des Waldes prinzipiell temporär ist. In allen untersuchten waldbaulichen Szenarien (bei den drei Grund- und drei Kombinationsszenarien) wird der Wald im Simulationszeitraum bis 2100 zeitweise zur Kohlenstoffquelle. Das heißt, in einzelnen Jahren bzw. auch über einen längeren Zeit-

**fossiler Energieträger inhaltlich sinnvoll und methodisch begründet**

**8. In einer CO<sub>2</sub>-freien Wirtschaft (die erst für die Zeit nach 2100 erwartet wird) bleiben nur noch (temporäre) Speichereffekte**

**9. Speicherleistungen sind temporär – Speicher werden zu Quellen**

<sup>131</sup> Wenn andere Möglichkeiten existieren und ökonomisch bewertet werden können.

<sup>132</sup> Die einzige Bewirtschaftungsform, die in einer CO<sub>2</sub>-freien Wirtschaft noch dauerhafte physische Klimaschutzleistungen erbringen würde, wäre die Nutzung des Zuwachses mit der kompletten Einlagerung des Holzes in einem sauerstoffdichten Holzspeicher, der die Lagerung ohne Zersetzung gewährleistet. Am größten wäre dann die Klimaschutzleistung bei vollständiger Nutzung zum Zeitpunkt DGZ<sub>max</sub> (ähnlich des Grund Szenarios „Massenoptimierer“) und Einlagerung in diesen imaginären Holzspeicher. 2008 wurde von Fritz Scholz, Professor für Analytische Chemie und Umwelttechnik an der Universität Greifswald, und seinem Kollegen Ulrich Hasse in der Fachzeitschrift „ChemSusChem“ vorgeschlagen, dass man Holz in stillgelegten Bergwerksschächten einlagern könne, um es dauerhaft zu konservieren (vgl. idw-online 2008). Der damalige Vorschlag hatte in den allgemeinen Medien eine starke Verbreitung gefunden. Ihm wurde vonseiten der Forst- und Holzwissenschaften widersprochen, weil diese Betrachtung die sonstigen Klimaschutzleistungen der Holzverwendung (Substitutionsleistungen) unberücksichtigt lässt (Köhl/Frühwald 2009). Die hier vorgelegte Klimaschutzstudie für NRW bestätigt, dass der Vorschlag von Scholz und Hasse kontraproduktiv ist und man durch Holzverwendung eine größere Klimaschutzleistung erzielen kann als durch Einlagerung des Holzes in Bergwerksschächten. Der Aussage von Scholz und Hasse ist jedoch zuzustimmen unter der Prämisse, dass in der Gesamtwirtschaft nur noch CO<sub>2</sub>-emissionsfreie Energieträger eingesetzt werden. Jedoch sind die Nichtnutzung des Holzes und das Einlagern in Bergwerken aus zahlreichen anderen Gründen wahrscheinlich nicht akzeptabel und realistisch (ökonomische Bedeutung des Holzes und der Holzwirtschaft bzw. auch die Bedeutung des Holzes als nachwachsender Rohstoff in einer Welt knapper werdender Rohstoffe, Kosten der vorgeschlagenen Einlagerung, fehlende Verfügbarkeit von Einlagerungsarten).

raum wird mehr Kohlenstoff als CO<sub>2</sub> emittiert als neu gebunden (Nettoquelle). Dabei zeigen die speicher- und schutzorientierten Szenarien (Speicheroptimierer, Kombinationsszenario Schutz) die größten temporären Quelleneffekte. Lediglich der Massenoptimierer wird in der Zeit des szenarienbedingten hohen Vorratsabbaus von 2011–2020 zeitweise noch stärker zur Kohlenstoffquelle, die aber durch die positiven Effekte aus der Holznutzung mehr als ausgeglichen wird.

Auch das Gesamtsystem aus Wald- und Holzspeicher wird in allen Szenarien zeitweise zu einer Kohlenstoffquelle, wobei auch hier die speicher- und schutzorientierten Szenarien die größten temporären Quelleneffekte haben und die nutzungsorientierten Szenarien die geringsten Quelleneffekte. Jedoch sind die Gesamtquelleneffekte von Wald- und Holzspeicher kleiner als die Quelleneffekte des Waldes.<sup>133</sup> Der Quelleneffekt aus Wäldern wird durch die Speicherwirkung des Holzproduktespeichers gepuffert.

**10. Substitution wird dauerhaft erbracht – die Substitutionsleistungen führen dazu, dass die Gesamtklimaschutzleistung in den Szenarien immer positiv ist**

Speicher sind nur temporär, Substitutionsleistungen werden dauerhaft erbracht. Würde keine Substitutionsleistung mehr erbracht werden (z. B. durch Einstellung der Holznutzung oder in einer CO<sub>2</sub>-freien Wirtschaft, s. o.), dann wäre die Substitutionsleistung gleich null. Dies ist auch der Grund, warum in den Abbildungen 21 bis 26 und 31 bis 36 alle Linien der Substitutionsleistungen oberhalb der x-Achse verlaufen (negativ können die Werte nicht werden).<sup>134</sup>

Durch die Substitutionsleistungen ist die Klimaschutzleistung von Wald und Holzverwendung im Zeitraum bis 2100 immer positiv, auch wenn die Speicherleistung (temporär) negativ wird.

**11. Substitutionen erbringen eine größere Klimaschutzleistung als Speicher**

Wie viel trägt der Speichereffekt, wie viel die Substitution zu der Klimaschutzleistung insgesamt bei? Bei den Grundszenarien ist die Klimaschutzleistung aus Substitutionseffekten bis 2100 jeweils größer als die Klimaschutzleistung aufgrund von Senkeneffekten. Bei den Szenarien Nutz und Erhalt ist die Substitutionsleistung mehr als doppelt so groß wie die Senkenleistung, bei dem Szenario Erhalt das 1,5-fache.<sup>135</sup>

**12. Die Kaskadennutzung mit der zunächst stofflichen Nutzung des Holzes erbringt eine weit größere Klimaschutzleistung als eine sofortige energetische Nutzung des Rohholzes**

Seit einigen Jahren ist die Holznachfrage stark gestiegen. Es hat sich insbesondere eine Nutzungskonkurrenz von stofflicher und energetischer Nutzung entwickelt. Sie betrifft vor allem die Holzsortimente, die in der Holzwerkstoff- und Zellstoffindustrie eingesetzt werden. Da die Möglichkeiten, die Holznutzung bzw. -bereitstellung in Deutschland auszuweiten, beschränkt sind, wird aus ökonomischen und ökologischen Gründen die Notwendigkeit erwogen, die Rohstoffeffizienz zu steigern. Der Ansatz, der die Rohstoffeffizienz von nachwachsenden Rohstoffen erhö-

---

133 Das heißt, der Holzspeicher bleibt alleine betrachtet über den gesamten Betrachtungszeitraum eine Senke.

134 Solange die Substitutionsfaktoren der stofflichen und energetischen Substitution größer null sind.

135 Nutz: 2,4-fach; Erhalt: 2,2; Schutz: 1,5. Bei den Grundszenarien zeigt sich eine noch deutlichere Differenz: Massenoptimierer: 3,2; Wertoptimierer: 5,8; Speicheroptimierer: 0,9. Der Speicheroptimierer ist im Zeitraum bis 2100 das einzige Szenario, das einen höheren Speicher- als Substitutionseffekt aufweist.

hen kann, ist die Kaskadennutzung. Sowohl in wissenschaftlichen Beiträgen (vgl. den Beitrag des Wuppertal-Instituts: Arnold et al. 2009) als auch auf Seiten der Politik wird die Kaskadennutzung (vgl. z. B. die Ansprache des Ministers Rammel auf der Baumesse Deubau 2012) als sinnvolle Strategie bewertet. Das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz definiert Kaskadennutzung wie folgt: „Kaskadennutzung beschreibt die Strategie, Rohstoffe oder daraus hergestellte Produkte so lange wie möglich im Wirtschaftssystem zu nutzen. Dabei werden Nutzungskaskaden durchlaufen, die vom hohen Wertschöpfungsniveau schrittweise in tiefere Niveaus münden. Bei einer Kaskadennutzung wird die Wertschöpfung insgesamt erhöht und die Umweltwirkung weiter verbessert ... Biomasse wird erst stofflich, ggf. über mehrere Nutzungsetappen oder Produkte, verwendet und am Ende des Produktzyklus energetisch verwertet“ (BMELV 2008).

In der Studie „CO<sub>2</sub>-Speicherung und Wertschöpfung – Holznutzung in einer Kaskade“ wird für die Holznutzung eine durch Recycling erreichte vierfache stoffliche Nutzung beschrieben, an deren Ende die energetische Verwertung steht (EPEA 2009). Die Studie von EPEA benennt qualitativ die Vorteile der Kaskadennutzung für den Klimaschutz (Einlagerung im Holzproduktespeicher, Substitutionseffekte; ebd.: 8), quantifiziert diese Effekte jedoch nicht.

In der hier vorgelegten Studie zum Klimaschutzeffekt des Clusters ForstHolz in NRW kann auf Basis der Szenarien bis 2100 der Effekt einer Kaskadennutzung quantifiziert werden. Im Gegensatz zu den Annahmen in der EPEA-Studie mit einer bis zu vierfachen Nutzung des Holzes wird in dieser Studie betrachtet, welche Auswirkung es auf die CO<sub>2</sub>-Bilanz hat, ob das Rohholz in der 1. Verwertungsstufe stofflich oder energetisch verwertet wird (bzw. welche Auswirkung es hat, wenn sich der Anteil des einmalig recycelten Gebrauchtholzes verändert; s. u.).

Vor dem Hintergrund der erwarteten Marktentwicklung ist es zurzeit eher wahrscheinlich, dass die stoffliche Nutzung zugunsten der energetischen Nutzung weiter eingeschränkt wird. Knauf und Frühwald haben auf Basis einer Befragung von mehr als 300 Experten herausgearbeitet, dass sogar die Gefahr besteht, dass klassische stoffliche Sortimente zur Herstellung langlebiger Holzprodukte (Stammholz, das bislang in der Sägeindustrie eingesetzt wird) zukünftig verstärkt auch für die Energieprodukteherstellung nachgefragt und eingesetzt wird (Knauf/Frühwald 2011).<sup>136</sup> Daher ist das Szenario „energetische Holznutzung ersetzt komplett die stoffliche Holznutzung“ zwar nur ein (wenig realistisches) Extremszenario; durch diese Extrembetrachtung wird jedoch ein Szenarienfeld zum Status quo abgesteckt, das es ermöglicht, auch die Änderung der Klimaschutzleistungen bei geringeren Änderungen im Rohstoffeinsatz abzubilden.

In Kapitel 6.2.4.1 wurde beschrieben, dass im Kombinationsszenario Erhalt von 2011-2100 die Klimaschutzleistung der Holzverwendung (Holzspeicher und Substitutionsleistungen) um ca. 46 % abnimmt, sollte das gesamte Rohholz energetisch verwendet werden. Das heißt, würde alles vorhandene Holz zukünftig nur noch energetisch verwendet werden, würde sich die Klimaschutzleistung der Holzverwendung in etwa halbieren.

### **13. Die vorrangig stoffliche Nutzung des Holzes hat den größten Einfluss auf die Klimaschutzleistung der Holzverwendung**

Kein anderer Weg in der Holzverwendung bzw. auch in der Waldbewirtschaftung hat einen solchen Einfluss auf die Klimaschutzleistung wie die stoffliche Nutzung. Der Grund liegt darin, dass bei der ausschließlich energetischen Nutzung auf die Emissionsminderung aus stofflicher Substitution bzw. auf einen Substitutionsfaktor von  $SF_{MA}=1,5 \text{ t C/t C}$  verzichtet wird.

Der Vorteil der zunächst stofflichen Nutzung gegenüber der energetischen Nutzung lässt sich durch die Substitutionsfaktoren (in Bezug auf das Holzprodukt) quantifizieren:

- a) Rein energetische Nutzung:  
 $SF_{EN} = 0,67 \text{ t C/t C}$  (= 100 %)
- b) Kaskadennutzung I (erst rein stofflich, dann energetisch):  
 $SF_{MA} + SF_{EN} = 2,17 \text{ t C/t C}$  (= 324 % von a)
- c) Kaskadennutzung II (erst rein stofflich, dann ½ (stoffliches) Recycling einmalig, dann energetisch):  
 $SF_{MA} + SF_{MA^*} + SF_{EN} = 2,92 \text{ t C/t C}$  (= 435 % von a)

Daneben ist noch der (temporäre) Speicherfaktor von  $1,0 \text{ t C/t C}$  zu berücksichtigen.

### **14. Stoffliche Holznutzung verschiebt energetische Holzverwertung in die Zukunft**

Bei der stofflichen Nutzung wird jedoch nicht darauf verzichtet, das Holz energetisch zu verwerten. Mehr stoffliche Nutzung bedeutet nicht, dass Holz nicht mehr energetisch genutzt wird. Kapitel 6.2.4.1 zeigt, dass die Holznutzung nur um die Nutzungsdauer des Holzes „aufgeschoben“ ist. Gleichzeitig steht auch Gebrauchtholz, das aus der Nutzung ausscheidet, zur Verfügung. Zum anderen wird prozessbedingt immer ein Teil der Reststoffe und Nebenprodukte in der Holzbearbeitung und -verarbeitung energetisch verwertet werden. Selbst bei einer (nur theoretischen) 100 %igen stofflichen Nutzung des Rohholzes würde im Zeitraum bis 2100 die zur Holznutzung zur Verfügung stehende Holzmenge nur um 30 % sinken (vgl. Kombinationsszenario Erhalt; Kapitel 6.2.4.1). Das heißt, selbst bei einem absoluten Vorrang der stofflichen Nutzung steht Holz zur energetischen Nutzung zur Verfügung.

Prinzipiell ist das Hinausschieben der energetischen Nutzung durch eine möglichst lange Nutzungsphase für die Holzprodukte von Vorteil. Wenn Holz energetisch genutzt wird, gilt ein Substitutionsfaktor von  $SF_{EN} = 0,67 \text{ t C/t C}$  (fossiler Energiemix); für die Zeit der Speicherung gilt jedoch ein Faktor von  $1,0 \text{ t C/t C}$ . Also wäre es sogar sinnvoll, Holz nach Einschlag außerhalb des Waldes möglichst lang (unendlich lang) zu speichern und überhaupt nicht zu verbrennen. Dieses hat zu Vorschlägen geführt, Holz z. B. unter Tage zu lagern (vgl. Fußnote 132). Allerdings berücksichtigen solche Vorschläge nicht die Vorteile, die Substitutionsleistungen von Holzprodukten zu nutzen (vgl. Köhl/Frühwald 2009).

Spiegelbildlich zu den negativen Klimaschutzeffekten eines verstärkten Holzeinsatzes in der energetischen Nutzung ist eine Ausweitung der stofflichen Nutzung zu bewerten. Kapitel 6.2.4.1 zeigt die positiven Klimaschutzeffekte, die damit verbunden sein können. Auch wenn oben ausgeführt wurde, dass eine Ausweitung der stofflichen Nutzung (zulasten der energetischen Verwertung) zurzeit von den Marktteilnehmern als eher unwahrscheinlich beurteilt wird, ist eine Ausweitung technisch möglich und könnte (ggf. in einem förderungspolitischen Rahmen) auch ökonomisch sinnvoll sein.

Die Frage, ob zukünftig eine verstärkte stoffliche Holznutzung erreicht wird, hängt insbesondere davon ab, ob das in Zukunft verstärkt bereitstehende Laubholz statt heute überwiegend energetisch<sup>137</sup> auch vermehrt stofflich genutzt werden kann. Die Frage, wie sich Laubholz zukünftig vermehrt stofflich nutzen lässt, wird zurzeit in der Forst- und Holzwirtschaft intensiv diskutiert. Knauf und Frühwald (2011) sehen in der „Entwicklung von neuen innovativen, marktauglichen Laubholzprodukten eine Schlüsselfrage für die Forschung und Entwicklung der Holzwirtschaft.“ Stand in den Betrachtungen von Knauf und Frühwald stärker die allgemeine wirtschaftliche Bedeutung der Laubholznutzung im Fokus, so kann die Aussage auch auf das Thema der Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz übertragen werden: Neue marktaugliche Laubholzprodukte, besonders solche mit hohen stofflichen Substitutionsfaktoren und langer Lebensdauer (hochwertige Bauprodukte und Möbel), sind ein Schlüssel zur Erhöhung der stofflichen Holznutzung und damit zu einer Erhöhung der Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz.

Aus Klimaschutzgründen ist eine verstärkte Holznutzung (im Sinne eines nutzungsorientierten Forstmanagements) nur dann sinnvoll, wenn die zur Verfügung stehenden Holzmengen vorrangig stofflich verwendet werden. Eine verstärkte Holznutzung zum Zwecke der energetischen Nutzung betrieben, führt im Zeitraum bis 2100 zu einem verringerten Klimaschutzeffekt des Gesamtsystems Wald-Holz (vgl. Tabelle 41). Das heißt, eine erhöhte Holznutzung ist aus Klimaschutzgründen im Zeitraum 2011–2100 vor allem dann sinnvoll, wenn das Holz zunächst stofflich und erst bei der Entsorgung energetisch verwendet wird. Aus Klimaschutzgründen ist ein nutzungsorientiertes Forstmanagement sinnvoll, wenn damit ein Nutzungskonzept zur stofflichen Nutzung verfolgt wird.

Die Erhöhung der Recyclingquote wirkt sich positiv und die Verringerung der Recyclingquote negativ auf die Klimaschutzleistung aus. In den Modellen wurde zur Szenarienanalyse nur ein einmaliger Recyclingdurchlauf unterstellt, wie er derzeit in der Praxis vorliegt (Ausnahme: Papier). Bei dem Kombinations-szenario hat das heutige Recycling einen Anteil von ca. 3 % (ca. 400.000 t CO<sub>2</sub>/Jahr) an der Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz.

**15. Eine Chance zur Ausweitung der stofflichen Nutzung (und damit der Klimaschutzleistung der Holzverwendung) besteht insbesondere darin, für das in Zukunft anfallende Laubholz stoffliche Nutzungsmöglichkeiten zu entwickeln und zu realisieren**

**16. Aus Klimaschutzgründen ist ein nutzungsorientiertes Forstmanagement sinnvoll, wenn damit ein Nutzungskonzept zur stofflichen Nutzung verbunden ist**

**Ein einseitig auf Holzenergienutzung ausgelegtes Nutzungskonzept ist im Zeitraum bis 2100 kontraproduktiv**

**17. Kaskadennutzung durch Erhöhung der Recyclingquote hat einen positiven Klimaschutzeffekt**

---

<sup>137</sup> Die Betrachtungen in dieser Studie unterstellen für die Baumartengruppen ein gleichbleibendes Holznutzungsverhalten. D. h., es wird davon ausgegangen, dass Laubholz in Zukunft anteilig weiterhin in dem Maße energetisch genutzt wird wie heute.

Ließe sich die Recyclingquote (die Studie geht heute von 20 % aus) steigern, so würde sich das positiv in der Klimaschutzbilanz des Clusters bemerkbar machen. Die Frage ist, ob und unter welchen Bedingungen eine Ausweitung der Recyclingquote wirtschaftlich erfolgen kann, denn die Nachfrage nach Gebrauchtholz zur energetischen Verwertung übersteigt das zur Verfügung stehende Angebot. Gleichzeitig sind die technischen Rahmenbedingungen (Holzschutzmittel, Kunststoffe, Metalle etc.) zu beachten. Wie hoch das technische Recyclingpotenzial ist, müsste in weitergehenden Untersuchungen geprüft werden.<sup>138</sup>

**18. Durch verschiedene Maßnahmen ist es möglich, den Substitutionsfaktor für die stoffliche Substitution  $SF_{MA}$  zu erhöhen und damit die Klimaschutzleistung zu erhöhen.**

In Kapitel 6.2.3.3 wurde gezeigt, dass eine Erhöhung des Substitutionsfaktors  $SF_{MA}$  eine bedeutende Auswirkung auf die Klimaschutzleistung hat. Ein höherer Faktor  $SF_{MA}$  ist also in der Holzverwendung anzustreben. Das kann u. a. dadurch geschehen, dass man

- a) die Holzverwendungen insbesondere in die Verwendungen lenkt, die einen besonders hohen Substitutionsfaktor haben (vgl. Kapitel 5.1.6) = veränderter Produktmix,
- b) die Prozesse in der Holzbearbeitung und -verarbeitung hinsichtlich des Energieverbrauchs optimiert und den prozessbedingten Energieeinsatz verringert,
- c) eine längere Nutzungsdauer der Produkte anstrebt.  $SF_{MA}$  ergibt sich aus ökobilanziellem Vergleich funktionaler Einheiten und dabei geht die Lebensdauer als wichtige Kenngröße ein. Eine Verlängerung der Nutzungsdauer kann dadurch erfolgen, dass man die Holzverwendung in langlebigere Anwendungen lenkt (siehe a) oder dass man die Produkteigenschaften der Produkte so verbessert, dass sie bei gleicher Anwendung länger einsetzbar bleiben.<sup>139</sup>

Die Frage, welche Maßnahmen am besten geeignet sind, wird in Kapitel 8 aufgegriffen und muss teilweise in weitergehenden Untersuchungen intensiver betrachtet werden.

**19. Es muss davon ausgegangen werden, dass die Industrien, die zur Holzverarbeitung in Konkurrenz stehen (Alu, Kunststoff, mineralische Baustoffe etc.), ihre Möglichkeiten zur Produkt- oder Prozessverbesserung mindestens genauso gut nutzen wie die Holzbearbeitung und -verarbeitung.**

Es ist davon auszugehen, dass die im vorherigen Abschnitt genannten Maßnahmen den Substitutionsfaktor  $SF_{MA}$  verbessern können. Jedoch ist zu beachten, dass der Substitutionsfaktor  $SF_{MA}$  eine Relativgröße ist (im Gegensatz zu den Speichergrößen). Die stoffliche Substitutionsleistung wird in Relation zu Produkten aus anderen Industrien bewertet. Diese anderen Industrien verbessern auch ihre Produkte, so dass eine Verbesserung der Produkte in der Holzverwendung nicht unbedingt zu einer Erhöhung des Faktors führt, sondern ihn ggf. lediglich erhält. Insgesamt werden die Möglichkeiten, dass andere Industrien, die mit der Holzwirtschaft im Wettbewerb stehen (Stahl, Aluminium, Kunststoff, mineralische Baustoffe), ihre Produkte verbessern,

138 In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, dass die Zellstoff- und Papierwirtschaft als Teil des Clusters ForstHolz beim Recycling 2011 eine Einsatzquote (AP-Verbrauch in % der Papier-, Karton- und Pappeproduktion) von 71 % hatte (vdp 2012). Zum Vergleich: Die Recyclingquote für Holz liegt bei ca. 20 % des Altholzes.

139 Natürlich bedingt nicht nur die technische Haltbarkeit die Lebensdauer von Produkten. Zunehmend bestimmen Designtrends und andere Faktoren den Austausch.

als gleichbedeutend beurteilt.<sup>140</sup> Das heißt, es wird zunächst (bis tiefer gehende Untersuchungen erfolgt sind) davon ausgegangen, dass eine zukünftige Verbesserung des Faktors für die stoffliche Substitution nur in begrenztem Rahmen möglich ist.

Das Fazit im letzten Abschnitt bedeutet jedoch nicht, dass es irrelevant ist, ob man versucht, die Holznutzung (entsprechend den oben beschriebenen Maßnahmen) zu verbessern. Denn würde man diese Anstrengungen nicht unternehmen, würde sich der Faktor verringern und die Klimaschutzleistung der Holzverwendung und damit des gesamten Clusters ForstHolz abnehmen.

Auch hier müssen Maßnahmen zur Verbesserung der Klimaschutzleistung relativ beurteilt werden. Der mögliche Nutzen, den eine Maßnahme schafft, kann auch darin bestehen, dass der Status quo erhalten bleibt. Positive Effekte im Sinne einer Erhöhung der Klimaschutzleistung sind genauso zu bewerten wie Effekte, die die Verringerung der Klimaschutzleistung vermeiden.

In Kapitel 6.2.4.1 wurde gezeigt, dass eine verhältnismäßig kleine Veränderung wie die Erhöhung der Ausbeute im Altholzrecycling von 60 auf 65 % im Jahr eine durchschnittliche Klimaschutzleistung von ca. 30.000 t CO<sub>2</sub> zur Folge hat (Kombinationsszenario Erhalt).<sup>141</sup> Die Erhöhung der Ausbeute im Sägewerk (mehr Haupt-, weniger Nebenprodukte, bessere Sortierung für höhere Leistungsfähigkeit der Produkte) bzw. eine konsequente Nutzung der Nebenprodukte in der stofflichen Nutzung bietet in dieser Beziehung noch wesentlich größere Potenziale als die Verbesserung der Ausbeute beim Recycling.

In Kapitel 6.3 wurde der Begriff der sekundären Klimaschutzeffekte eingeführt und ausführlich vorgestellt. Gemeint sind die volkswirtschaftlichen und fiskalischen Effekte einer veränderten Holznutzungsmenge. Es wurde gezeigt, dass die Holznutzung sekundäre fiskalische Effekte schafft, die der Finanzierung von Klimaschutzmaßnahmen dienen können. Dieser Effekt besteht auch weiterhin in einer CO<sub>2</sub>-neutralen Wirtschaft, wie sie unter Punkt 7 (s. o.) diskutiert wurde.<sup>142</sup>

Neben der Beurteilung von physischen Klimaschutzeffekten bietet die Zunahme von sekundären Effekten die Möglichkeit eines wichtigen ergänzenden Beurteilungskriteriums.

**20. Maßnahmen zur Verbesserung der Klimaschutzleistung müssen relativ beurteilt werden: Erhöhung der Klimaschutzleistung ist genauso zu bewerten wie die Vermeidung der Verringerung der Klimaschutzleistung**

**21. Potenziale sind oft versteckt – auch kleine Maßnahmen mit großer Wirkung**

**22. Sekundäre Klimaschutzeffekte bieten beim Szenarienvergleich ein weiteres Beurteilungskriterium**

---

140 So sind z. B. in der Kunststoffindustrie durchaus auch Potenziale zu einem verstärkten Recycling vorhanden. Jedoch würde ein solches Recycling die Wirtschaftlichkeit der Kunststoffprodukte verringern, was zu einer erhöhten Wettbewerbsfähigkeit von Holzprodukten führen würde. Dies könnte also dann wieder zu Sekundäreffekten (Ausweitung der Holznutzung) führen. Wegen der großen Komplexität des Themas sind hier weitere Forschungsarbeiten notwendig.

141 Auch wenn diese Menge an CO<sub>2</sub>-Minderung angesichts der Gesamtgröße des Clusters relativ gering wirkt, ist sie bedeutend. Zum Vergleich: Um die gleiche Klimaschutzleistung zu erbringen, müssten ca. 750 Einfamilienhäuser zusätzlich in Holzbauweise statt in Steinbauweise errichtet werden. In Nordrhein-Westfalen wurden 2011 ca. 16.300 Ein- und Zweifamilienhäuser fertig gestellt (IT NRW 2012). Bei einer Holzbauquote von 8,5 % lässt sich auf dieser Basis ableiten, dass ca. 1.400 Häuser in Holzbauweise in Nordrhein-Westfalen errichtet wurden. Die Holzbauquote müsste in etwa um 50 % (von 8,5 % auf 13 %) erhöht werden, um die gleiche Klimaschutzleistung zu erbringen, wie sie durch die Erhöhung der Ausbeute beim Recycling erbracht wird. Diese Betrachtung soll nicht belegen, dass eine Erhöhung der Holzbauquote unsinnig ist. Sie erbringt eine zusätzliche relevante Klimaschutzleistung und erhöht darüber hinaus auch die Akzeptanz für Holzverwendung insgesamt. Daher ist sie im Sinne des Klimaschutzes auch sinnvoll. Diese Betrachtung soll lediglich zeigen, dass es versteckte Potenziale zur Erhöhung der Klimaschutzleistung gibt, die zunächst konventionell nicht im Blick sind. In diesem Zusammenhang sei auf die Potenziale bei der Sanierung und Modernisierung verwiesen.

142 Denn auch die dort notwendigen Maßnahmen müssen finanziert werden.

## 7. Waldbewirtschaftung und Holznutzung ist CO<sub>2</sub>-neutrales Wirtschaften

### Beurteilung der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Clusters ForstHolz im Vergleich zu positiven Klimaschutzwirkungen

In dieser Studie wurden bisher – neben Speicher- bzw. Senkenleistungen – die Emissionseinsparungen aus der Substitution fossiler Energieträger betrachtet. Bei der Bewertung der Substitution spielt die (absolute) Höhe der Emissionen zunächst keine Rolle. Lediglich das (relative) Verhältnis der Höhe der Emissionen im Vergleich zu anderen Produkten oder Energieträgern ist dabei zur Beurteilung entscheidend.

Durch die Bewertung der Holzmengen, die für stoffliche und energetische Substitution eingesetzt werden, ist die absolute Höhe der Klimaschutzleistung zu bemessen. Zusätzlich ist es für die Beurteilung von Klimaschutzleistungen hilfreich, auch den (absoluten) Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen für die gesamte Branche zu betrachten. Im Folgenden werden daher

1. Endenergieverbrauch (EE) und CO<sub>2</sub>-Emissionen des Clusters ForstHolz in Nordrhein-Westfalen bestimmt und bewertet und
2. die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Clusters ForstHolz in Bezug zu ihren positiven Klimaschutzleistungen gesetzt.

### Ableitung des Endenergieverbrauchs (EE) und der CO<sub>2</sub>-Emissionen des nordrhein-westfälischen Clusters ForstHolz aus Energiebilanz 2009 des Landes

Um den Endenergieverbrauch (EE) und die CO<sub>2</sub>-Emissionen des nordrhein-westfälischen Clusters ForstHolz zu ermitteln, wurde die Energiebilanz 2009<sup>143</sup> von Nordrhein-Westfalen ausgewertet (IT NRW 2011<sup>144</sup>). Die Energiebilanz weist Endenergieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen für einzelne Sektoren aus. Für den Cluster ForstHolz sind folgende drei Industriesektoren relevant:<sup>145</sup>

1. Herstellung von Holz-, Flecht-, Korb- und Korkwaren (ohne Möbel)
2. Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus
3. Herstellung von Möbeln

Diese drei Begriffe sind weitgehend deckungsgleich mit den Bezeichnungen Holzindustrie, Papierindustrie und Möbelindustrie. Sie sollen im Weiteren verwendet werden. Die Ergebnisse für den Primärenergieverbrauch und die damit zusammenhängenden CO<sub>2</sub>-Emissionen sind in Tabelle 42 dargestellt.

143 Die Energiebilanz 2010 liegt noch nicht vor.

144 Zur Betrachtung der Energiebilanz in dieser Studie vgl. auch Tabelle 10 in Kapitel 5.5.2

145 In einem erweiterten Clusterverständnis könnte noch das Druck- und Verlagswesen miteinbezogen werden. Aus inhaltlichen Gründen wird an dieser Stelle darauf verzichtet.



Energieträger	Holzindustrie		Möbel		Papier		gesamt	
	EE (TJ)	CO <sub>2</sub> (kt)	EE (TJ)	CO <sub>2</sub> (kt)	EE (TJ)	CO <sub>2</sub> (kt)	EE (TJ)	CO <sub>2</sub> (kt)
Heizöl leicht	214	16	428	32	417	35	1.059	83
Heizöl schwer	202	16	0	0	0	0	202	16
Erdgas	422	24	422	24	12.977	727	13.821	775
Steinkohle	0	0	0	0	3.362	313	3.362	313
Braunkohle	0	0	0	0	2.751	267	2.751	267
Flüssiggas	0	0	0	0	92	6	92	6
Biomasse	11.696	*	1.355	*	806	*	13.857	*
Strom	3.676	557	1.962	297	18.281	2.769	23.919	3.623
Fernwärme	169	10	17	1	3.263	184	3.449	195
andere	0	0	0	0	99	8	99	8
<b>Summe</b>	<b>16.379</b>	<b>621</b>	<b>4.184</b>	<b>353</b>	<b>42.048</b>	<b>4.309</b>	<b>62.611</b>	<b>5.286</b>

**Tabelle 42:** Endenergieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Nutzung fossiler Energieträger im Cluster ForstHolz für 2009 (IT NRW 2011)

In der nordrhein-westfälischen Energiebilanz wird die Verbrennung von Biomasse bislang als CO<sub>2</sub>-neutral dargestellt.<sup>146</sup> Daher sind diese Werte in der Tabelle 42 mit \* gekennzeichnet. Um die absoluten CO<sub>2</sub>-Emissionen des Clusters ForstHolz jedoch zu den positiven Klimaschutzwirkungen des Clusters in Beziehung setzen zu können und die Konsistenz zu der Argumentation der Gesamtstudie herzustellen, ist es notwendig, dass die Biomasse mit den realen CO<sub>2</sub>-Emissionen bewertet wird. Diese Werte wurden auf Basis des Energiegehaltes von Holz ermittelt.<sup>147</sup> Tabelle 43 ergänzt Tabelle 42 um die Angabe der CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Biomasseverbrennung.

**Die in der energetischen Verwertung eingesetzte Biomasse wird mit ihrem physischen Emissionsverhalten angesetzt (d. h. der gebundene C wird vollständig bei der Verbrennung als CO<sub>2</sub> emittiert)**

146 Es stellt sich die Frage, ob mit dieser Betrachtung und der Nichtberücksichtigung der Vorketteneffekte (vgl. Kapitel 5.4.2) nicht ein grundsätzlicher methodischer Fehler in der Treibhausgasbilanz des Landes NRW vorliegt und die gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen bislang nicht zu gering dargestellt sind. Ausgeglichen wird dies durch den wahrscheinlich zu geringen Ausweis von eingesetzter Biomasse (vgl. ebd.).

147 4–4,3 kWh/kg lutro Holz; Nadelholz hat einen geringfügig höheren Heizwert als Laubholz. Wichtig ist dabei, dass der Heizwert stark von der Holzfeuchte abhängt (trockenes Holz mit einem deutlich höheren Heizwert). Für die Berechnung wurde konservativ mit 4,0 kWh/kg lutro Holz kalkuliert. Dabei ist auch der Energieaufwand für die Waldbewirtschaftung, die Holzernte und den Transport berücksichtigt. Schätzungen gehen von bis zu 2 % des Energieinhalts des geernteten Holzes aus.

Energieträger	Holzindustrie		Möbel		Papier		gesamt	
	EE (TJ)	CO <sub>2</sub> (kt)	EE (TJ)	CO <sub>2</sub> (kt)	EE (TJ)	CO <sub>2</sub> (kt)	EE (TJ)	CO <sub>2</sub> (kt)
Heizöl leicht	214	16	428	32	417	35	1.059	83
Heizöl schwer	202	16	0	0	0	0	202	16
Erdgas	422	24	422	24	12.977	727	13.821	775
Steinkohle	0	0	0	0	3.362	313	3.362	313
Braunkohle	0	0	0	0	2.751	267	2.751	267
Flüssiggas	0	0	0	0	92	6	92	6
Biomasse	11.696	1.490	1.355	173	806	103	13.857	1.766
Strom	3.676	557	1.962	297	18.281	2.769	23.919	3.623
Fernwärme	169	10	17	1	3.263	184	3.449	195
andere	0	0	0	0	99	8	99	8
<b>Summe</b>	<b>16.379</b>	<b>2.111</b>	<b>4.184</b>	<b>527</b>	<b>42.048</b>	<b>4.410</b>	<b>62.611</b>	<b>7.052</b>

**Tabelle 43:** Endenergieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Nutzung fossiler Energieträger im Cluster ForstHolz für 2009 (IT NRW 2011) – ergänzt um die CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Biomasse (eigene Berechnung)

### CO<sub>2</sub>-Emissionen des Holzgewerbes (GHD)

#### Unsichere Datenlage erfordert konservative Abschätzung

Zum Cluster ForstHolz gehören neben den industriellen Be- und Verarbeitern auch die handwerklichen Verarbeiter (vgl. Tabelle 1). Der Energieverbrauch und die damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen für die handwerklichen Verarbeiter sind lediglich in dem Sektor GHD (Gewerbe, Handel, Dienstleistungen) aggregiert ausgewiesen. Untersuchungen zum Energieverbrauch im nordrhein-westfälischen Holzhandwerk liegen nicht vor, so dass lediglich Schätzungen möglich sind. Eine umfangreiche Studie zum Energieverbrauch im Sektor GHD weist für das Holzgewerbe für 2009 einen Stromverbrauch von 268 GWh/a (Schlomann et al. 2011: 26) und einen sonstigen Energiebedarf von 823 GWh/a (ebd.: 29) aus. Schlomann et al. leiten einen bundesweiten Wert für das Holzgewerbe ab: Endenergie von 0,3 TWh/a für Strom (Gesamt-GHD: 115,6 TWh), 0,8 TWh/a (Gesamt-GHD: 265,9 TWh) für sonstige Energieträger. Das heißt, der Gesamtenergieverbrauch des Holzgewerbes beträgt 2009 ca. 1,0 TWh, also 0,2 % des gesamten Endenergieverbrauchs im Sektor GHD. Inwieweit Biomasse in der Studie bei der Berechnung berücksichtigt wurde, ist nicht ersichtlich. Um eine konservative Bewertung vorlegen zu können, wird im Weiteren nicht mit dem Wert von 0,2 % gerechnet, sondern es wird ein gutachterlicher Wert von 1 % festgelegt.

Dieser Wert beinhaltet auch ggf. in der Studie von Schlomann et al. nicht berücksichtigte Biomasseanteile.<sup>148</sup>

148 Es wird davon ausgegangen, dass im Holzgewerbe ein großer Teil an Holz zur energetischen Nutzung eingesetzt wird, das nicht statistisch erfasst ist.

In der Energiebilanz 2009 für NRW ist für den Sektor GHD ein Endenergieverbrauch von 297.811 TJ ausgewiesen (IT NRW 2009: 23). Dies entspricht ca. 83 Mrd. kWh. Für das Holzgewerbe ergibt sich damit ein Anteil von ca. 1 Mrd. kWh.<sup>149</sup> Die nordrhein-westfälische Energiebilanz 2009 weist eine CO<sub>2</sub>-Emission für den Sektor GHD von 26 Mio. t aus (ebd. 53). Für das Holzgewerbe ergibt sich auf Basis der Annahme eines 1%igen Anteils eine Emission von ca. 260.000 t CO<sub>2</sub> für 2009.

Insgesamt ergibt sich so eine CO<sub>2</sub>-Emission des Clusters ForstHolz für 2009 von ca. 7,3 Mio. t. Betrachtet man nicht den Cluster ForstHolz insgesamt, sondern nur die engere Forst- und Holzwirtschaft (einschließlich Möbelindustrie und Holzgewerbe), also ohne die Papierindustrie, dann ergibt sich ein Wert von ca. 2,9 Mio. t CO<sub>2</sub>.

Diese beiden Werte lassen sich zu den in Tabelle 11 dargestellten Werten für die aktuelle Klimaschutzleistung des nordrhein-westfälischen Clusters ForstHolz bzw. der Forst- und Holzwirtschaft in Beziehung setzen. Tabelle 11 enthält für die Papierwirtschaft keine stoffliche Substitution und diese ist auch nicht im Holzspeicher<sup>150</sup> berücksichtigt. Daher dient Tabelle 11 nicht nur dem Ausweis der Klimaschutzleistungen des Clusters, sondern auch der Klimaschutzleistung in einer engeren Betrachtung (s. o.). In Tabelle 44 wird die positive Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz bzw. der Forst- und Holzwirtschaft (ohne die Papierindustrie) den CO<sub>2</sub>-Emissionen des Clusters bzw. der Forst- und Holzwirtschaft gegenübergestellt.

Es werden die Werte für die drei Leitmodelle (Tabelle 11) dargestellt. Am inhaltlich aussagekräftigsten und am präzisesten ist die Darstellung von Leitmodell II, denn dieses Leitmodell berücksichtigt sowohl die positiven als auch die negativen Effekte in Bezug auf die Produktion. Leitmodell I mit dem Bezug zum Verbraucher und Leitmodell III mit dem Bezug zum Holz aus nordrhein-westfälischen Wäldern können nicht direkt mit den in diesem Kapitel ermittelten Werten aus der Energiebilanz verglichen werden. Um aber auch hier eine Vergleichbarkeit herzustellen, wurde der ermittelte Wert prozentual zu den in den Leitmodellen ermittelten Substitutionsleistungen angepasst. Das heißt, es wurde unterstellt, dass in NRW eingesetzte Holzprodukte pro Einheit mit dem gleichen Energieaufwand hergestellt wurden wie die in Nordrhein-Westfalen hergestellten Produkte (auch wenn sie nicht in NRW eingesetzt wurden). Das Gleiche gilt für das Holz aus nordrhein-westfälischen Wäldern. Da diese Übertragung idealisiert ist und mit einer gewissen Unschärfe verbunden ist, sollten insbesondere die Darstellungen zu Leitmodell II betrachtet werden und als Diskussionsgrundlage dienen.

**2009:**

**CO<sub>2</sub>-Emission des Clusters Forst-Holz ca. 7,3 Mio. t**

**CO<sub>2</sub>-Emission der Forst- und Holzwirtschaft (ohne Papier) ca. 2,9 Mio. t**

**CO<sub>2</sub>-Emission des Clusters Forst-Holz werden in Beziehung gesetzt zu positiven Klimaschutzleistungen**

149 Auch an dieser Stelle wird aus Gründen der unsicheren Datenlage konservativ gerundet.

150 Wegen des seit Jahren gleichbleibenden Verbrauchs an Produkten der Papierwirtschaft

	CO <sub>2</sub> -Minderung	CO <sub>2</sub> -Emission	Saldo	Minderung/ Emission
<b>Cluster ForstHolz einschließlich Papierindustrie</b>				
„Was leisten nordrhein-westfälischer Wald und nordrhein-westfälische Verbraucher/innen?“ Leitmodell I: Verbraucherorientiert	21,4 Mio. t CO <sub>2</sub>	8,0 Mio. t CO <sub>2</sub> *	13,4 Mio. t CO <sub>2</sub> *	2,7
„Was leisten nordrhein-westfälischer Wald und Holzwirtschaft in NRW?“ Leitmodell II: (Post-)Kyoto-orientiert	18,0 Mio. t CO <sub>2</sub>	7,3 Mio. t CO <sub>2</sub>	10,7 Mio. t CO <sub>2</sub>	2,5
„Was leisten nordrhein-westfälischer Wald und daraus entnommenes Holz?“ Leitmodell III: Wertschöpfungsorientiert	11,2 Mio. t CO <sub>2</sub>	3,2 Mio. t CO <sub>2</sub> *	8,0 Mio. t CO <sub>2</sub> *	3,5
<b>Cluster ForstHolz ohne Papierindustrie</b>				
„Was leisten nordrhein-westfälischer Wald und nordrhein-westfälische Verbraucher/innen?“ Leitmodell I: Verbraucherorientiert	20,8 Mio. t CO <sub>2</sub>	3,2 Mio. t CO <sub>2</sub> *	17,6 Mio. t CO <sub>2</sub> *	6,5
„Was leisten nordrhein-westfälischer Wald und Holzwirtschaft in NRW?“ Leitmodell II: (Post-)Kyoto-orientiert	18,0 Mio. t CO <sub>2</sub>	2,9 Mio. t CO <sub>2</sub>	15,1 Mio. t CO <sub>2</sub>	6,2
„Was leisten nordrhein-westfälischer Wald und daraus entnommenes Holz?“ Leitmodell III: Wertschöpfungsorientiert	11,2 Mio. t CO <sub>2</sub>	1,4 Mio. t CO <sub>2</sub> *	9,8 Mio. t CO <sub>2</sub> *	8,0

**Tabelle 44:** Gegenüberstellung von positiven Klimaschutzleistungen des Clusters ForstHolz und CO<sub>2</sub>-Emissionen und Darstellung des Verhältnisses von Minderung und Emission (\* Umrechnung auf Basis von Leitmodell II)

**Cluster ForstHolz stellt seine Produkte nicht nur netto CO<sub>2</sub>-neutral dem Markt zur Verfügung, sondern erbringt darüber hinaus noch eine bedeutende Klimaschutzleistung**

Die Spalte Saldo in Tabelle 44 kennzeichnet die Differenz zwischen positiven Effekten (CO<sub>2</sub>-Minderungen) und negativen Effekten (CO<sub>2</sub>-Emissionen) und ist inhaltlich als Netto-Klimaschutzleistung nach Herstellung aller Produkte/Dienstleistungen der nordrhein-westfälischen Holz-, Möbel- und Papierwirtschaft zu interpretieren. Man könnte davon sprechen, dass alle Produkte netto CO<sub>2</sub>-frei hergestellt werden und der in dieser Spalte ausgewiesene Wert die darüber hinausreichende positive Klimaschutzleistung darstellt. Damit sagt diese Spalte aus, dass der Cluster ForstHolz seine Produkte nicht nur netto CO<sub>2</sub>-neutral dem Markt zur Verfügung stellt, sondern darüber hinaus noch eine bedeutende Klimaschutzleistung erbringt.

**Für jede Tonne CO<sub>2</sub>, die der Cluster emittiert, werden gleichzeitig 2,5 bzw. 6,2 t CO<sub>2</sub> eingespart (Leitmodell II)**

Die Effekte der Emissionsminderung sind deutlich größer als die Effekte der CO<sub>2</sub>-Emissionen. Im Leitmodell II (vgl. Tabelle 11) ist es bei Betrachtung des gesamten Clusters der 2,5-fache Wert, bei der Betrachtung des Clusters ForstHolz ohne die Papierwirt-

schaft der 6,2-fache Wert. Für jede Tonne CO<sub>2</sub>, die der Cluster emittiert, werden gleichzeitig 2,5 bzw. 6,2 t CO<sub>2</sub> eingespart.

Es fällt schwer, die in diesem Kapitel dargestellten Werte und die damit verbundenen Erkenntnisse in einen Vergleich zu anderen Industrien zu setzen. Denn in der Regel werden Branchen dadurch verglichen, dass man den Energieaufwand bzw. die CO<sub>2</sub>-Emissionen pro erzielter Wertschöpfung (z. B. pro 1.000 Euro Umsatz) gegenüberstellt (vgl. z. B. BFE 2007). Bei der Beurteilung des Klimaschutzes sind die Branchen und Sektoren vorteilhaft, die weniger CO<sub>2</sub> pro hergestellter Einheit emittieren als andere. Produzierende Industrien, denen es gelingt, CO<sub>2</sub>-frei zu produzieren, sind zumindest sehr selten.<sup>151</sup> Der Cluster ForstHolz jedoch stellt seine Produkte nicht nur CO<sub>2</sub>-frei zur Verfügung, sondern leistet darüber hinaus noch einen positiven Beitrag zum Klimaschutz, er wirtschaftet CO<sub>2</sub>-senkend.

Selbst eine energieintensive Industrie wie die Papier- und Zellstoffindustrie (als Teil des Wirtschaftsclusters ForstHolz) wird dabei von der Forst- und Holzwirtschaft unter Klimagesichtspunkten quasi mitgetragen.<sup>152</sup> Die Papierindustrie ist eine energieintensive Industrie und – betrachtet man die Sektoren (ohne Energieerzeugung) – in Nordrhein-Westfalen der sechstgrößte CO<sub>2</sub>-Emittent.<sup>153</sup>

Alle produzierenden Industrien sind heute CO<sub>2</sub>-Emittenten. Der Cluster ForstHolz hingegen ist ein „negativer CO<sub>2</sub>-Emittent“. Er verursacht zwar auch CO<sub>2</sub>-Emissionen durch die Verbrennung fossiler oder nicht fossiler Brennstoffe; diese Emissionen werden jedoch durch die Senkenleistung der Wälder, die Holzspeicher und die energetische und stoffliche Substitutionsleistung ausgeglichen. In diesem Sinne kann der Cluster ForstHolz als CO<sub>2</sub>-positiv oder klimapositiv bezeichnet werden.

Aus der im letzten Abschnitt beschriebenen CO<sub>2</sub>-neutralen bzw. CO<sub>2</sub>-senkenden Produktion ist ein wichtiger Schluss zu ziehen: Ein Ausbau und eine Förderung der Holzwirtschaft in Nordrhein-Westfalen hat nicht nur eine wirtschaftspolitische Dimension, sondern auch eine bedeutende klimapolitische Dimension. Die Holzwirtschaft ist heute eine der wenigen produzierenden Branchen, die zusätzliches emissionsfreies Wirtschaftswachstum erzeugen kann. Eine Ausweitung der Produktionsmenge in anderen Industrien ist wirtschaftspolitisch gewollt, führt aber gleichzeitig zu einer Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in NRW. Verlagert man lediglich die energieintensiven Herstellungsprozesse aus NRW heraus, so wird die CO<sub>2</sub>-Bilanz Nordrhein-Westfalens verbessert, aber der globale Klimaschutz nicht verbessert. Denn die Emissionen finden an anderer Stelle statt (vielleicht sind sie wegen ineffizienter Prozessführung sogar noch höher, vgl. den Begriff der Leakage-Effekte in Kapitel 4.2).

**Selbst eine energieintensive Industrie wie die Papier- und Zellstoffindustrie (als Teil des Wirtschaftsclusters ForstHolz) wird von der Forst- und Holzwirtschaft unter Klimagesichtspunkten quasi mitgetragen**

**Zusammenfassung und Fazit:  
Alleinstellungsmerkmal: Forst- und Holzwirtschaft wirtschaften „CO<sub>2</sub>-positiv“**

**CO<sub>2</sub>-freies Wirtschaftswachstum möglich durch Holzförderung in Umweltwirtschaftsstrategie**

**Der Cluster ForstHolz mit möglichem Beitrag in ökologisch-industrieller Revolution**

151 Eventuell im Bereich der Energieerzeugung, Erneuerbare-Energien-Sektor

152 Auf der anderen Seite profitiert der gesamte Cluster von der Papierindustrie mit ihrer wirtschaftlichen Stärke, was sich in Umsatz und Arbeitsplätzen zeigt, vgl. Clusterstudie NRW.

153 Da im Produktspektrum der Papier- und Zellstoffindustrie keine Produkte vorhanden sind, die positiv zum Klimaschutz beitragen, wird nur ein kleiner Teil der Emissionen der Papierindustrie durch Biomasseverbrennung des aus dem Altpapierkreislauf ausscheidenden Papiers erzeugt.

Durch die Förderung der Holzwirtschaft kann – auch auf Basis von Holz, das nicht in nordrhein-westfälischen Wäldern gewachsen ist<sup>154</sup> – eine Ausweitung der industriellen Produktion erreicht werden, ohne dass diese mit einer Steigerung von CO<sub>2</sub>-Emissionen verbunden ist. Bei einer Produktionsausweitung (bei entsprechendem Absatz) entstehen sogar Energie- bzw. CO<sub>2</sub>-Gutschriften über eine CO<sub>2</sub>-Neutralität hinaus.

Damit kann die Verwendung von Holz und Holzprodukten (mindestens) als klimaneutral betrachtet werden. Natürlich gibt es auch Produkte der Holzwirtschaft, bei denen diese grundsätzliche Aussage an ihre Grenzen stößt: So kann kein CO<sub>2</sub>-neutrales Papier- oder Zellstoffwerk in NRW errichtet werden.<sup>155</sup> Durch die Ansiedlung und Förderung von holzwirtschaftlicher Produktion in bestimmten Prozessstufen kann ein CO<sub>2</sub>-freies Wirtschaftswachstum erzeugt werden – damit kann im Prozess der „ökologisch-industriellen Revolution“ ein Beitrag geleistet werden (NRW SPD–Bündnis90/Die Grünen NRW 2012: 63).<sup>156</sup>

**Weitere Untersuchungen auf Produktebene bzw. Produktionsebene für gezielte Förderung notwendig**

Weitergehende Untersuchungen sollten nicht nur den gesamten Cluster ForstHolz betrachten, sondern ebenso Betrachtungen auf Produktebene anstellen. Dadurch ließe sich beurteilen, welche Förderung von Produkten und/oder welche Prozesse unter Klimagesichtspunkten besonders sinnvoll sind.

---

154 Im aktuellen rot-grünen Koalitionsvertrag wird die Verwendung von heimischem Holz priorisiert. Es erscheint durchaus gerechtfertigt, dass eine den nordrhein-westfälischen Bedarf abdeckende Holzwirtschaft vorhanden ist bzw. aufgebaut wird.

155 Auch Anlagen zur EEG-Strom-Erzeugung ohne oder mit nur einer geringen Wärmenutzung sind problematisch.

156 Dieser Begriff ist im Koalitionsvertrag der rot-grünen Landesregierung (2012–2017; NRW SPD – Bündnis 90/Die Grünen NRW 2012: 63) genannt: „Wir wollen NRW zum Vorreiter der ökologisch-industriellen Revolution machen. Mit unserem Konzept des konsequenten ökologischen Umbaus der Industriegesellschaft wollen wir Ökonomie und Ökologie im 21. Jahrhundert zu wechselseitigem Nutzen entwickeln und damit den Schutz unserer Umwelt, nachhaltiges Wirtschaften und neue Arbeitsplätze ermöglichen. Wir setzen dabei vor allem auf den Ideenreichtum und die Innovationskraft der Menschen und der Wirtschaft in NRW.“

## 8. Potenziale für eine Erhöhung der Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz – Möglichkeiten einer Förderung der Klimawirkung des ForstHolz-Clusters in NRW als Grundlage zur Maßnahmenplanung

An dieser Stelle sollen Maßnahmen zur Erhöhung der Klimawirkung des Clusters ForstHolz aufgezeigt werden. Die Maßnahmen werden nicht priorisiert. Im Rahmen dieser Studie kann keine tiefere Betrachtung und Wirkungsabschätzung erfolgen. Sie bleibt einer erweiternden Betrachtung vorbehalten. Die hier genannten Maßnahmen dienen als Einstieg für eine solche Betrachtung. Es stehen die Maßnahmen im Vordergrund, die unabhängig vom Waldbewirtschaftungsmodell eine positive Klimaschutzleistung erbringen bzw. zur Erhöhung der Klimaschutzleistung beitragen.

Eine Erhöhung der Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz kann prinzipiell durch folgende Maßnahmen erreicht werden:

- a) Vergrößerung der Speicher: Waldspeicher und Holzproduktespeicher
- b) Erhöhung der zur Verarbeitung zur Verfügung stehenden Holzmenge durch Ausweitung der Waldflächen oder Produktivitätssteigerung auf bestehender Waldfläche
- c) Einsatz von Holz in Verwendungen mit der höchsten Substitutionswirkung, zum Beispiel
  - a. mehr stoffliche Verwertung von Holz (Materialsubstitution SF=1,50) im Vergleich zur energetischen Verwertung (Energiesubstitution SF=0,67)
  - b. Verwertung von Holz in Anwendungen mit höherer Substitutionswirkung (z. B. langlebige Bauprodukte und Möbel)
- d) Erhöhung der Produktivität durch verfahrenstechnische Verbesserungen und Prozessverbesserungen (vorrangig in der Holzwirtschaft, aber auch auf Forstseite)

Unter a) bis d) im letzten Abschnitt wurden Optimierungen im bestehenden bzw. gering zu modifizierenden System betrachtet. Die Optimierungen beziehen sich auf eine vorhandene Rohstoffmenge und auf die Möglichkeiten, auf der bestehenden Waldfläche in Nordrhein-Westfalen (vgl. Leitmodell III) bzw. durch Ausweitung der Bewirtschaftungsfläche Holz zu gewinnen. Es ist aber auch durchaus möglich, „größer zu denken“ und entsprechend den Leitmodellen I und II Maßnahmen vorzuschlagen.

Betrachtet man das verbraucherorientierte Leitmodell I (vgl. Tabelle 2) und unterstellt die (in dieser Studie bestätigte) Prämisse, dass der Einsatz von Holzprodukten einen positiven Beitrag zur nordrhein-westfälischen CO<sub>2</sub>-Bilanz leistet, indem der Carbon Footprint der Verbraucher verringert wird, dann ist jede Ausweitung des Holzprodukteinsatzes sinnvoll. Dies gilt für alle Holzprodukte. Jedes Haus, das in Holzbauweise statt in Stein gebaut wird, jedes Holzfenster, das statt eines Kunststoff-

**Grundsätzliches Aufzeigen von Maßnahmen zur Erhöhung der Klimaschutzleistung**

**Grundsätzliche Ansätze zur Steigerung der positiven Klimawirkung**

**„Größer denken“ – Maßnahmen entsprechend den Leitmodellen I und II**

**Die Empfehlung des Leitmodells I ist einfach:  
Mehr Verwendung von Holzprodukten in Nordrhein-Westfalen – am besten in langlebigen Produkten**

fensters eingesetzt wird, jeder Parkettfußboden, der statt eines Teppichbodens verlegt wird, stellt einen positiven Beitrag zum Klimaschutz dar. Die Empfehlung lautet: Mehr Verwendung von Holzprodukten in Nordrhein-Westfalen! Mögliche Maßnahmen sollten also den zusätzlichen Einsatz von Holz, idealerweise in langfristigen Anwendungen, anregen und fördern. Dies könnte z. B. durch die Beseitigung von Hemmnissen beim Bauen mit Holz geschehen,<sup>157</sup> durch aktive Förderung des Einsatzes von Holz im Bau oder durch die Unterstützung bei Forschung und Produktentwicklung, so dass verbesserte und neue Holzprodukte entstehen, die eine erhöhte Kundennachfrage generieren und gleichzeitig noch klimafreundlicher sind.

**Die Empfehlung des Leitmodells II ist ebenfalls einfach: Erhöhung der Produktion der nordrhein-westfälischen Holz- und Möbelindustrie – auch auf Basis importierten Rohholzes bzw. Ansiedlung neuer Produktionsstätten**

Betrachtet man das post-Kyoto-orientierte Leitmodell II, dann ist auch hier eine einfache Empfehlung auszusprechen: Erhöhung der Produktion der nordrhein-westfälischen Holz- und Möbelindustrie – auch auf Basis importierten Rohholzes bzw. Ansiedlung neuer Produktionsstätten. Wie sich ein Wirtschaftssektor entwickelt, ist natürlich komplex und hängt von vielen Faktoren außerhalb der Klimaschutzpolitik ab. Jedoch wurde in Kapitel 7 gezeigt, dass der Cluster ForstHolz durch sein CO<sub>2</sub>-neutrales Wirtschaften ein CO<sub>2</sub>-freies Wirtschaftswachstum ermöglicht. Als politische Empfehlung ließe sich formulieren, dass der ForstHolz-Sektor neben einer sozioökonomischen Wirtschaftsstrategie in einer zukünftigen Umweltwirtschaftsstrategie (besonders) berücksichtigt werden sollte.

Diese Empfehlung geht natürlich nicht nur in die Richtung einer Ausweitung der industriellen Fertigung der Forst- und Holzwirtschaft, sondern zielt auch darauf ab, dass es wirtschaftspolitischen Handelns bedarf, die industrielle Be- und Verarbeitung von Holz in Nordrhein-Westfalen zu halten und zu verbessern. Auf Basis einer Zukunftsbetrachtung von Knauf und Frühwald<sup>158</sup> wird die Einschätzung gewagt, dass die Risiken, in NRW industrielle Wertschöpfung im Cluster ForstHolz zu verlieren, größer sind als die Chancen, dass die Wertschöpfung in Zukunft wächst. Das heißt, es sind Maßnahmen notwendig, die dazu beitragen, die industrielle Basis der Holzwirtschaft in Nordrhein-Westfalen zu erhalten. Eine tiefer gehende Betrachtung sprengt den Rahmen dieser Studie, sollte aber Teil einer Clusterstudie sein.

An dieser Stelle ist es wichtig zu betonen, dass eine wirtschaftspolitische Förderung des Clusters ForstHolz neben sozioökonomischen Gründen auch mit dem Klimaschutz begründet werden kann. Dadurch lässt sich ggf. eine stärkere Sektorförderung des Clusters ForstHolz auch ordnungspolitisch rechtfertigen. Der fehlende Rohstoff ist dabei ein wichtiger strategischer Engpass.

---

157 Im Einflussbereich der Landespolitik liegen z. B. auch Maßnahmen der Beschaffung und der Vergabe öffentlicher Aufträge. Der Runderlass des Ministeriums für Wirtschaft, Mittelstand und Energie „Berücksichtigung von Aspekten des Umweltschutzes und der Energieeffizienz bei der Vergabe öffentlicher Aufträge“ (MWME: 2010) bietet hierbei eine Grundlage für die Verwaltung und nimmt ausdrücklich Bezug auf die Verwendung von Holzprodukten: „Bei Bauaufträgen sind Recyclingbaustoffe und der Baustoff Holz – ihren technischen und ökologischen Eigenschaften entsprechend – gleichberechtigt in die Planungsüberlegungen einzubeziehen“ (ebd.). Das heißt, auf Basis des Erlasses kann das Land als Vorbild die zusätzliche Verwendung von Holz fördern.

158 vgl. [www.holz2020.de](http://www.holz2020.de)



## 161 Potenziale für eine Erhöhung der Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz – Möglichkeiten einer Förderung der Klimawirkung des ForstHolz-Clusters in NRW als Grundlage zur Maßnahmenplanung

Eine Förderung könnte am Ausbau der Rohstoffbasis ansetzen (z. B. Unterstützung bei Rohstoffsourcing).<sup>159</sup>

Bevor in den Kapiteln 8.1, 8.2 und 8.3 konkrete Maßnahmen benannt werden, sollen an dieser Stelle vorab Herausforderungen bzw. Risiken beschrieben werden, die sich negativ auf die Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz auswirken können. Es handelt sich um Veränderungen und Entwicklungen, die den Cluster vor die Herausforderung stellen, dass bestimmte Klimaschutzleistungen ggf. zukünftig nicht mehr im heutigen Maße erbracht werden können. Diese Herausforderungen bzw. Risiken wurden zwar teilweise in Kapitel 6.4 beschrieben; wegen ihrer großen Bedeutung sollen sie jedoch an dieser Stelle noch einmal dargestellt werden.

Die Tendenz zu komplexeren Holzprodukten (Verwendungsfreundlichkeit, längere Lebensdauer etc.) führt dazu, dass zu deren Herstellung oft mehr Energie aufgewandt werden muss (trockenes statt nasses Bauholz) bzw. dass mehr Holz in Bauteilen eingesetzt wird (z. B. Fensterprofil: früher 56 zu heute 68 mm, zu zukünftigen Passivhaussystemen mit einem Profilquerschnitt von 90–102 mm). Diese Entwicklung führt zu hochwertigeren Produkten (höhere Wärmeschutzleistung bei Fenstern oder längere Lebensdauer von technisch getrocknetem Holz, z. B. kein Pilzbefall), aber sie führt unter Umständen zu einem höheren Energieaufwand bzw. einem erhöhten Holzeinsatz zur Erfüllung der Aufgaben. Würde man diese Entwicklung isoliert betrachten, so hätte dies zur Folge, dass der in Kapitel 5.1.6 bestimmte Substitutionsfaktor für die stoffliche Substitution von heute  $SF_{MA}=1,5$  t C/t C in Zukunft geringer werden würde. Jedoch muss man berücksichtigen, dass mit der Entwicklung zu höherwertigen Produkten i. d. R. auch deren Lebensdauer steigt, was umgekehrt zu einer Erhöhung des Substitutionsfaktors führt. Gleichzeitig muss miteinbezogen werden, dass nicht nur Holzprodukte aufwendiger und komplexer werden, sondern auch die Nichtholz-Alternativen. Das heißt, den ggf. energieintensiveren Holzprodukten stehen in Zukunft auch energieintensivere Nichtholz-Produkte gegenüber, so dass sich die Relationen und damit die Substitutionsfaktoren ggf. auch nicht ändern werden.<sup>160</sup> Andererseits gibt es in manchen Produktbereichen, z. B. Möbel, Bestrebungen, leichtere Werkstoffe und Produkte zu erzeugen, die mit weniger Material und Energie hergestellt sind und dabei die gleiche Funktion erfüllen. Um die zukünftige Veränderung des Substitutionsfaktors für die stoffliche Substitution abschätzen zu können, ist weitere Forschung notwendig.

**Herausforderungen und Risiken vorhanden**

**Der Veredelungsgrad und der Holzeinsatz von Holzprodukten wachsen – damit kann es zu einer Verringerung des Substitutionsfaktors der Materialsubstitution  $SF_{MA}$  kommen**

159 Gegebenenfalls ist es sogar denkbar, dass es eine neue Betätigung für den Landesbetrieb Wald und Holz darstellen könnte, in Kooperation mit der Holzwirtschaft auch außerhalb NRW für das Forstmanagement bzw. die Rohstoffbereitstellung verantwortlich zu sein (ggf. auch in Verbindung mit Maßnahmen des Kyoto-Protokolls wie Joint Implementation JI). Dafür gab es Beispiele wie das Engagement der Österreichischen Bundesforste in Russland.

160 Die Komplexität des Themas soll an einem aktuellen Beispiel gezeigt werden: Der Einsatz von Brettsperrholz in Hauskonstruktionen ist im Vergleich zu traditionellen Holzbaurahmenkonstruktionen mit einem erhöhten Materialeinsatz verbunden. Damit steigt der Energieaufwand zur Fertigung der Bauelemente. Damit verschlechtert sich der Faktor  $SF_{Ma}$ . Gleichzeitig gewinnt das Bauen mit Brettsperrholz eine zunehmende Beliebtheit. Der Anteil der Holzhäuser, die mit Brettsperrholz errichtet werden, steigt an. Das heißt, mit Brettsperrholz erschließen sich für die Holzverwendung neue Anwendungsgebiete auch im Hausbau. Menschen, die zuvor nicht in Holz gebaut hätten, bauen in Holz. Das heißt, insgesamt steigt die Holzverwendung, wobei das Holz in langlebigen Produkten gebunden bleibt.

**Substitutionsfaktoren sind Relativgrößen – Veränderungen in der Holzwirtschaft müssen immer in Beziehung zu der Veränderung in Konkurrenzindustrien bewertet werden**

Im letzten Absatz wurde angesprochen, dass Verbesserungen in der Forst- und Holzwirtschaft wie Effizienzsteigerungen in der Fertigung nicht isoliert betrachtet werden können. Sie sind in Beziehung zu setzen zu den Verbesserungen in den Industrien, mit deren Produkten Holzprodukte in Konkurrenz stehen. Substitutionsfaktoren beziehen sich auf vergleichende Ökobilanzen; dabei sind die funktionellen Einheiten die gemeinsame Vergleichsgröße (vgl. Kapitel 5.1.6). Bei der energetischen Substitution werden die durch die Holzverbrennung entstehenden Emissionen mit den Emissionen verglichen, die bei der energetischen Verwertung fossiler Energieträger entstehen.

Bei der Berechnung der Substitutionsfaktoren der stofflichen Substitutionen werden Produkte mit der gleichen funktionellen Einheit hinsichtlich ihres Verbrauchs an Primärenergie verglichen.

Sowohl bei der energetischen als auch der stofflichen Substitution wird das Emissionsverhalten der Holzverwendung in Beziehung gesetzt zum Emissionsverhalten der Verwendung von Alternativen. Das Emissionsverhalten der Holzverwendung ist relativ zum Emissionsverhalten der Alternativen zu bewerten. Dies ist wichtig, denn es beinhaltet, dass der Cluster ForstHolz die Substitutionsfaktoren nur verbessern kann, wenn die Verbesserungen größer sind als die Verbesserungen, die von Alternativen erreicht werden.

## **8.1 Erhöhung des Waldspeichers/der Senkenleistung des Waldes und Erhöhung der zur Verfügung stehenden Holzmenge**

**Erhöhung des Waldspeichers versus Umstellung des Forstmanagements auf höhere Holzproduktion**

In Kapitel 6 wurde gezeigt, dass ein Speicheraufbau und eine Vergrößerung des Waldspeichers isoliert betrachtet zu einer insgesamt niedrigeren Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz führen. Eine Erhöhung des Waldspeichers ist als (isoliertes) forstpolitisches Ziel zur Erhöhung der Klimaschutzleistung des Clusters daher nicht geeignet und sollte aus Gründen des Klimaschutzes nicht verfolgt werden. Die gegenteilige Strategie (Intensivierung der Holznutzung) wurde in der Simulation in Kapitel 6 dargestellt und die positiven Auswirkungen, die sich in einem längeren Betrachtungszeitraum ergeben, wurden diskutiert. Die Vorteile einer verstärkten Holznutzung könnten jedoch in Konflikt zu einer multifunktionalen, naturnahen Waldwirtschaft gesehen werden, wie sie in Nordrhein-Westfalen als forstpolitisches Ziel verfolgt werden soll (Waldstrategie 2050). Es ist nicht Aufgabe dieser Studie, sich mit diesem Konflikt zu beschäftigen; dieser muss im Rahmen der Forstpolitik gelöst werden.

In der Simulation wurde das Forstmanagement auf bestehender Fläche (ohne Baumartenwechsel) betrachtet. Das heißt, eine

Erhöhung der Senkenleistung des Waldes durch Ausweitung der bewirtschafteten Flächen bzw. Erhalt der Senkenleistung durch Verhinderung der Umwandlung von Wald zu anderen Landnutzungsformen (Land Use Change) wurde nicht betrachtet.

An dieser Stelle soll darauf hingewiesen werden, dass es zu einer Erhöhung der Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz kommt, wenn Flächenumwandlungen von Wald zu anderen Landnutzungsformen verhindert werden und gleichzeitig neue Waldflächen durch Erstaufforstungen entstehen.

Eine Begründung zusätzlicher Wälder kann auf Ödland, Halden (gerade in NRW von Bedeutung) und landwirtschaftlichen Grenzertragsflächen stattfinden. Es wird als Maßnahme bewusst die Begründung von Wirtschaftswäldern (mit geeigneter Baumartenwahl und eventuell verkürzten Umtriebszeiten) vorgeschlagen – als Alternativkonzept zur Anlage von Kurzumtriebsplantagen (KUP). Auf Basis der Bewertungen in Kapitel 6 lässt sich erkennen, dass die stoffliche Nutzung von Holz vor der energetischen Nutzung zu priorisieren ist. Ein Landnutzungskonzept mit der Begründung/Aufforstung von Wirtschaftswäldern könnte in diesem Zusammenhang eine wesentlich höhere Klimaschutzleistung erbringen als die Anlage von Kurzumtriebsplantagen. Ab dem Alter von etwa 40 Jahren werden durch Holzentnahme – neben einer energetischen Nutzung – stoffliche Verwertungen für langlebige Bauprodukte (Schnittholz) priorisiert. Diese Nutzung erbringt neben einer Energiesubstitution auch eine hohe Materialsubstitution. Daneben tragen auch die Holzproduktespeicher wie auch die größeren positiven Wirkungen der Senkenleistung im Wald zu einer höheren Klimaschutzleistung bei. Gegebenenfalls sind auch Zwischenformen von Kurzumtriebsplantagen und Wald als Alternativen möglich, so z. B. Holzplantagen mit mittlerer Umtriebszeit („MUPs“), auf denen Rundholz produziert wird, das sich auch zur stofflichen Nutzung eignet.

Bei großflächigen Aufforstungen müssen rechtliche wie ökonomische Rahmenbedingungen beachtet werden. Dies kann aber nur in einer tiefer gehenden Untersuchung geschehen. Selbstverständlich sollten in einer ganzheitlichen Betrachtung auch standörtliche Faktoren berücksichtigt werden; diese wurden bei dieser Empfehlung bislang nicht berücksichtigt.

Neben der Ausdehnung von Waldflächen kann auch die partielle Umstellung auf schnellwüchsige Baumarten, auch klimatolerantere Spezies, mit einer höheren Biomasseproduktion eine Möglichkeit sein, die Klimaschutzleistung des nordrhein-westfälischen Waldes zu erhöhen.

In der niedersächsischen Kohlenstoffstudie (Wördehoff et al. 2011) wurden verschiedene Baumarten hinsichtlich ihrer Wachstumsleistung und Holzproduktion gegenübergestellt (ebd.: 74 ff.). Wördehoff et al. geben auf Grundlage eigener empirischer Untersuchungen auf Versuchsflächen für Fichte eine durchschnittliche Holzproduktion (Stammholz, Industrieholz, Restholz) von 3,1 t/ha/a, für Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*) von 4,4 t/ha/a und für Küstentanne (*Abies grandis*) von 5,8 t/ha/a an. Das heißt, die

**Flächenumwandlung zu Wirtschaftswald statt zu Kurzumtriebsplantagen prüfen**

**Schnellwüchsige Baumarten erhöhen Klimaschutzleistungen – sind jedoch aus Naturschutzgründen umstritten**

## 164 Potenziale für eine Erhöhung der Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz – Möglichkeiten einer Förderung der Klimawirkung des ForstHolz-Clusters in NRW als Grundlage zur Maßnahmenplanung

Holzproduktion eines Bestandes an Küstentanne liegt nach den Untersuchungen aus Niedersachsen fast doppelt so hoch wie die eines Fichtenbestandes. Auch wenn es bei der Holznutzung von Küstentanne gewisse Einschränkungen gegenüber der Verwendung von Fichte/Tanne gibt,<sup>161</sup> so kann man durch Wälder, in denen schnellwüchsige Baumarten kultiviert werden, deutlich höhere Klimaschutzleistungen erreichen. Daneben bietet sich auch die Möglichkeit, das Potenzial heimischer Baumarten (z. B. Eiche, Fichte, Kiefer) zu erhöhen (Optimierung bei Standortwahl, verbesserte Pflanzenzüchtung etc.).

Im Rahmen einer Waldstrategie, die aus Gründen des Klimawandels zukünftig auch in NRW den Anbau anderer Baumarten favorisiert, könnten auch schnellwüchsige Baumarten (standortbezogen) berücksichtigt werden. Gegen den Anbau schnellwüchsiger nicht heimischer Baumarten bestehen Bedenken von Seiten des Naturschutzes. Diese müssen den Vorteilen im Klimaschutz gegenübergestellt und im politischen Prozess bewertet werden. Auch hier kann nicht verallgemeinert werden – es sind standörtliche Gegebenheiten zu beachten, die letztlich auf Revierebene betrachtet werden müssen.

### **Nadelholz ist heute die Rohstoffbasis für die Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz**

Da es mit Unsicherheiten verbunden ist, ob die Holzwirtschaft in der Lage ist, die zukünftig vermehrt anfallenden Mengen an Laubholz deutlich über das heutige Maß hinaus stofflich zu nutzen (vgl. Kapitel 8.2), kommt den Anstrengungen, im Rahmen des Waldumbaus auch weiterhin entsprechend angepasste Nadelholzarten zu kultivieren, eine besondere Bedeutung zu. Die in dieser Studie berechneten Klimaschutzleistungen des nordrhein-westfälischen Clusters ForstHolz basieren heute zu einem bedeutenden Anteil darauf, dass Nadelholz zur Verfügung steht und stofflich verwendet wird. Steht zukünftig weniger Nadelholz zur Verfügung und gelingt es nicht, Laubholz stofflich zu nutzen, führt dies zu einer niedrigeren Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz.

### **Umfassender Überblick über waldbauliche Maßnahmen bei Krug et al. (2010)**

Einen umfassenden Überblick über waldbauliche Maßnahmen zur Erhöhung der Klimaschutzleistung des Waldes geben in einer vergleichenden Bewertung (Zielführung und Umsetzbarkeit) Krug et al. (2010) in der Publikation „Potenziale zur Vermeidung von Emissionen sowie der zusätzlichen Sequestrierung im Wald und daraus resultierende Fördermaßnahmen“. Dort werden u. a. die Ansätze „Anpassung, Waldmoor-Regeneration, verkürzte Umtriebszeit zur erhöhten Holzmobilisierung für energetische und materielle Substitution, Aufforstungen, Waldumbau Baumartenwechsel und Bestandesverjüngung, Totholzanreicherung, verlängerte Umtriebszeit, Vorratsaufbau, Erhöhung der Bestandesdichte und Nutzungsverzicht“ vergleichend bewertet (ebd.: 29).

---

161 Küstentanne ist deutlich leichter und als Bauholz weniger nachgefragt; im Gegensatz zur Douglasie mit einer im Vergleich zur Fichte höheren Wuchsleistung.

## 8.2 Verbesserung der Holzverwendung/-nutzung

Die Studie hat durchgehend gezeigt, dass die stoffliche Nutzung des Holzes eine deutlich höhere Klimaschutzleistung erbringt als seine energetische Nutzung. Maßnahmen sollten daher bei der Förderung der stofflichen Nutzung (ideal: langlebige Holzprodukte) ansetzen. Dazu werden in einer vertiefenden Betrachtung als Ergänzung zu dieser Studie Vorschläge gemacht. Es wird empfohlen, auf die Förderung der Ausweitung der energetischen Verwertung des Holzes zukünftig zu verzichten. Der Markt dafür ist etabliert, die Kapazitäten sind im Vergleich zu einer klimaoptimalen Kaskadennutzung von Holz schon heute überdimensioniert.

Die direkte Gegenüberstellung von stofflicher Nutzung und energetischer Nutzung zeigt deutlich die Vorteilhaftigkeit der stofflichen Nutzung. Jedoch hat die energetische Holzverwertung heute eine (wirtschaftliche) Bedeutung im nordrhein-westfälischen Cluster ForstHolz. Damit leistet sie (indirekt) einen Klimaschutzbeitrag. Hier sind insbesondere zwei Punkte zu nennen:

1. In der Holzbearbeitung (z. B. Schnittholzherstellung) trägt die energetische Verwertung der Reststoffe/Nebenprodukte (und die Herstellung von Energieprodukten) ggf. erst zur Wirtschaftlichkeit der Herstellung der stofflichen Produkte bei und muss als notwendiges Kuppelprodukt zur Erreichung der stofflichen Substitutionsleistung beurteilt werden.
2. Die energetische Nutzung des Holzes ist im Zusammenhang mit der Holzmobilisierung im Kleinprivatwald zu beurteilen. Dazu äußert Martin Schwarz von Wald und Holz NRW: „Bislang stellt die energetische Nutzung von Waldenergieholz (auch Brennholz) einen wichtigen Baustein für die Mobilisierung bislang nicht genutzter Holzmengen dar und bildet eine wichtige Grundlage für die Wärmeversorgung in den ländlichen Räumen NRWs. Ohne die Vermarktung bzw. den Absatz ‚schlechter Holzsortimente‘ (insbes. Kernholzarten) können keine hochwertigen Sortimente produziert werden bzw. wird der Kleinst-Privatwald nicht bewirtschaftet. Dies zeigen auch die Erfahrungen aus Bayern. Ein erhöhtes Energieholzaufkommen kann daher als Zeichen gewertet werden, dass die Holzmobilisierung insbesondere im Kleinprivatwald ‚in Gang‘ kommt“ (Schwarz 2012).

Sowohl aus Gründen des Waldumbaus (Anfall von deutlich mehr Laubschwachholz ab 2020) als auch aus Gründen der Bestandsstruktur (bisherige zurückhaltende Nutzung des Laubholzbestandes) wird es in den nächsten Jahren (bis 2100) zu einem vermehrten Anfall von Laubrohholz (bzw. zu einem erhöhten Laubholzanteil am bereitgestellten Rohholz) kommen. Heute wird Laubholz überwiegend energetisch verwertet. Eine Verschiebung von Nadel- zu Laubholz (die sich in den Simulationen auch ohne die Berücksichtigung eines Waldumbaus zeigt) würde dann zu einer geringeren Klimaschutzleistung des Clusters führen.

**Förderung Kaskadennutzung –  
mehr stoffliche Nutzung  
Keine Förderung mehr von energetischer Holzverwertung**

**In Zukunft fällt mehr Laubholz an – auf Seiten der F+E ist Laubholz eines der Topthemen der nächsten Jahre – und auch klimapolitisch sehr wichtig**

Das Thema „Laubholznutzung“ ist also nicht nur aus waldbaulichen und technologischen Gründen eines der wichtigen Themen für Forschung und Entwicklung in der Forst- und Holzwirtschaft, sondern ebenso aus Gründen des Klimaschutzes. Hierbei ist die entscheidende Frage, ob die Holzwirtschaft in der Lage ist, zukünftig entsprechende Laubholzprodukte auch für konstruktive Produkte zu entwickeln und im Markt zu platzieren.<sup>162</sup>

## 8.3 Verfahrenstechnische Verbesserungen und Prozessverbesserungen in der Wertschöpfungskette des Clusters ForstHolz

**Welche Potenziale bestehen grundsätzlich?**

Betrachtet man die drei wichtigen Industriezweige des Clusters Forst Holz: die Herstellung von Holzwaren, die Papier- und Zellstoffherstellung und die Möbelindustrie, so wurden dort 2009 ca. 7 Mio. t CO<sub>2</sub><sup>163</sup> emittiert. Dieser hohe Wert hat seinen Grund in den hohen CO<sub>2</sub>-Emissionen der Papier- und Zellstoffindustrie (4,3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Emissionen aus fossilen Energieträgern), die in NRW der sechstgrößte Industrieemittent ist (ohne Berücksichtigung der Energiewirtschaft).

Die großen Verbraucher fossiler Energie, wie die Papier- und Zellstoffindustrie oder die Holzwerkstoffindustrie, haben ihre Prozesse in den letzten Jahren stark optimiert und auch bezüglich des Energieeinsatzes verbessert, so dass die Möglichkeiten, durch Verbesserung der Prozesse und Effizienzsteigerungen CO<sub>2</sub>-Emissionen zu reduzieren, zwar vorhanden, aber auch begrenzt sind. Potenziale bestehen aber auf jeden Fall im Holzgewerbe. Jedoch ist die in dieser Studie geschätzte Menge an CO<sub>2</sub>-Emissionen mit ca. 260.000 t/Jahr aber auch begrenzt. Neben den Einsparpotenzialen in Prozessen zur Herstellung von Holzprodukten liegen auch Potenziale in den Prozessen der energetischen Verwertung des Holzes (Wirkungsgrade etc.).

Verfahrenstechnische Verbesserungen und Prozessverbesserungen können an drei wichtigen Stellen ansetzen:

1. Reduktion der zur Trocknung des Holzes eingesetzten Energie
2. allgemeine Effizienzsteigerung in der Produktion (Maschineneinsatz, Lackierung etc.)
3. erhöhte Materialeffizienz auch in der Wertkette des Clusters (z. B. Leichtbau, Sortierung)

**Unterschätzung der in der Holzwirtschaft eingesetzten Prozessenergie**

Es besteht in der Industrie wie auch in der gesamten Prozesskette Wald–Holz die Möglichkeit, Energie einzusparen, die heute aus Holz generiert wird. Insbesondere bei der Trocknung von Holz

162 Entwicklungen auf dem Feld der Laubholznutzung würden an eine bedeutende nordrhein-westfälische Tradition der Laubholzbearbeitung und -verarbeitung (u. a. Sperrholzherstellung) ansetzen.

163 Basis: Energiebilanz NRW ergänzt um eigene Berechnungen; vgl. Kapitel 7.

wird eine große Menge an Wärmeenergie verbraucht. Dieses Potenzial wird oft unterschätzt, denn die Verbrennung von Holz wird heute bis auf die Vorketteneffekte als CO<sub>2</sub>-neutral betrachtet (so in der deutschen wie auch der nordrhein-westfälischen Energiebilanz). In der Interpretation von Ökobilanzen ist die energetische Holzverwertung lediglich mit den Vorketteneffekten (vgl. Kapitel 5.4.2) bei der Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen berücksichtigt. Ansonsten wird die Holzenergie als CO<sub>2</sub>-neutral betrachtet. Diese Betrachtungsweise ist zwar konform und sachgerecht, weil die Emissionen über den Stock-Change-Ansatz dem System Wald bei der Holzentnahme angerechnet wurden. Jedoch führt diese Betrachtung auch zu Fehlbewertungen. Die Betrachtung verkennt, dass dieser CO<sub>2</sub>-neutrale Einsatz an anderer Stelle ggf. eine Substitution von fossilen Energieträgern verhindert und damit zu Fehlallokationen führt. In der Betriebswirtschaftslehre werden entgangene Gewinne als Opportunitätskosten definiert. Analog dazu könnte man davon sprechen, dass der bislang CO<sub>2</sub>-neutral betrachtete Einsatz der Holzverbrennung „Opportunitätsemissionen“ verursacht. Insofern führen die heute auf Basis von Ökobilanzen erstellten Darstellungen mit THG-Berechnungen einzelner Produkte im Hinblick auf eine Gesamtemissionsbetrachtung (unter Einbezug der „Opportunitätsemissionen“) zu unsachgemäßen Schlüssen.

Nach den Berechnungen in Kapitel 7 werden in der nordrhein-westfälischen Holz-, Möbel- und Papierindustrie ca. 2,5 Mio. t CO<sub>2</sub> aus der energetischen Verwertung von Holz (Holz, Holzresten, Altholz etc.) emittiert (als Endenergieverbrauch in der Produktion und nicht zur externen Energiebereitstellung). Diese Zahl macht deutlich, dass hier ein absolut hohes (zunächst nicht sichtbares) Potenzial zur Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen besteht.

Es gibt einen hohen Energieaufwand bei allen Prozessen, die mit der Trocknung von Holz verbunden sind. Der Energiebedarf soll am Beispiel der Herstellung von kammergetrocknetem Schnittholz gezeigt werden. Bei der Schnittholzherstellung auf der Basis von Rohholz mit einer Holzfeuchte von 80 % (Eingang in die Holz Trocknung 63 %) wurden die Verfahrensschritte „Schnittholzherstellung“ und „Schnittholztrocknung“ untersucht (BFH/PE 2007: 24 ff. und 31 ff.): Mehr als drei Viertel der Energie (Primärenergie fossil und regenerativ) werden für den Verfahrensschritt „Schnittholztrocknung“ verbraucht.

An diesem Beispiel lässt sich auch zeigen, was konkret damit gemeint ist, wenn in dieser Studie von Opportunitätsemissionen gesprochen wird: So wird bei dem Verfahrensschritt „Schnittholztrocknung“ die benötigte Primärenergie zu fast 60 % aus der Verbrennung von Holzresten bereitgestellt. Diese ist bis auf einen Anteil von ca. 10 % für die Vorketteneffekte als CO<sub>2</sub>-neutral zu betrachten – jedoch könnte man bei einem geringeren Energieaufwand beim Trocknen an anderer Stelle mit der dann

**Emissionen aus der energetischen Verwertung des Holzes in Holz-, Möbel- und Papierindustrie ca. 2,5 Mio. t CO<sub>2</sub>**

**Prozesse zur Trocknung von Holz bieten Einsparpotenziale**

weniger eingesetzten Brennstoffmenge fossile Energieträger substituieren und damit CO<sub>2</sub>-Emissionen vermeiden. Das heißt, gelingt es, die Eingangsfeuchte beim Input in die Holz Trocknung zu senken (z. B. durch Vortrocknung oder durch Steigerung der Effektivität der Trocknungsanlagen), ließe sich damit auch die CO<sub>2</sub>-Bilanz deutlich verbessern.

Es sollten alle mit der Trocknung von Holz bewerteten Verfahrensschritte (beginnend im Wald) betrachtet werden. Vor diesem Hintergrund sind zum Beispiel auch Verfahren wie das „Trockenpoltern von Rundholz“ neu zu bewerten. Auf dieses Thema sollte in einer vertiefenden Betrachtung eingegangen werden.

#### **Pilotuntersuchungen im Förderprogramm PIUS-Check haben Potenziale aufgezeigt**

Untersuchungen, wie sie im Förderprogramm PIUS-Check Holzwirtschaft in Zusammenarbeit zwischen dem Landesbetrieb Wald und Holz und der Effizienzagentur durchgeführt wurden, haben gezeigt, dass durch Prozessverbesserungen Potenziale zur CO<sub>2</sub>-Reduktion bestehen. Drei Pilotuntersuchungen im Rahmen des PIUS-Checks der Holzwirtschaft haben die Handlungsfelder zur Erhöhung der Ressourceneffizienz in Sägewerken (und damit auch die Erhöhung der Klimaschutzleistung) aufgezeigt, z. B.: „Druckluftherzeugung/-nutzung, Holz Trocknung,<sup>164</sup> Optimierung der Bezugsstruktur (Gas/Strom), Optimierung der betrieblichen Stoffflüsse“ (Saller GmbH 2012: 20). Betriebsberatungen zur Ressourceneffizienz können Potenziale zur CO<sub>2</sub>-Vermeidung aufdecken und sind damit ein möglicher wichtiger Baustein in der zukünftigen Förderung.

Eine umfangreiche Liste für mögliche Maßnahmen für eine Verbesserung der Klimabilanz findet sich auch bei EnergieAgentur.NRW (2012): „Energieeffizienz in der Holzbe- und verarbeitenden Industrie.“

#### **Maßnahmen zur Effizienzsteigerung in der energetischen Holzverwertung möglich und sinnvoll**

In Kapitel 8.2 wurde ausgeführt, dass Maßnahmen zur Ausweitung der energetischen, primären Verwendung von Holz zu hinterfragen sind. In Bezug auf die Klimawirkung ist die direkte Verbrennung von Holz in dem betrachteten Zeitraum bis 2100 nicht optimal. Es gibt aber ein großes Potenzial der Effizienzsteigerung in der energetischen Holzverwertung in Nordrhein-Westfalen. Viele Prozesse bieten Ansatzpunkte für Fördermaßnahmen und können die Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz noch weiter verbessern. Maßnahmen im Bereich der energetischen Verwertung sind also sinnvoll und empfehlenswert. Folgende Verbesserungen in der energetischen Holzverwertung sind zum Beispiel möglich:

- Wirkungsgrad-Verbesserung insbesondere von Einzelfeuerstätten im Haushalt
- Verbesserung in Nahwärmenetzen (hier auch zu beachten: geringe Effizienz von Anlagen zur Stromerzeugung ohne Wärmenutzung)
- Austausch von Anlagen mit geringen Wirkungsgraden durch hocheffiziente, kleine Wärme- und KWK-Anlagen mit moderner Technologie
- höherer Pellet- statt Scheitholzeinsatz

---

164 Im Bereich der Holz Trocknung wurden besonders hohe Potenziale aufgezeigt.



## 169 Überlegungen für ein zukünftiges Monitoring – Fehlende Datengrundlagen – Empfehlungen für eine Clusterstudie bzw. weitere Erhebungen

Die Beispiele zuvor bezogen sich vorrangig auf eine Verbesserung beim Energieeinsatz. Es darf jedoch nicht vergessen werden, dass auch industrielle Prozesse und Wertschöpfungsketten dadurch verbessert werden können, dass die Materialeffizienz erhöht wird. Dies wurde in Kapitel 6.2.4.2 in Bezug auf das Recycling gezeigt. Daneben bestehen auch in den industriellen Prozessen Möglichkeiten, das Holz besser auszunutzen. Hier können Förderprogramme/Maßnahmen sowohl auf der Ebene des Gesamtclusters ForstHolz (verbesserte Wertketten im Clustermanagement; dort auch Einbeziehung von Transporten) als auch auf der Ebene der Unternehmen (Beratung) zu einer Erhöhung der Materialeffizienz beitragen. Dabei kann ein Clustermanagement einen wichtigen Beitrag leisten.

**Verbesserung des Wertkettenmanagements – Clusterkooperation**

## 9. Überlegungen für ein zukünftiges Monitoring – Fehlende Datengrundlagen – Empfehlungen für eine Clusterstudie bzw. weitere Erhebungen

Eine Aufgabe dieser Studie ist es, Überlegungen für ein verbessertes Monitoring der Klimaschutzleistungen des nordrhein-westfälischen Clusters ForstHolz anzustellen. Mit der Differenzierung der Fragestellung in drei Leitmodelle ist auch die Aufgabe anzupassen, nämlich für diese drei Leitmodelle ein Monitoring vorzuschlagen.

**Monitoring**

Auf Basis der heutigen Datenlage lässt sich ein Monitoring mit derselben Genauigkeit aufbauen, wie es in der vorliegenden Studie erfolgt ist. Die dazu notwendigen Methoden wurden in Kapitel 5.1 und 6.2.1 ausführlich beschrieben. Diese Methoden können prinzipiell auch zukünftig auf diese Weise in Nordrhein-Westfalen angewandt werden.

**Monitoring bei bestehender Datenlage**

An dieser Stelle sollen die in Kapitel 5.1 und 6.2.1 vorgestellten Methoden vor dem Hintergrund möglicher vertiefender Untersuchungen reflektiert werden.

Ausgangspunkt für die Betrachtung ist Tabelle 2 in Kapitel 4.2. In ihr wurden für alle drei analysierten Leitmodelle der jeweilige Untersuchungsbereich für Wald- und Holzproduktespeicher und die Substitutionen (energetische und stoffliche Substitution) angegeben. So ergeben sich zwölf Untersuchungsbereiche. Da es Untersuchungsbereiche gibt, die mehrfach vorkommen, lässt sich die Tabelle so vereinfachen, dass acht Untersuchungsbereiche (I bis VIII) benannt werden können (Tabelle 45). Diese acht Untersuchungsbereiche werden im Folgenden mit Hinblick auf ein zukünftiges Monitoring beschrieben. Dabei werden auch Vorschläge für fünf weiterführende und vertiefende Studien gemacht (als STUDIE 1 bis STUDIE 5 bzw. STUDIE 6 bezeichnet).

**170 Überlegungen für ein zukünftiges Monitoring – Fehlende Datengrundlagen – Empfehlungen für eine Clusterstudie bzw. weitere Erhebungen**

Typen der Beurteilung von Klimaschutzleistungen	Bereich der Emissionsminderung/Speicher/Senke			
	Wald Klimaschutzleistung Wald – Senkenleistung des Waldes	Holzspeicher Klimaschutzleistung Holz – Senkenleistung des Holzspeichers	Energetische Substitution Emissionsminderung durch Holzenergie	Stoffliche Substitution Emissionsminderung durch Materialsubstitution/Holzverwendung
„Was leisten nordrhein-westfälischer Wald und nordrhein-westfälische Verbraucher/innen?“ <b>Leitmodell I: verbraucherorientiert CO<sub>2</sub>-Fußabdruck – klimaorientierter Holzeinsatz</b>	Wald NRW (Waldspeicher) <b>I</b>	Alle in NRW verwendeten Holzprodukte (Holzproduktespeicher) <b>II</b>	In NRW energetisch verwertetes Holz (energetische Substitution) <b>IV</b>	Alle in NRW verwendeten Holzprodukte (stoffliche Substitution) <b>VI</b>
„Was leisten Wald- und Holzwirtschaft in NRW?“ <b>Leitmodell II: (Post-)Kyoto-orientiert</b>		Produkte aus Holz nordrhein-westfälischer Wälder (Holzproduktespeicher) <b>III</b>		In NRW be-/verarbeitetes Holz (stoffliche Substitution) <b>VII</b>
„Was leisten nordrhein-westfälischer Wald und daraus entnommenes Holz?“ <b>Leitmodell III: wertschöpfungsorientiert Basis des Simulationsmodells (Szenarien der potenziellen Waldentwicklung bis 2100)</b>			Energetische Verwertung des Holzes aus Wald NRW (energetische Substitution) <b>V</b>	Produkte aus Holz nordrhein-westfälischer Wälder (stoffliche Substitution) <b>VIII</b>

**Tabelle 45:** Acht Untersuchungsbereiche für ein zukünftiges Monitoring

**I. Monitoring: Wald NRW**

Die Klimaschutzleistung des Waldes konnte in der Studie nur sehr grob abgeschätzt werden, da belastbare Zahlen erst 2014/2015 mit der Bundeswaldinventur BWI<sup>3</sup> bzw. einer Landeswaldinventur vorliegen werden. Die innerhalb einer solchen Inventur erhobenen Daten liegen in einer ausreichenden statistischen Qualität vor, so dass sie direkt zum Ausweis der Klimaschutzleistung verwendet werden können (ggf. ist die Umrechnung von Vorratsgrößen oder anderen in der BWI<sup>3</sup> erhobenen Parametern auf die Bedürfnisse der Treibhausgasberichterstattung mittels Standardfaktoren bzw. NRW-spezifischen Faktoren notwendig).

Es gibt Überlegungen, auch in kürzeren Zeiträumen modifizierte (kostengünstigere) Inventuren durchzuführen, um ein zeitnahes und dauerhaftes Monitoring des Waldspeichers sicherzustellen (z. B. dreijährig mittels des nordrhein-westfälischen Tools „virtueller Wald“).

Zukünftig ist es ggf. im Rahmen der internationalen Berichterstattung im Post-Kyoto-Prozess notwendig, ein forstliches Referenzlevel (FMRL) zu bestimmen (vgl. Kapitel 3.2.1). Ob dies effektiv notwendig wird, hängt zum einen von den Beschlüssen auf dem Weltklimagipfel in Doha im November/Dezember 2012 ab, zum anderen davon, in welchem Maße Nordrhein-Westfalen das Instrument des FMRL im Post-Kyoto-Prozess auch auf Landesebene abbilden möchte. Gegebenenfalls ist der Aufbau eines FMRL auf Basis entsprechender bundeslandspezifischer Informationen aus der bundesweiten Einschlagsprognose (WEHAM) möglich und kann im Rahmen der Auswertung bundesweiter Daten zur Verfügung gestellt werden. Ansonsten ist es notwendig, ein landeseigenes Modell zur Einschlagsprognose zu entwickeln (ähnlich WEHAM auf Bundesebene). Ein solches Modell könnte die kurz-, mittel- und auch langfristige Einschlagsplanung prognostizieren und damit auch einen Beitrag zur Strategie im nordrhein-westfälischen Cluster ForstHolz leisten.

Die Ableitung des Wertes für den Holzproduktespeicher für in Nordrhein-Westfalen verwendete Holzprodukte erfolgte in der Studie auf Basis (bundesweiter) Stoffstromanalysen und Holzverwendungsschlüssel. Dabei wurde das Input-Output-Modell, das diesen Studien zugrunde liegt, angepasst. Das angewandte Verfahren bietet die Möglichkeit einer ersten Abschätzung und kann auch zukünftig auf Basis der Bilanzen des Instituts für Ökonomie der Forst- und Holzwirtschaft am vTI und am Zentrum Holzwirtschaft der Universität Hamburg weitergeführt werden. Die Bewertung (aufbauend auf diesen Bilanzen) ist mit sehr geringem Aufwand verbunden.

Das Verfahren ist jedoch mit einer gewissen Unschärfe verbunden, so dass vertiefende (auch NRW-spezifische) Betrachtungen zu einem Ergebnis mit einer größeren Aussagekraft führen können und an dieser Stelle empfohlen werden. An zwei wichtigen Punkten könnte eine solche vertiefende Betrachtung ansetzen:

1. Es kann für Nordrhein-Westfalen ein eigenes Stoffstrommodell für die Forst- und Holzwirtschaft mit der Bestimmung der Stoffströme bis zum Endverbraucher entwickelt werden (= STUDIE 1; ggf. innerhalb einer Clusterstudie). Durch statistisch nicht erfasste innerdeutsche Stoffströme und eine weniger umfangreiche Statistik auf Bundeslandebene ist die Entwicklung eines solchen Modells für ein Bundesland ungleich schwieriger als die Entwicklung eines Modells für ein Land wie Deutschland oder die Schweiz. In der Clusterstudie NRW (2003) endete das Modell auf der Ebene der Holzverarbeitenden Industrien und nahm nicht die Endverwendergruppen in den Blick. Die Verfolgung der Stoffströme bis hin zum Endverbraucher ist bislang auf Bundeslandebene noch nicht und auf Ebene des Bundes nur in Ansätzen und auf einem höheren Aggregationsgrad gelungen. Die Entwicklung eines solchen umfassenden Stoffstrommodells für Nordrhein-Westfalen könnte eine zentrale Aufgabe für eine zukünftige Clusterstudie sein. Die Kenntnis des Stoffstroms bis hin zum Endverbraucher ist nicht nur für das Monitoring der Klimaschutzleistung relevant, sondern auch allgemein, z. B. für das Verständnis des Holzmarktes und zur Planung

## **II. Monitoring: In NRW verwendete Holzprodukte (Holzproduktespeicher)**

holzabsatzfördernder Maßnahmen wie auch für die sozio-ökonomische Bewertung des Clusters.

2. Mit der unter 1. beschriebenen Stoffstromanalyse kann eine Analyse der Outputströme über die Abfallstatistik verbunden sein (vgl. Mantau/Bilitewski 2010). Nach Plausibilitätsberechnungen innerhalb dieser Studie zu dieser Methode besteht jedoch große Unsicherheit darüber, ob diese Methode die erforderliche Genauigkeit aufweist. Es erscheint notwendig, über das Gebrauchs- und Verbrauchsverhalten gegenüber Holzprodukten (bis hin zur Entsorgung) tiefer gehende empirische Untersuchungen anzustellen (= STUDIE 2). Auf Basis einer grundlegenden Untersuchung könnten Basisfaktoren über den Verbleib und die Entsorgung von Holzprodukten abgeleitet werden, die sich in einem Fünfjahreszeitraum mit Nachfolgeuntersuchungen anpassen ließen. Eine solche Datenbasis kann in einer NRW-bezogenen Untersuchung gewonnen werden, hat aber auch für Deutschland Modellcharakter.

### **III. Monitoring: Produkte aus Holz nordrhein-westfälischer Wälder**

In der Studie wurde auf Basis eines Stoffstrommodells für das Holz aus nordrhein-westfälischen Wäldern und einer an die Datenbasis in Nordrhein-Westfalen angepassten IPCC-Standardmethode der Verbleib im Holz(producte)speicher berechnet. Dieses Verfahren kann auf diese Weise auch zukünftig mit relativ geringem Aufwand durchgeführt werden. Als Grundlage dienen die offizielle Holzeinschlagsstatistik und die Kundenlisten des Landesbetriebs Wald und Holz (anonymisiert nach Kundengruppen wie Sägewerk, HWI etc.). Die Kundenlisten könnten mit geringem Aufwand für diesen Zweck im Zuge der allgemeinen statistischen Berichterstattung aufbereitet werden.

Sinnvoll ist es, wenn die dem Stoffstrommodell zugrunde liegenden Kennzahlen der industriellen Fertigung erhoben würden (Ausbeuten etc.). Dies sollte im Zuge der Untersuchung erfolgen, die unter II (Monitoring: In NRW verwendete Holzprodukte) vorgeschlagen wurde (vgl. oben: STUDIE 1).

### **IV. Monitoring: In NRW energetisch verwertetes Holz**

Das Ministerium berichtet – auf Basis der Untersuchungen des IWR – fortlaufend jährlich über die Energieerzeugung aus fester Biomasse (vgl. Kapitel 5.4.2). Dieser Wert kann in Berichterstattung/Monitoring zum Klimaschutz übernommen werden (ggf. mit geringen Modifikationen, u. a. Anpassung des Sortiments Landschaftspflegematerial und Bewertung der Holzanteile im biogenen Anteil des Abfalls). Jedoch wurde in dieser Studie gezeigt, dass der Einsatz der Biomasse in NRW wahrscheinlich unterschätzt wird (ebd.). Daher sollte in einer umfassenderen Studie die energetische Verwertung von Holz genauer analysiert werden (= STUDIE 3). Eine unzureichende Datenlage findet sich heute insbesondere bei den Themen: Wärmemarkt, Wärmeauskopplung bei EEG, Einzelfeuerstätten, Holzenergieeinsatz in Industrie und Gewerbe, Wirkungsgrade.

Eine solche Betrachtung ist nicht nur für die Fragestellung der Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz relevant, sondern auch für die allgemeine Berichterstattung zu den erneuerbaren Energien in NRW.

## 173 Überlegungen für ein zukünftiges Monitoring – Fehlende Datengrundlagen – Empfehlungen für eine Clusterstudie bzw. weitere Erhebungen

Vgl. III, zusätzlich sollten weiterhin die Mengen des Holzes, die nicht über die offizielle Holzeinschlagsstatistik erfasst werden, geschätzt werden.

Aus der in IV vorgeschlagenen tiefer gehenden Analyse zur energetischen Verwertung des Holzes in NRW lässt sich auch ein NRW-spezifischer Substitutionsfaktor  $SF_{EN\ NRW}$  für die energetische Substitution (und damit auch ein NRW-spezifischer Substitutionsfaktor  $SF_{MA\ NRW}$  für die stoffliche Substitution) ableiten (= STUDIE 4). Dieser sollte dabei an den nordrhein-westfälischen fossilen Energiemix angebunden sein und gleichzeitig die spezifische energetische Verwendung in NRW berücksichtigen (u. a. Anlagenwirkungsgrade, Energieaufwand bei der Energieholzaufbereitung).

Auch bei der Berechnung der Substitutionsleistung der stofflichen Substitution wurden die Werte für Nordrhein-Westfalen auf Basis bundesweiter Zahlen abgeleitet. Dies kann auf diese Weise auch weiterhin mit geringem Aufwand erfolgen.

Letztlich sind aber auch hier die unter I vorgeschlagenen zusätzlichen Untersuchungen sinnvoll: Stoffstromanalyse bis hin zum Endverbraucher (= STUDIE 1). Es würde die Qualität der Bewertung deutlich verbessern, wenn bekannt wäre, welche Holzprodukte von nordrhein-westfälischen Verbrauchern gekauft werden. Auf dieser Basis ließe sich der in diese Rechnung ebenfalls eingehende Faktor für die stoffliche Substitution  $SF_{MA}$  verbessern (= STUDIE 5).

Die Abschätzung in dieser Studie erfolgt über den Vergleich der deutschen Energiebilanz mit der nordrhein-westfälischen Energiebilanz und entsprechend II und VI (s. o.; Monitoring: In NRW verwendete Holzprodukte) aus einer Ableitung aus den bundesweiten Zahlen. Diese Methode ist mit verhältnismäßig geringem Aufwand verbunden. Es ist dabei notwendig, dass die Energiebilanz für Deutschland auf der Ebene des Endenergieverbrauchs bereitgestellt wird. Dies erfolgte im Rahmen dieser Studie in einer Sonderauswertung.

Bei Vorliegen einer NRW-spezifischen Stoffstromanalyse (STUDIE 1, s. o.) kann dieses Verfahren noch verbessert werden.

Vgl. III (Monitoring: Produkte aus Holz nordrhein-westfälischer Wälder) und STUDIE 5 unter VI (Monitoring: In NRW verwendete Holzprodukte).

Die Untersuchungsbereiche II und VI (Monitoring: In NRW verwendete Holzprodukte) und VII (Monitoring: In NRW be- und verarbeitete Holzprodukte) basieren auf Ableitungen aus Bundeszahlen. In diesem Kapitel wurde empfohlen, in tiefer gehenden Untersuchungen diese Betrachtung durch NRW-eigene Modelle zu ersetzen. Diese NRW-eigenen Modelle bewerten nicht nur die Klimaschutzleistung genauer, sie bieten auch die einzige Möglichkeit, Fortschritte, die nur in NRW erzielt werden (z. B. weil NRW bestimmte Förderprogramme auflegt), auch NRW zuzuordnen. Dies ist auf Basis der heutigen Datenlage nicht möglich.

### V. Monitoring: Energetische Verwertung des Holzes aus Wald NRW

### VI. Monitoring: In NRW verwendete Holzprodukte (stoffliche Substitution)

### VII. Monitoring: In NRW be- und verarbeitete Holzprodukte

### VIII. Monitoring: Produkte aus Holz nordrhein-westfälischer Wälder

**Monitoring von Verbesserungen durch NRW-spezifische Maßnahmen nur auf Basis von NRW-spezifischen Marktmodellen möglich**

## 174 Überlegungen für ein zukünftiges Monitoring – Fehlende Datengrundlagen – Empfehlungen für eine Clusterstudie bzw. weitere Erhebungen

### Empfehlungen für eine Clusterstudie

Die Clusterstudie NRW war die erste Clusterstudie in Deutschland für den Forst- und Holzbereich (z. B. Forst NRW 2003). Ihre große Leistung bestand darin, die volkswirtschaftliche Bedeutung des Clusters Forst und Holz herauszuarbeiten und deutlich zu machen.

Eine neue Clusterstudie könnte zur Verbesserung des Verständnisses zur Rolle der Forst- und Holzwirtschaft für den Klimaschutz beitragen, indem insbesondere die Stoffströme bis hin zum Endverbraucher untersucht und analysiert werden (oben als STUDIE I bezeichnet). Dabei sollten u. a. Materialeinsatz, Energieverbrauch und sonstige Produktionskennzahlen (Ausbeuten, Wirkungsgrade etc.) erhoben werden. Diese Produktionskennzahlen sollten zusammen mit allgemeinen Kennzahlen wie Beschäftigte, Umsatz erhoben werden, so dass allgemeine für die nordrhein-westfälische Holzwirtschaft gültige Kennzahlen wie Holzeinsatz in t/1.000 Euro Umsatz bzw. Holzeinsatz/Energieverbrauch (ideal: differenziert in Massivholz, verschiedene Holzwerkstoffe etc.) vorliegen. Auf Basis solcher Kennzahlen wäre es zukünftig möglich, fortlaufend einen Holzverwendungsschlüssel anzupassen und vereinfacht Stoffströme aus der allgemeinen Statistik (z. B.: Umsatzsteuerstatistik oder Beschäftigtenstatistik) abzuleiten. Diese Kennzahlen sollten differenziert für alle Sektoren (z. B. Möbelindustrie) und Subsektoren (z. B. Küchenmöbelindustrie) der Holzwirtschaft erhoben werden. Branchenübliche Usancen sollten dabei beachtet werden (z. B. in Bezug auf die Küchenmöbelindustrie unterschiedlicher Ausweis von Umsatz – mit und ohne Küchengeräte).

Wichtig ist es, dass eine Clusterstudie nicht nur industrielle Prozesse in der Holzwirtschaft in den Blick nimmt, sondern auch die Prozesse im Holzgewerbe, also in der handwerklichen Fertigung. Über die dortigen Prozesse sind auch bundesweit heute keine belastbaren Zahlen verfügbar.

### Empfehlung für weitergehende und vertiefende Studien

STUDIE 1: vgl. Empfehlungen für eine Clusterstudie, vorheriger Abschnitt.

STUDIE 2: Studie über das Gebrauchs- und Verbrauchsverhalten gegenüber Holzprodukten (bis hin zur Entsorgung) – Entwicklung von Basisfaktoren über den Verbleib und die Entsorgung von Holzprodukten.

STUDIE 3: Umfassendere Studie über die energetische Verwertung von Holz (vertiefende Untersuchungen zu: Wärmemarkt, Wärmeauskopplung bei EEG, Einzelfeuerstätten, Holzenergieeinsatz in Industrie und Gewerbe, Wirkungsgrade) – ggf. innerhalb der Berichterstattung des IWR für das Ministerium möglich.

STUDIE 4: Verbesserung der Genauigkeit des Faktors für die energetische Substitution  $SF_{EN}$  in Nordrhein-Westfalen durch Definition eines NRW-spezifischen fossilen Energiemix und eines energiespezifischen Verwertungsschlüssels bei energetischer Verwendung (ggf. zusammen mit STUDIE 3 als STUDIE 3 und 4 oder zusammen als STUDIE 4 und 5).

## 175 Überlegungen für ein zukünftiges Monitoring – Fehlende Datengrundlagen – Empfehlungen für eine Clusterstudie bzw. weitere Erhebungen

STUDIE 5: Verbesserung der Genauigkeit des Faktors für die stoffliche Substitution  $SF_{MA}$  durch tiefer gehende Forschung (hinsichtlich Holzverwendung, aber auch hinsichtlich des öko-bilanziellen Vergleichs von Produkten bzw. Produktgruppen mit der gleichen funktionellen Einheit) – ggf. ergänzt um weitere Aspekte, z. B. Potenzialstudie: Zukunftsbetrachtungen zu den Möglichkeiten der Verbesserung (bzw. auch der Verbesserung der Konkurrenzindustrien), Aufnahme einer Potenzialstudie zu neuen Biokompositen mit ggf. hohem Substitutionspotenzial. Gerade in neue Biokomposite werden in der Holzwirtschaft große Hoffnungen gesetzt: z. B. Textilien und technische Produkte aus Buchenzellstoff, Aktivkohlefilter, Nahrungsergänzungstoffe und Kosmetika. Es ist möglich, dass solche Produkte einen wesentlich höheren Substitutionsfaktor haben als der bislang zugrunde gelegte und damit eine deutlich höhere Klimaschutzleistung ermöglichen (ggf. auch als eigene STUDIE 6: Potenzialstudie zu Substitutionspotenzialen von Biokompositen).

## 10. Literatur

AGR (2012): AGR bezweifelt amtliche Holzeinschlagsstatistik und hält Biomassepotentiale für überschätzt. Pressemitteilung vom 22.05.2012. Berlin. Unter: [http://www.rohholzverbraucher.de/sites/aktuelles\\_pressemitteilungen.php?kat=&id=167&headline=AGR%20bezweifelt%20amtliche%20Holzeinschlagsstatistik%20und%20h%E4lt%20Biomassepotentiale%20f%FCr%20%FCbersch%E4tzt](http://www.rohholzverbraucher.de/sites/aktuelles_pressemitteilungen.php?kat=&id=167&headline=AGR%20bezweifelt%20amtliche%20Holzeinschlagsstatistik%20und%20h%E4lt%20Biomassepotentiale%20f%FCr%20%FCbersch%E4tzt); Abruf 03.09.2012.

Aichele, R; Felbermayr, G. (2011): Carbon Footprints. ifo Schnelldienst 21/2011.

Albrecht, S.; Rüter, S.; Welling, J.; Knauf, M.; Mantau, U.; Braune, A.; Baitz, M.; Weimar, H.; Sörgel, C.; Kreißig, J.; Deimling, S.; Hellwig, S.; (2008): Ökologische Potenziale durch Holznutzung gezielt fördern. Hamburg: Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Arbeitsbericht 2008/5 des Instituts für Holztechnologie und Holzbiologie. Hamburg.

Arnold, K.; von Geibler, J.; Bienge, K; Stachura, C.; Borbonus, S.; Kristof, K. (2009): Kaskadennutzung von nachwachsenden Rohstoffen: Ein Konzept zur Verbesserung der Rohstoffeffizienz und Optimierung der Landnutzung. Wuppertal Papers, Nr. 180. August 2009. Wuppertal.

Biomasseatlas (2012): Datenbank zu Pelletheizungen. Unter [www.biomasseatlas.de](http://www.biomasseatlas.de); Abruf 29.06.2012.

BFE (Bundesamt für Energie) (2007): Indikatoren für den internationalen Vergleich des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen. November 2007. Ittingen/Bern (CH).

BFH (Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft); PE (International GmbH) (2007): Grunddatensätze für Holz und Holzwerkstoffe im Netzwerk Lebenszyklusdaten. Projektbericht im Rahmen des Forschungsvorhabens FKZ 01 RN 0401 im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung. Hrsg. vom Forschungszentrum Karlsruhe, Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse – Zentralabteilung Technikbedingte Stoffströme. Oktober 2007. Hamburg, Leinfelden-Echterdingen, Karlsruhe.

BMELV (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz) (2008): Bekanntmachung über die Förderung der angewandten Forschung auf dem Gebiet der nachwachsenden Rohstoffe im Rahmen des Förderprogramms „Nachwachsende Rohstoffe“ der Bundesregierung zum Schwerpunkt „Innovative Mehrfachnutzung von nachwachsenden Rohstoffen, Bioraffinerien“ vom 24. April 2008. Bonn.

BMELV (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz) (2012): Waldklimafonds. Unter: <http://www.bmelv.de/SharedDocs/Standardartikel/Landwirtschaft/Wald-Jagd/Waldklimafonds.html>; Abruf 29.10.2012.

BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (2012): Erneuerbare Energien in Zahlen. Nationale und internationale Entwicklung. Juli 2012, Berlin.

Bundesrat (2012): Beschluss des Bundesrates: Vorschlag für einen Beschluss des Europäischen Parlaments und des Rates über Anrechnungsvorschriften und Aktionspläne für die Emissionen und den Abbau von Treibhausgasen infolge von Tätigkeiten im Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft. Drucksache 136/12 (Beschluss), 15.6.2012, COM(2012) 93 final. Berlin.



Burschel, P.; Kürsten, E.; Larson, B. C. (1993): Die Rolle von Wald und Forstwirtschaft im Kohlenstoffhaushalt – Eine Betrachtung für die Bundesrepublik Deutschland. Schriftenreihe der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Universität München und Bayerischen Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt, 126. München.

DBFZ (Deutsches Biomasseforschungszentrum) (2011): Monitoring zur Wirkung des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse. Zwischenbericht März 2011. Leipzig.

DBFZ (Deutsches Biomasseforschungszentrum) (2012): Monitoring zur Wirkung des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse. Endbericht März 2012. Leipzig.

dena (Deutsche Energie-Agentur GmbH) (2011): Die Mitverbrennung holzartiger Biomasse in Kohlekraftwerken. Ein Beitrag zur Energiewende und zum Klimaschutz? August 2011. Berlin.

Destatis (2012): Energiebilanz - Endenergiebilanz nach Sektor (Holz, Papier, Druck, Möbel), Sonderauswertung. 25.06.2012.

Dieter, M. (2008): Volkswirtschaftliche Betrachtung von holzbasierter Wertschöpfung in Deutschland. vTI Agriculture and Forestry Research. Sonderheft 327.

Egan-Krieger, T.; /Ott, K. (2007): Ethikgutachten – Zukünfte und Visionen Wald 2100: Langfristige Perspektiven von Wald- und Landnutzung, Entwicklungsdynamiken, normative Grundhaltungen und Governance. Bericht innerhalb des Projektes „Zukünfte und Visionen Wald 2100“. Greifswald.

Elsasser, P. (2008): Wirtschaftlicher Wert der Senkenleistung des Waldes unter KP-Artikel 3.4 und Ansätze zu dessen Abgeltung in der ersten Verpflichtungsperiode. Arbeitsbericht des Instituts für Ökonomie der Forst- und Holzwirtschaft 2008/6 des Johann Heinrich von Thünen-Institut Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei. Hamburg.

EnergieAgentur.NRW (2012): Energieeffizienz in der holzbe- und verarbeitenden Industrie. Unter: <http://www.energieagentur.nrw.de/unternehmen/energieeffizienz-in-der-holzbe-und-verarbeitenden-industrie-3736.asp>; Abruf 25.07.2012.

EPEA Internationale Umweltforschung GmbH (2009): CO<sub>2</sub>-Speicherung und Wertschöpfung – Holznutzung in einer Kaskade. Kurzfassung einer Studie in Zusammenarbeit mit dem Verband der Deutschen Holzwerkstoffindustrie e. V. (VHI), Gießen und dem Fraunhofer-Institut für Holzforschung (Wilhelm-Klauditz-Institut WKI), Braunschweig. Hamburg.

Erler, J.; Becker, G.; Spellmann, H.; Dieter, M.; Ammer, C.; Bauhus, J.; Bitter, A.; Bolte, A.; Knoke, T.; Köhl, M.; Mosandl, R.; Möhring, B.; Schmidt, O.; von Teuffel, K. (2012): Forstwissenschaftler bemängeln Umweltgutachten 2012 des SRU: Einseitig, widersprüchlich und teilweise falsch. AFZ, der Wald, Band 67, Heft 18, Seiten 22-26. Auch unter: <http://www.wald-mv.de/lib/media.php?id=3042>; Abruf 29.09.2012.

FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe) (2011): Basisdaten Bioenergie Deutschland. September 2011. Gülzow.

Frühwald, A.; Wegener, G.; Krüger, S.; Beudert, M. (1994): Forst- und Holzwirtschaft unter dem Aspekt der CO<sub>2</sub>-Problematik. Bericht Forstabsatzfonds Bonn; zitiert nach: DGfH/Holzabsatzfonds (Hrsg.): Holz – ein Rohstoff der Zukunft, nachhaltig verfügbar und umweltgerecht. Informationsdienst Holz, September 2001. S. 16. München.

Frühwald, A.; Frühwald, K. (2012): Aktuelle Trends und Entwicklungen im Bauen mit Holz. Technisch-wirtschaftliche Aspekte und Rahmenbedingungen. Vortrag auf der Deutschen Holzschutztagung 2012, 27.09.2012. Göttingen

Grassi, G. (2012): Major Step in Durban. EFI News, Nr. 1, Volume 20. April 2012.

Hagemann, H.; Wenzelides, M.; Klein, D.; Molitor, C.; Schulte, A. (2010): Potenzialstudie Holzcluster Bergisches Land. Studie des Wald-Zentrums Münster. Münster.

Heuer, E. (2011): Kohlenstoffbilanzen – Schlüssel zur forstlichen Klimapolitik. AVZ – der Wald, Ausgabe 17/2011. S. 16–18.

Hoffmann, V.; Opitz, S. (2011): Treibhausgas-Emissionsinventar Nordrhein-Westfalen 2009. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV NRW). Dezember 2011. Recklinghausen.

Hoffmann, V.; Opitz, S. (2012): Treibhausgas-Emissionsinventar Nordrhein-Westfalen 2010. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV NRW). Juli 2012. Recklinghausen.

idw-online (2008): Revolutionäre Lösung für globales Kohlendioxidproblem. Greifswalder Wissenschaftler wollen den Klimawandel mit Holzwachstums- und Holzeinlagerungsprozessen aufhalten. Pressemitteilung der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald. Unter : <http://idw-online.de/pages/de/news257565>; Abruf 29.09.2012.

IPCC (2003): Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. Institute for Global Environmental Strategies (IGES). Hayama.

IPCC (2006): IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories; reference manual. Institute for Global Environmental Strategies (IGES). Hayama.

IPCC (2007a): Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva.

IPCC (2007b): Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

IT NRW (Information und Technik Nordrhein-Westfalen Geschäftsbereich Statistik) (2011): Energiebilanz und CO<sub>2</sub>-Bilanz in Nordrhein-Westfalen 2009. Düsseldorf.

IT NRW (Information und Technik Nordrhein-Westfalen Geschäftsbereich Statistik) (2012): Statistik der Baufertigstellungen in NRW. unter: <http://www.it.nrw.de/statistik/g/daten/eckdaten/r523baufertig.html>, Abruf: 27.09.2012.

IWR (Internationales Wirtschaftsforum Regenerative Energien) (2010): Zur Lage der Regenerativen Energiewirtschaft in Nordrhein-Westfalen 2009. Studie im Auftrag des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV). Münster.

IWR (Internationales Wirtschaftsforum Regenerative Energien) (2012): Zur Lage der Regenerativen Energiewirtschaft in Nordrhein-Westfalen 2011, Teil 1. Studie im Auftrag des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV). Münster. unter: [http://www.umwelt.nrw.de/klima/pdf/studie\\_regenerative\\_energiewirtschaft\\_2011.pdf](http://www.umwelt.nrw.de/klima/pdf/studie_regenerative_energiewirtschaft_2011.pdf); Abruf 20.11.2012.

Joosten, R.; Schumacher, J.; Wirth, C.; Schulte, A. (2004): Evaluating Tree Carbon Predictions of Beech (*Fagus sylvatica* L.) in Western Germany. *Forest Ecology and Management* 189. S. 87–96.

Kibat, K. (Verband Deutscher Papierfabriken e. V. vdp) (2012): Mündliche Aussage zu Stoffströmen der Papier- und Altpapierwirtschaft. 17.07.2012.

Knauf, M.; Frühwald, A. (2011): Die Zukunft der deutschen Holzwirtschaft. „Delphistudie Holz 2020 revisited“ – Rohstoffe: Entwicklung – Verfügbarkeit – Nutzungskonkurrenz bis 2020 (Teil 1). Holz-Zentralblatt. Leinfelden-Echterdingen, 28.01.2011.

Köhl, M.; Frühwald, A.; Kenter, B.; Olschofsky, K.; Köhler, R.; Köthke, M.; Rüter, S.; Pretzsch, H.; Rötzer, T.; Makeschin, F.; Abiy, M.; Dieter, M. (2008): Potenzial und Dynamik der Kohlenstoffspeicherung in Wald und Holz: Beitrag des deutschen Forst- und Holzsektors zum Klimaschutz. In: Seintsch, D.; Dieter, M. (Hrsg.): Waldstrategie 2020. Tagungsband zum Symposium des BMWLV, 10.-11. Dez. 2008, Berlin. Landbauforschung Sonderheft 327 des Johann Heinrich von Thünen-Instituts. Hamburg/Braunschweig.

Köhl, M.; Frühwald, A. (2009): Permanent Wood Sequestration: No Solution to the Global Carbon Dioxide Problem. ChemSusChem 2 (7). S. 609–613.

Köhl, M.; Kenter, B.; Hildebrandt, R.; Olschofsky, K.; Köhler, R.; Rötzer, T.; Mette, T.; Pretzsch, H.; Rüter, S.; Köthke, M.; Dieter, M.; Abiy, M.; Makeschin, F. (2011): Nutzungsverzicht oder Holznutzung? Auswirkungen auf die CO<sub>2</sub>-Bilanz im langfristigen Vergleich. AVZ – der Wald, Ausgabe 15/2011. S. 25–27.

Kottwitz, K. (BSHD e. V.) (2012): Schriftliche Mitteilung zur Verwendung der Sägenebenprodukte. 20.06.2012.

Krug, J.; Kriebitzsch, W.-U.; Olschofsky, K.; Bolte, A.; Polley, H.; Stümer, W.; Rock, J.; Oehmichen, K.; Kroihner, F.; Wellbrock, N.; Riedel, T. (2010): Potenziale zur Vermeidung von Emissionen sowie der zusätzlichen Sequestrierung im Wald und daraus resultierende Fördermaßnahmen. Studie des Johann Heinrich von Thünen-Instituts im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. 25.02.2010. Hamburg.

Landesforstverwaltung NRW (2003): Clusterstudie Forst & Holz. Gesamtbericht. Juli 2003.

LDS (Landesamt für Datenverarbeitung und Statistik) NRW (2003): Energiebilanz und CO<sub>2</sub>-Bilanz Nordrhein-Westfalen 2001. Düsseldorf.

Mantau, U. (2009): Holzrohstoffbilanz Deutschland: Szenarien des Holzaufkommens und der Holzverwendung bis 2012. vTI Agriculture and Forestry Research. Sonderheft 327.

Mantau, U.; Bilitewski, B. (2010): Stoffstrom-Modell-HOLZ. Bestimmung des Aufkommens, der Verwendung und des Verbleibs von Holzprodukten. Forschungsbericht für den Verband Deutscher Papierfabriken e. V. (VDP). Celle.

Mantau, U. (2012): Energieholzverwendung in privaten Haushalten. Marktvolumen und verwendete Holzsortimente – Abschlussbericht. Hamburg.

McKinsey & Company Inc. (2007): Kosten und Potenziale der Vermeidung von Treibhausgasemissionen in Deutschland. Eine Studie erstellt im Auftrag von „BDI initiativ für Klimaschutz“.

MKULNV (Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen) (2011): Energie. Daten NRW 2011, Stand 11/2011. Düsseldorf.

MUNLV (Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen) (2003) (Hg.): Clusterstudie Forst und Holz: Gesamtbericht. Düsseldorf (= Schriftenreihe der Landesforstverwaltung NRW, Heft 17). Unter: [www.wald-und-holz.nrw.de/nutzung/cluster](http://www.wald-und-holz.nrw.de/nutzung/cluster); Abruf 19.07.2012.

MWME (Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen) (2010): Berücksichtigung von Aspekten des Umweltschutzes und der Energieeffizienz bei der Vergabe öffentlicher Aufträge. Runderlass des Ministeriums für Wirtschaft, Mittelstand und Energie vom 12.4.2010. Unter: [https://recht.nrw.de/lmi/owa/br\\_vbl\\_detail\\_text?anw\\_nr=7&vd\\_id=12147&menu=1&sg=0&keyword=vergabe](https://recht.nrw.de/lmi/owa/br_vbl_detail_text?anw_nr=7&vd_id=12147&menu=1&sg=0&keyword=vergabe); Abruf 19.07.2012.

Neubauer-Letsch, B.; Groetsch, C.; Näher, T.; Wüthrich, K. (2012): Holzendverbrauch Schweiz. Bauwesen, Holz im Aussenbereich, Möbel und Innenausbau, Verpackung sowie Holzwaren für das Jahr 2009. Bundesamt für Umwelt. Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1219: 105 S.

NRW SPD – Bündnis 90/Die Grünen NRW (2012): Koalitionsvertrag 2012–2017. Verantwortung für ein starkes NRW – Miteinander die Zukunft gestalten. Düsseldorf.

Oehmichen, K.; Demant, B.; Dunger, K.; Grüneberg, E.; Hennig, P.; Kroiher, F.; Neubauer, M.; Polley, H.; Riedel, T.; Rock, J.; Schwitzgebel, F.; Stürmer, W.; Wellbrock, N.; Ziche, D.; Bote, A. (2011): Inventurstudie 2008 und Treibhausgasinventar Wald. Sonderheft 343 der Schriftenreihe Landbauforschung des Johann Heinrich von Thünen-Institut. Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei (vTI). Braunschweig.

Petritan, A. M.; Biris, I. A.; Merce, O.; Turcu, D. O.; Petritan, I. O. (2012): Structure and diversity of a natural temperate sessile oak (*Quercus petraea* L.) – European Beech (*Fagus sylvatica* L.) forest. *Forest Ecology and Management* 280. 140–149.

Pistorius, T. (2007): Die Bedeutung von Kohlenstoffbilanzen im Diskurs über die Einbindung der Forstwirtschaft in die nationale Klimapolitik. Dissertation, Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften der Albert-Ludwigs-Universität zu Freiburg im Breisgau.

Porter, M. E. (1996): Competitive Advantage, Agglomeration Economies and Regional Policy. *International Regional Science Review* 19. 85–90.

Rommel, J. (2012): Ansprache auf der Baumesse Deubau. 10.01.2012. Essen

Richter, K.; Künniger, T.; Brunner, K.: Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA) Dübendorf (CH) (1996): Ökologische Bewertung von Fensterkonstruktionen verschiedener Rahmenmaterialien (ohne Verglasung). Studie im Auftrag der Schweizerischen Fachstelle für Fenster und Fassadenbau SZFF in Zusammenarbeit mit dem Verband der Fenster- und Fassadenhersteller VFF, Frankfurt.

Riemhofer, H. (2012): Aspekte des Kohlenstoffmanagements in der Holzverwendung Nordrhein-Westfalens. Diplomarbeit Universität Hamburg, Zentrum Holzwirtschaft. August 2012. Hamburg.

Rock, J. (2008): Klimaschutz und Kohlenstoff in Holz – Vergleich verschiedener Strategien. Dissertation. Unter: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:kobv:517-opus-1753>; Abruf 15.05.2012.

Rüter, S. (2010): Einbeziehung von Holzprodukten in die Klimapolitik. *Holz-Zentralblatt*, Leinfelden-Echterdingen. 25.06.2010.

Rüter, S. (2011a): Welchen Beitrag leisten Holzprodukte zur CO<sub>2</sub>-Bilanz? *AVZ – der Wald*, Ausgabe 15/2011. S. 15–18.

Rüter, S. (2011b): Projections of Net-Emissions from Harvested Wood Products in European Countries. Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI). Work Report of the Institute of Wood Technology and Wood Biology, Report No: 2011/1. Hamburg.

Rüter, S.; Rock, J.; Köthke, M.; Dieter, M. (2011): Wie viel Holznutzung ist gut fürs Klima? CO<sub>2</sub>-Bilanzen unterschiedlicher Nutzungsszenarien 2013 bis 2020. *AVZ – der Wald*, Ausgabe 15/2011. S. 19–21.

Saller GmbH (2012): Ressourceneffizienz in der Holzwirtschaft – Auswertung, Zusammenfassung und Präsentation der Ergebnisse aus drei Pilotprojekten. Bericht für den Landesbetrieb Wald und Holz NRW. 24.02.2012. Wiehl.

Sathre, T.; O´Connor, J. (2010): A Synthesis of Research on Wood Products and Greenhouse Gas Impacts, 2nd Edition. FPInnovations Technical report TR-19R. Vancouver.

Schlomann, B.; Dütschke, E.; Gigli, M.; Steinbach, J.; Kleeberger, H.; Geiger, B.; Linhardt, A.; Gruber, E.; Mai, M.; Gerspacher, A.; Schiller, W. (2011): Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) in Deutschland für die Jahre 2007 bis 2010. Bericht an das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi). Projekt von IREES, GfK, IFE, Fraunhofer ISI und BASE-ING. August 2011. Karlsruhe, München, Nürnberg.

Schlusemann, R. (2012): Mündliche Mitteilung und Mitteilung per E-Mail zu den Berechnungen zur Energiebereitstellung aus der energetischen Holzverwertung. Internationales Wirtschaftsforum Regenerative Energien (IWR). 13.11.2012.

Schwarz, M. (2012): Schriftliche Mitteilung zur Bedeutung der energetischen Holznutzung für die Holzmobilisierung im nordrhein-westfälischen Privatwald. Wald und Holz NRW. 10.07.2012 und 15.10.2012.

Seintsch, B. (2008): Entwicklungen des Clusters Forst und Holz: Studie „Volkswirtschaftliche Bedeutung des Clusters Forst und Holz“ im Rahmen der „Bundesweiten Clusterstudie Forst und Holz“. Holz-Zentralblatt, Leinfelden-Echterdingen, 05.12.2008.

Seintsch, B. (2010): Holznutzungspotenziale und Holzversorgung in Deutschland. Niedersächsisches Kompetenznetz für Nachhaltige Holznutzung [NHN] e. V. Tagung: „Sicherung der Nadelrohholzversorgung“. 12. November 2010. Göttingen.

Sörgel, C.; Weimar, H.; Mantau, U. (2007): Ökologische Potenziale durch Holznutzung gezielt fördern. Marktanalyse der Holzprodukte und der wichtigsten Konkurrenten. Ergebnisse der Marktanalyse. Interner Zwischenbericht.

SRU (Sachverständigenrat für Umweltfragen) (2012a): Umweltgutachten 2012. Verantwortung in einer begrenzten Welt. Juni 2012. Berlin.

SRU (Sachverständigenrat für Umweltfragen) (2012b): „Umweltgerechte Waldnutzung“. Gut begründet und erforderlich – Anmerkungen zur Kritik einer Gruppe von Forstwissenschaftlern am Kapitel 6 „Umweltgerechte Waldnutzung“ des Umweltgutachtens 2012 „Verantwortung in einer begrenzten Welt“. September 2012. Berlin.

Taverna, R.; Hofer, P.; Werner, F.; Kaufmann, E.; Thürig E. (2007): CO<sub>2</sub>-Effekte der Schweizer Wald- und Holzwirtschaft. Szenarien zukünftiger Beiträge zum Klimaschutz. Umwelt-Wissen Nr. 0739. Bundesamt für Umwelt. Bern.

TEEB (2010): Die Ökonomie von Ökosystemen und Biodiversität: Die ökonomische Bedeutung der Natur in Entscheidungsprozesse integrieren. (TEEB 2010: The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Mainstreaming the Economics of Nature). Ansatz, Schlussfolgerungen und Empfehlungen von TEEB – eine Synthese.

UBA (Umweltbundesamt) (2009): Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger. Durch Einsatz erneuerbarer Energien vermiedene Emissionen im Jahr 2007. Oktober 2009. Dessau-Roßlau. unter [http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/mysql\\_medien.php?anfrage=Kennnummer&Suchwort=3761](http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/mysql_medien.php?anfrage=Kennnummer&Suchwort=3761); Abruf 20.06.2012.

UBA (Umweltbundesamt) (2011): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2011. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990–2009. Juni 2011. Dessau-Roßlau. Unter <http://www.umwelt Daten.de/publikationen/fpdf-l/4126.pdf>; Abruf 02.10.2012.

UBA (Umweltbundesamt) (2012a): Bioenergie – Datengrundlagen für die Statistik der erneuerbaren Energien und Emissionsbilanzierung. Ergebnisbericht zum Workshop vom Juli 2011. Oktober 2011, veröffentlicht Februar 2012. unter <http://www.uba.de/uba-info-medien/4251.html>; Abruf 20.06.2012.

UBA (Umweltbundesamt) (2012b): Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger. Durch Einsatz erneuerbarer Energien vermiedene Emissionen im Jahr 2010. Aktualisierte Anhänge 2 und 4 der Veröffentlichung „Climate Change 12/2009“. Dezember 2011, korrigiert März 2012. Dessau-Roßlau. Unter: <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/3761.html>; Abruf 20.06.2012.

UNFCCC (2002): Report of the Conference of the Parties on its seventh Session, held at Marrakesh from 29 October to 10 November 2001. FCCC/CP/2001/13/Add.1.

UNFCCC/TP (2003): Estimation, reporting and accounting of harvested wood products. FCCC/TP/2003/7.

UNFCCC (2010a): Ad Hoc Working Group on further Commitments for Annex I Parties under the Kyoto Protocol, Documentation to facilitate negotiations among Parties. Note by the Chair. FCCC/KP/AWG/2010/6/Add.2.

UNFCCC (2010b): Ad Hoc Working Group on further Commitments for Annex I Parties under the Kyoto Protocol, Consideration of further commitments for Annex I Parties under the Kyoto Protocol. Revised Proposal by the Chair. FCCC/KP/AWG/2010/CRP.4/Rev.4.

UNFCCC (2011): Synthesis report of the technical assessments of the forest management reference level submissions. Note by the secretariat. November 2011.

vdp (Verband Deutscher Papierfabriken e. V.) (2012): Papier 2012. Ein Leistungsbericht. Bonn.

Wirth, C.; Schulze, E.-D.; Schwalbe, G.; Tomczyk, S.; Weber, G.; Weller, E. (2004): Dynamik der Kohlenstoffvorräte in den Wäldern Thüringens. Abschlussbericht zur 1. Phase des BMBF-Projektes „Modelluntersuchung zur Umsetzung des Kyoto-Protokolls“. Thüringer Landesanstalt für Wald, Jagd und Fischerei. Mitteilungen 23/2004.

Wördehoff, R.; Spellmann, H.; Evers, J.; Nagel, J. (2011): Kohlenstoffstudie Forst und Holz Niedersachsen. Berichte aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, Band 6. Göttingen.

(die) Zeit (2011): Wohlstandsländer verschmutzen Chinas und Indiens Luft. 02.12.2011. Unter: <http://www.zeit.de/wirtschaft/2011-12/carbon-footprint-emissionen-durban>; Abruf 03.10.2012.

## 11. Abbildungen

	Seite
Abbildung 1: C-Flüsse Atmosphäre – Wald – Holzprodukte (Pfeile: C-Flüsse, Rechtecke: C-Speicher)	80
Abbildung 2: Speicherleistung und Speichergröße (bei gleicher Speichergröße erzielt das linke System eine höhere Speicherleistung)	81
Abbildung 3: Speicherleistung ohne Nutzung bei unterstelltem Maximum des Vorrats lebend oberirdisch von 750 VFM je Hektar, von 325 m <sup>3</sup> abgestorben oberirdisch und 73 m <sup>3</sup> abgestorben unterirdisch (gestrichelte Linien); alternativ sind gepunktet die maximalen Totholzvorräte bei 23 % der Vorräte an lebendem Holz dargestellt.	84
Abbildung 4: Anteile der Baumartengruppen nach lebender oberirdischer Biomasse (Vorrat in Mio. t C) im Jahr 2002	86
Abbildung 5: Herleitung der Kohlenstoffvorräte nach IPCC	91
Abbildung 6: Entwicklung des Speichers oberirdisch lebend für die Grundszenarien	93
Abbildung 7: Entwicklung des Speichers oberirdisch lebend für die Kombinationsszenarien	94
Abbildung 8: Ausscheidender Bestand in Mio. t C für die Grundszenarien	95
Abbildung 9: Ausscheidender Bestand in Mio. t C für die Kombinationsszenarien	96
Abbildung 10: Ausscheidendes Rohholz in Mio. t C für die Grundszenarien	96
Abbildung 11: Ausscheidendes Rohholz in Mio. t C für die Kombinationsszenarien	97
Abbildung 12: Kohlenstoffspeicherleistung im Waldsektor von 2011 bis 2100 für das Grundszenario „Massenoptimierer“	98
Abbildung 13: Kohlenstoffspeicher im Waldsektor von 2011 bis 2100 für das Grundszenario „Wertoptimierer“	99
Abbildung 14: Kohlenstoffspeicher im Waldsektor von 2011 bis 2100 für das Grundszenario „Speicheroptimierer“	99
Abbildung 15: Summen der Kohlenstoffspeicher im Waldsektor von 2011 bis 2100 für die Grundszenarien	100
Abbildung 16: Entwicklung der Kohlenstoffspeicher im Wald von 2011 bis 2100 für das Kombinationsszenario „Nutz“	100
Abbildung 17: Entwicklung der Kohlenstoffspeicher im Wald von 2011 bis 2100 für das Kombinationsszenario „Erhalt“	101
Abbildung 18: Entwicklung der Kohlenstoffspeicher im Wald von 2011 bis 2100 für das Kombinationsszenario „Schutz“	101
Abbildung 19: Entwicklung der Summe der Kohlenstoffspeicher im Wald von 2011 bis 2100 für die Kombinationsszenarien	102

Abbildung 20: Entwicklung (kumuliert) der Kohlenstoffspeicher (2011 bis 2100) im Wald für die Grundszenarien (gepunktete Linien) und für alle Klimaschutzleistungen des Systems Wald–Holzverwendung (Wald- und Holzspeicher und Emissionseinsparung durch energetische und stoffliche Substitution; durchgezogene Linien)	112
Abbildung 21: Entwicklung (kumuliert) der Klimaschutzleistungen des Massenoptimierers (2011 bis 2100): Entwicklung der Speicher (Wald- und Produktspeicher) und der Substitutionswirkung der Holzverwendung (Emissionseinsparung durch energetische und stoffliche Substitution)	114
Abbildung 22: Entwicklung (jährlich) der Klimaschutzleistungen des Massenoptimierers (2011 bis 2100): Entwicklung der Speicher (Wald- und Produktspeicher) und der Substitutionswirkung der Holzverwendung (Emissionseinsparung durch energetische und stoffliche Substitution)	114
Abbildung 23: Entwicklung (kumuliert) der Klimaschutzleistungen des Wertoptimierers (2011 bis 2100): Entwicklung der Speicher (Wald- und Produktspeicher) und der Substitutionswirkung der Holzverwendung (Emissionseinsparung durch energetische und stoffliche Substitution)	115
Abbildung 24: Entwicklung (jährlich) der Klimaschutzleistungen des Wertoptimierers (2011 bis 2100): Entwicklung der Speicher (Wald- und Produktspeicher) und der Substitutionswirkung der Holzverwendung (Emissionseinsparung durch energetische und stoffliche Substitution)	115
Abbildung 25: Entwicklung (kumuliert) der Klimaschutzleistungen des Speicheroptimierers (2011 bis 2100): Entwicklung der Speicher (Wald- und Produktspeicher) und der Substitutionswirkung der Holzverwendung (Emissionseinsparung durch energetische und stoffliche Substitution)	116
Abbildung 26: Entwicklung (jährlich) der Klimaschutzleistungen des Speicheroptimierers (2011 bis 2100): Entwicklung der Speicher (Wald- und Produktspeicher) und der Substitutionswirkung der Holzverwendung (Emissionseinsparung durch energetische und stoffliche Substitution)	116
Abbildung 27: Entwicklung (kumuliert) der Kohlenstoffspeicher (2011 bis 2100) im Wald für die Grundszenarien (gepunktete Linien) und für alle Klimaschutzleistungen des Systems Wald–Holzverwendung (Wald- und Holzspeicher und Emissionseinsparung durch energetische und stoffliche Substitution) – dabei Differenzierung in ein Szenario, das einen veränderten allgemeinen Energiemix bzw. Braunkohle als zu substituierenden Energieträger zugrunde legt	119
Abbildung 28: Entwicklung (kumuliert) der Kohlenstoffspeicher (2011 bis 2100) im Wald für das Grundszenario Wertoptimierer (gepunktete Linie) und für alle Klimaschutzleistungen des Systems Wald–Holzverwendung (Wald- und Holzspeicher und Emissionseinsparung durch energetische und stoffliche Substitution) – dabei Differenzierung in ein Szenario, das einen veränderten allgemeinen Energiemix bzw. Braunkohle als zu substituierenden Energieträger zugrunde legt; dazu im Vergleich das Basisszenario: 2. Kurve von oben	119
Abbildung 29: Entwicklung (kumuliert) der Kohlenstoffspeicher (2011 bis 2100) im Wald für die Grundszenarien (gepunktete Linien) und für alle Klimaschutzleistungen des Systems Wald–Holzverwendung (Wald- und Holzspeicher und Emissionseinsparung durch energetische und stoffliche Substitution); durchgezogene Linien auf Basis des vom vTI verwendeten Substitutionsfaktors für die stoffliche Substitution von $SF_{MA} = 2,1 \text{ t C/t C}$ (gemäß Rüter et al. 2011)	122
Abbildung 30: Entwicklung (kumuliert) der Kohlenstoffspeicher (2011 bis 2100) im Wald für die Kombinationsszenarien (gestrichelte Linien) und für alle Klimaschutzleistungen des Systems Wald–Holzverwendung (Wald- und Holzspeicher und Emissionseinsparung durch energetische und stoffliche Substitution; durchgezogene Linien)	124
Abbildung 31: Entwicklung (kumuliert) der Klimaschutzleistungen des Nutz-Szenarios (2011 bis 2100): Entwicklung der Speicher (Wald- und Produktspeicher) und der Substitutionswirkung der Holzverwendung (Emissionseinsparung durch energetische und stoffliche Substitution)	125



Abbildung 32: Entwicklung (jährlich) der Klimaschutzleistungen des Nutz-Szenarios (2011 bis 2100): Entwicklung der Speicher (Wald- und Produktspeicher) und der Substitutionswirkung der Holzverwendung (Emissionseinsparung durch energetische und stoffliche Substitution)	125
Abbildung 33: Entwicklung (kumuliert) der Klimaschutzleistungen des Erhalt-Szenarios (2011 bis 2100): Entwicklung der Speicher (Wald- und Produktspeicher) und der Substitutionswirkung der Holzverwendung (Emissionseinsparung durch energetische und stoffliche Substitution)	126
Abbildung 34: Entwicklung (jährlich) der Klimaschutzleistungen des Erhalt-Szenarios (2011 bis 2100): Entwicklung der Speicher (Wald- und Produktspeicher) und der Substitutionswirkung der Holzverwendung (Emissionseinsparung durch energetische und stoffliche Substitution)	126
Abbildung 35: Entwicklung (kumuliert) der Klimaschutzleistungen des Schutz-Szenarios (2011 bis 2100): Entwicklung der Speicher (Wald- und Produktspeicher) und der Substitutionswirkung der Holzverwendung (Emissionseinsparung durch energetische und stoffliche Substitution)	127
Abbildung 36: Entwicklung (jährlich) der Klimaschutzleistungen des Schutz-Szenarios (2011 bis 2100): Entwicklung der Speicher (Wald- und Produktspeicher) und der Substitutionswirkung der Holzverwendung (Emissionseinsparung durch energetische und stoffliche Substitution)	127
Abbildung 37: Entwicklung (kumuliert) der Kohlenstoffspeicher (2011 bis 2100) im Wald für die Kombinationsszenarien (gepunktete Linien) und für alle Klimaschutzleistungen des Systems Wald–Holzverwendung (Wald- und Holzspeicher und Emissionseinsparung durch energetische und stoffliche Substitution) – dabei Differenzierung in ein Szenario, das einen veränderten allgemeinen Energiemix bzw. Braunkohle als zu substituierenden Energieträger zugrunde legt; zum Vergleich Basisszenario	129
Abbildung 38: Entwicklung (kumuliert) der Kohlenstoffspeicher (2011 bis 2100) im Wald für die Kombinationsszenarien (gepunktete Linien) und für alle Klimaschutzleistungen des Systems Wald–Holzverwendung (Wald- und Holzspeicher und Emissionseinsparung durch energetische und stoffliche Substitution); durchgezogene Linien auf Basis des vom vTI verwendeten Substitutionsfaktors für die stoffliche Substitution von $SF_{MA} = 2,1 \text{ t C/t C}$ (gemäß Rüter et al. 2011)	132
Abbildung 39: Darstellung (kumuliert) der Klimaschutzleistung der Holzverwendung für das Kombiszenario Erhalt (2011 bis 2100, mit Waldspeicher) – Vergleich der Klimaschutzleistung bei verschiedenen Einsatzquoten stoffliche Nutzung zu Energieholz	135
Abbildung 40: Darstellung (kumuliert) der Klimaschutzleistung der Holzverwendung für das Kombiszenario Erhalt (2011 bis 2100, ohne Waldspeicher) – Vergleich der Klimaschutzleistung bei verschiedenen Einsatzquoten stoffliche Nutzung zu Energieholz	135
Abbildung 41: Darstellung (kumuliert) der Klimaschutzleistung der Holzverwendung für das Kombiszenario Erhalt (2011 bis 2100, ohne Waldspeicher) – Vergleich der Klimaschutzleistung bei verschiedenen Recyclingquoten	138

## 12. Tabellen

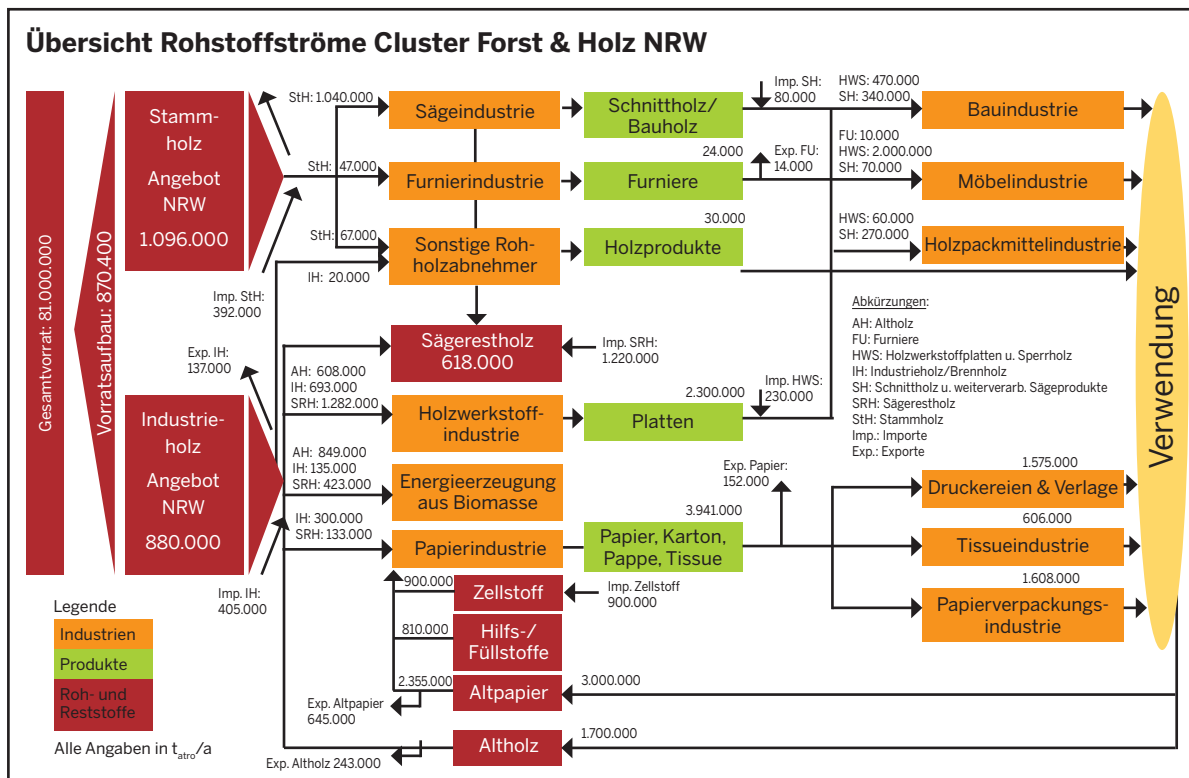
	Seite
Tabelle 1: Gegenüberstellung des Wirtschaftskusters ForstHolz (nach Hagemann et al. 2010) und der aktuellen Systematik der internationalen Klimabemühungen	35
Tabelle 2: Matrix/Typologie für die Beurteilung von Klimaschutzleistungen eines regional abgegrenzten Clusters ForstHolz am Beispiel NRW	40
Tabelle 3: Vergleiche und Beispiele für die Substitutionsfaktoren (Materialsstitution)	48
Tabelle 4: Vorschlag für Substitutionsfaktoren $SF_{MA}$ (Materialsstitution) – für Berechnungen verwendete Substitutionsfaktoren $SF_{MA}$	49
Tabelle 5: Ermittlung eines nach Produktgruppen differenzierten Substitutionsfaktors $SF_{MA}$ (Materialsstitution) [t C/t C], eigene Berechnungen unter Verwendung der Mengenverteilungen von Mantau/Bilitewski (2010)	51
Tabelle 6: Ermittlung eines produktgruppenübergreifenden Substitutionsfaktors $SF_{MA}$ (Materialsstitution) [t C/t C], eigene Berechnungen unter Verwendung der Mengenverteilungen von Mantau/Bilitewski (2010)	52
Tabelle 7: Stromerzeugung auf Basis regenerativer Energieträger (MKULNV 2011: 4) – NRW und Bundesrepublik Deutschland	63
Tabelle 8: Wärmeerzeugung auf Basis regenerativer Energieträger (MKULNV 2011: 4) – NRW und Bundesrepublik Deutschland	64
Tabelle 9: Endenergiebereitstellung von Wärme in Deutschland auf Basis fester Biomasse 2010 (UBA 2012b: Anhang 4)	65
Tabelle 10: Energieeinsatz (GJ) in der Holzwirtschaft 2009 – Vergleich Bund–NRW	73
Tabelle 11: Aktuelle Klimaschutzleistung des nordrhein-westfälischen Clusters ForstHolz (2002–2010, bzw. 2007, 2009, 2010)	76
Tabelle 12: Übersicht zur Definition der Grundszenarien	83
Tabelle 13: Gewichtung der Grundszenarien und des Szenarios „Ohne Nutzung“ zu Kombinationsszenarien	85
Tabelle 14: Kohlenstoffvorräte und Nutzung 2002	86
Tabelle 15: Korrektur der Zuwächse nach BWI-Auswertung	89
Tabelle 16: Korrekturfaktoren Vorrat 2002	90
Tabelle 17: Korrekturfaktoren für ausscheidenden Bestand nach Liefertabellen NRW	90
Tabelle 18: Summe der Rohholzproduktion in Mio. t C von 2011 bis 2100 nach Baumarten und Grundszenarien	97
Tabelle 19: Summe der Rohholzproduktion in Mio. t C von 2011 bis 2100 nach Baumarten und Kombinationsszenarien	98

Tabelle 20: Leistungen der ober- und unterirdischen jeweiligen lebenden und toten Kohlenstoffspeicher [Mio. t C] für die Grundszenarien bis zum Jahre 2100 für NRW	102
Tabelle 21: Speichersummen und Rohholzproduktion in Kohlenstoffspeicher [Mio. t C] für die Grundszenarien als Summe von 2011 bis zum Jahre 2100 für NRW	102
Tabelle 22: Leistungen der ober- und unterirdischen jeweiligen lebenden und toten Kohlenstoffspeicher [Mio. t C] für die Kombinationsszenarien bis zum Jahre 2100 für NRW	103
Tabelle 23: Speichersummen und Rohholzproduktion in Kohlenstoffspeicher [Mio. t C] für die Kombinationsszenarien als Summe von 2011 bis zum Jahre 2100 für NRW	103
Tabelle 24: Leistungen der ober- und unterirdischen jeweiligen lebenden und toten Kohlenstoffspeicher [Mio. t C] für die Grundszenarien bis zum Jahre 2050 für NRW	103
Tabelle 25: Speichersummen und Rohholzproduktion in Kohlenstoffspeicher [Mio. t C] für die Grundszenarien als Summe von 2011 bis zum Jahre 2050 für NRW	104
Tabelle 26: Leistungen der ober- und unterirdischen jeweiligen lebenden und toten Kohlenstoffspeicher [Mio. t C] für die Kombinationsszenarien bis zum Jahre 2050 für NRW	104
Tabelle 27: Speichersummen und Rohholzproduktion in Kohlenstoffspeicher [Mio. t C] für die Kombinationsszenarien als Summe von 2011 bis zum Jahre 2050 für NRW	104
Tabelle 28: Durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz in Nordrhein-Westfalen abhängig von der Bewirtschaftungsform (Grundszenarien) (2011–2100)	117
Tabelle 29: Durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz in Nordrhein-Westfalen abhängig von der Bewirtschaftungsform (Grundszenarien) (2011–2050)	117
Tabelle 30: Durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz in Nordrhein-Westfalen abhängig von der Bewirtschaftungsform und Szenario zu unterschiedlichem Energiemix bei Grundszenarien (* abnehmend: Anteil fossiler Energieträger, steigender Anteil erneuerbarer Energieträger) (2011–2100)	120
Tabelle 31: Durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz in Nordrhein-Westfalen abhängig von der Bewirtschaftungsform und Szenario zu unterschiedlichem Energiemix bei Grundszenarien (* abnehmend: Anteil fossiler Energieträger, steigender Anteil erneuerbarer Energieträger) (2011–2050)	121
Tabelle 32: Durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz in Nordrhein-Westfalen abhängig von der Bewirtschaftungsform (erhöhter Substitutionsfaktor $SF_{MA} = 2,1 \text{ t C/t C}$ bei den Grundszenarien) (2011–2100)	123
Tabelle 33: Durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz in Nordrhein-Westfalen abhängig von der Bewirtschaftungsform (erhöhter Substitutionsfaktor $SF_{MA} = 2,1 \text{ t C/t C}$ bei den Grundszenarien) (2011–2050)	123
Tabelle 34: Durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz in Nordrhein-Westfalen abhängig von der Bewirtschaftungsform (Basisszenario der Kombinationsszenarien) (2011–2100)	128
Tabelle 35: Durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz in Nordrhein-Westfalen abhängig von der Bewirtschaftungsform (Basisszenario der Kombinationsszenarien) (2011–2050)	128

Tabelle 36: Durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz in Nordrhein-Westfalen abhängig von der Bewirtschaftungsform und Szenario zu unterschiedlichem Energiemix bei den Kombinationsszenarien (* abnehmend: Anteil fossiler Energieträger, steigend: Anteil erneuerbarer Energieträger) (2011–2100)	130
Tabelle 37: Durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz in Nordrhein-Westfalen abhängig von der Bewirtschaftungsform und Szenario zu unterschiedlichem Energiemix bei den Kombinationsszenarien (* abnehmend: Anteil fossiler Energieträger, steigend: Anteil erneuerbarer Energieträger) (2011–2050)	131
Tabelle 38: Durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz in Nordrhein-Westfalen abhängig von der Bewirtschaftungsform (erhöhter Substitutionsfaktor $SF_{MA} = 2,1 \text{ t C/t C}$ bei den Kombinationsszenarien) (2011–2100)	133
Tabelle 39: Durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz in Nordrhein-Westfalen abhängig von der Bewirtschaftungsform (erhöhter Substitutionsfaktor $SF_{MA} = 2,1 \text{ t C/t C}$ bei den Kombinationsszenarien) (2011–2050)	133
Tabelle 40: Durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz in Nordrhein-Westfalen abhängig von der Bewirtschaftungsform (Basisszenario der Kombinationsszenarien im Vergleich zu Kombinationsszenarien mit der Annahme, dass heute energetisch genutztes Rohholz oder Reststoffe zu 50 % zunächst stofflich verwertet werden) (2011–2050)	136
Tabelle 41: Durchschnittliche jährliche Klimaschutzleistung des Clusters ForstHolz in Nordrhein-Westfalen abhängig von der Bewirtschaftungsform (Basisszenario der Kombinationsszenarien im Vergleich zu Kombinationsszenarien mit einer 100 %igen energetischen Nutzung des Rohholzes) (2011–2100)	137
Tabelle 42: Endenergieverbrauch und $\text{CO}_2$ -Emissionen aus der Nutzung fossiler Energieträger im Cluster ForstHolz für 2009 (IT NRW 2011)	153
Tabelle 43: Endenergieverbrauch und $\text{CO}_2$ -Emissionen aus der Nutzung fossiler Energieträger im Cluster ForstHolz für 2009 (IT NRW 2011) – ergänzt um die $\text{CO}_2$ -Emissionen durch Biomasse (eigene Berechnung)	154
Tabelle 44: Gegenüberstellung von positiven Klimaschutzleistungen des Clusters ForstHolz und $\text{CO}_2$ -Emissionen und Darstellung des Verhältnisses von Minderung und Emission (* Umrechnung auf Basis von Leitmodell II)	156
Tabelle 45: Acht Untersuchungsbereiche für ein zukünftiges Monitoring	170

## 13. Anhang

### 13.1 Anhang zu Kapitel 4



Anhang 1: Darstellung der Stoffströme in Nordrhein-Westfalen (Landesforstverwaltung NRW 2003)

Produktklasse		Zersetzungskonstante (k) [Jahre <sup>-1</sup> ]	Halbwertszeit (t <sub>50</sub> ) [Jahre]	Mittlere Lebensdauer (t <sub>63</sub> ) [Jahre]	Lebensdauer (t <sub>95</sub> ) [Jahre]	Hauptprodukte
Produkte mit	langer Lebensdauer	0,02	35	50	150	Bauholz
	mittlerer Lebensdauer	0,039	18	25	77	Holzwerkstoffe wie Span- und Tischlerplatten, Furniere und Vollholzmöbel
	kurzer Lebensdauer	0,32	2	3	9	Papier, Pappe, Kartonagen
Energieholz		0,7	1	1	4	Brennholz, Pellets

Anhang 2: Aufstellung der Produktklassen mit den entsprechenden Zersetzungskonstanten (k), Lebensdauern (t<sub>50</sub> = Halbwertszeit, t<sub>63</sub> = mittlere Lebensdauer, t<sub>95</sub> = Lebensdauer) und Hauptprodukten (Wirth et al. 2004, Pistorius 2007) (entnommen Würdehoff et al. 2011: 33)

## 13.2 Anhang zu Kapitel 5.1

### Darrdichte

Baumart	Mittelwert (g cm <sup>-3</sup> )	Spannweite		IPCC – GPG (g cm <sup>-3</sup> )	Diff. IPCC – Mittelwert	
		(g cm <sup>-3</sup> )	in % des Mittelwertes		(g cm <sup>-3</sup> )	% von Mittelwert
Fichte ( <i>Picea abies</i> L.)	0,43	0,37–0,54	39,5	0,40	-0,03	-7,0
Pappel ( <i>Populus spec.</i> )	0,37	0,27–0,65	102,7	0,35	-0,02	-5,4
Douglasie ( <i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mir.) Franco)	0,47	0,36–0,63	57,4	0,45	-0,02	-4,3
Kiefer ( <i>Pinus sylvestris</i> L.)	0,49	0,30–0,86	114,3	0,42	-0,07	-14,3
Eiche ( <i>Quercus spec.</i> )	0,64	0,38–0,9	81,2	0,58	-0,06	-9,4
Buche ( <i>Fagus sylvatica</i> L.)	0,66	0,54–0,84	45,4	0,58	-0,08	-12,1

Anhang 3: Darrdichte der wichtigsten Holzarten, Mittelwert und Spannweite (nach Knigge und Schule 1966: 136, aus: Rock 2008: 114 f.)

### Chapter 4: Forest land

Table 4.5 (continued)							
Default biomass conversion and expansion factors (BCEF), tonnes biomass (m <sup>3</sup> of wood volume) <sup>-1</sup>							
BCEF for expansion of merchantable growing stock volume to above-ground biomass (BCEF <sub>S</sub> ), for conversion of net annual increment (BCEF <sub>I</sub> ) and for conversion of wood and fuelwood removal volume to above-ground biomass removal (BCEF <sub>R</sub> )							
Climatic zone	Forest type	BCEF	Growing stock level (m <sup>3</sup> )				
			<20	21-40	41-100	100-200	>200
Temperate	hardwoods	BCEF <sub>S</sub>	3.0 (0.8-4.5)	1.7 (0.8-2.6)	1.4 (0.7-1.9)	1.05 (0.6-1.4)	0.8 (0.55-1.1)
		BCEF <sub>I</sub>	1.5	1.3	0.9	0.6	0.48
		BCEF <sub>R</sub>	3.33	1.89	1.55	1.17	0.89
	pines	BCEF <sub>S</sub>	1.8 (0.6-2.4)	1.0 (0.65-1.5)	0.75 (0.6-1.0)	0.7 (0.4-1.0)	0.7 (0.4-1.0)
		BCEF <sub>I</sub>	1.5	0.75	0.6	0.67	0.69
		BCEF <sub>R</sub>	2.0	1.11	0.83	0.77	0.77
	other conifers	BCEF <sub>S</sub>	3.0 (0.7-4.0)	1.4 (0.5-2.5)	1.0 (0.5-1.4)	0.75 (0.4-1.2)	0.7 (0.35-0.9)
		BCEF <sub>I</sub>	1.0	0.83	0.57	0.53	0.60
		BCEF <sub>R</sub>	3.33	1.55	1.11	0.83	0.77

Anhang 4: Biomasse Konversions- und Expansionsfaktoren nach Table 4.5 aus den IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories von 2006, Chapter 4 (AFOLU)

Domain	Part of tree	Carbon fraction, (CF) [tonne C (tonne d.m.) <sup>-1</sup> ]	References
Default value	All	0.47	McGroddy <i>et al.</i> , 2004
Tropical and Subtropical	All	0.47 (0.44-0.49)	Andreae and Merlet, 2001; Chambers <i>et al.</i> , 2001; McGroddy <i>et al.</i> , 2004; Lasco and Pulhin, 2003
	wood	0.49	Feldpausch <i>et al.</i> , 2004
	wood, tree d <10 cm	0.46	Hughes <i>et al.</i> , 2000
	wood, tree d ≥10 cm	0.49	Hughes <i>et al.</i> , 2000
	foliage	0.47	Feldpausch <i>et al.</i> , 2004
	foliage, tree d <10 cm	0.43	Hughes <i>et al.</i> , 2000
	foliage, tree d ≥10 cm	0.46	Hughes <i>et al.</i> , 2000
Temperate and Boreal	All	0.47 (0.47-0.49)	Andreae and Merlet, 2001; Gayoso <i>et al.</i> , 2002; Matthews 1993; McGroddy <i>et al.</i> , 2004
	broad-leaved	0.48 (0.46-0.50)	Lamloom and Savidge, 2003
	conifers	0.51 (0.47-0.55)	Lamloom and Savidge, 2003

Anhang 5: Kohlenstoffanteile der oberirdischen Biomasse nach Table 4.3 aus den IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories von 2006, Chapter 4 (AFOLU)

	Vegetation type	Above-ground biomass (t/ha)	Mean	SD	lower range	upper range	References
Tropical/sub-tropical forest	Secondary tropical/sub-tropical forest	<125	0.42	0.22	0.14	0.83	5, 7, 13, 25, 28, 31, 48, 71
	Primary tropical/sub-tropical moist forest	NS	0.24	0.03	0.22	0.33	33, 57, 63, 67, 69
	Tropical/sub-tropical dry forest	NS	0.27	0.01	0.27	0.28	65
Conifer forest/plantation	Conifer forest/plantation	<50	0.46	0.21	0.21	1.06	2, 8, 43, 44, 54, 61, 75
	Conifer forest/plantation	50-150	0.32	0.08	0.24	0.50	6, 36, 54, 55, 58, 61
	Conifer forest/plantation	>150	0.23	0.09	0.12	0.49	1, 6, 20, 40, 53, 61, 67, 77, 79
Temperate broadleaf forest/plantation	Oak forest	>70	0.35	0.25	0.20	1.16	15, 60, 64, 67
	Eucalypt plantation	<50	0.45	0.15	0.29	0.81	9, 51, 59
	Eucalypt plantation	50-150	0.35	0.23	0.15	0.81	4, 9, 59, 66, 76
	Eucalypt forest/plantation	>150	0.20	0.08	0.10	0.33	4, 9, 16, 66
	Other broadleaf forest	<75	0.43	0.24	0.12	0.93	30, 45, 46, 62
	Other broadleaf forest	75-150	0.26	0.10	0.13	0.52	30, 36, 45, 46, 62, 77, 78, 81
	Other broadleaf forest	>150	0.24	0.05	0.17	0.30	3, 26, 30, 37, 67, 78, 81
Grasland	Steppe/tundra/prairie grasland	NS	3.95	2.97	1.92	10.51	50, 56, 70, 72
	Temperate/sub-tropical/tropical grasland	NS	1.58	1.02	0.59	3.11	22, 23, 32, 52
	Semi-arid grasland	NS	2.80	1.33	1.43	4.92	17-19, 34
Other	Woodland/savanna	NS	0.48	0.19	0.26	1.01	10-12, 21, 27, 49, 65, 73, 74
	Shrubland	NS	2.83	2.04	0.34	6.49	14, 29, 35, 38, 41, 42, 47, 67
	Tidal marsh	NS	1.04	0.21	0.74	1.23	24, 39, 68, 80

NS = Not specified

Anhang 6: Faktoren zur Schätzung der unterirdischen Biomasse aus der oberirdischen nach Table 3A.1.8 aus den IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories von 2003

Summe oberirdische Biomasse NRW	Massenoptimierer [Mio. t C a <sup>-1</sup> ]	Wertoptimierer [Mio. t C a <sup>-1</sup> ]	Speicheroptimierer [Mio. t C a <sup>-1</sup> ]	ohne Nutzung [Mio. t C a <sup>-1</sup> ]
Vorrat	110,5	130,2	175,6	215,6
ausscheidender Bestand	3,2	3,3	2,5	0,2
Bruttozuwachs	3,8	3,3	3,3	n.a.
Nettozuwachs	0,6	0,0	0,8	n.a.
Rohholz	2,8	2,7	1,5	0,2
Totholz	7,7	14,3	18,7	55,3

Anhang 7: Mittlere jährliche Entwicklung zwischen 2002 und 2100 der Grundscenarien

Summe oberirdische Biomasse NRW	BU [Mio. t C a <sup>-1</sup> ]	EI [Mio. t C a <sup>-1</sup> ]	KI [Mio. t C a <sup>-1</sup> ]	FI [Mio. t C a <sup>-1</sup> ]
Vorrat	151,1	92,4	48,6	132,2
ausscheidender Bestand	3,6	2,7	2,9	4,0
Bruttozuwachs	3,9	3,2	2,3	5,5
Nettozuwachs	0,2	0,5	-0,6	1,5
Rohholz	3,3	2,4	2,6	3,6
Totholz	8,3	7,0	6,6	10,1

Anhang 8: Mittlere jährliche Entwicklung zwischen 2002 und 2100 des Grundscenariums „Massenoptimierer“ nach Baumarten

Summe oberirdische Biomasse NRW	BU [Mio. t C a <sup>-1</sup> ]	EI [Mio. t C a <sup>-1</sup> ]	KI [Mio. t C a <sup>-1</sup> ]	FI [Mio. t C a <sup>-1</sup> ]
Vorrat	150,8	117,8	71,0	171,2
ausscheidender Bestand	3,9	2,7	2,3	4,4
Bruttozuwachs	3,8	3,1	2,3	4,4
Nettozuwachs	-0,1	0,4	0,1	0,0
Rohholz	3,1	2,1	1,8	3,5
Totholz	17,2	12,7	11,2	17,7

Anhang 9: Mittlere jährliche Entwicklung zwischen 2002 und 2100 des Grundscenariums „Wertoptimierer“ nach Baumarten



Summe oberirdische Biomasse NRW	BU [Mio. t C a <sup>-1</sup> ]	EI [Mio. t C a <sup>-1</sup> ]	KI [Mio. t C a <sup>-1</sup> ]	FI [Mio. t C a <sup>-1</sup> ]
Vorrat	195,4	139,4	98,5	244,9
ausscheidender Bestand	3,2	2,4	2,3	2,7
Bruttozuwachs	4,0	2,9	2,0	4,2
Nettozuwachs	0,8	0,5	-0,3	1,5
Rohholz	1,9	1,4	1,5	1,7
Totholz	26,6	21,8	17,3	17,2

Anhang 10: Mittlere jährliche Entwicklung zwischen 2002 und 2100 des Grundszenariums „Speicheroptimierer“ nach Baumarten

### 13.3 Anhang zu Kapitel 5.2

Jahr	Ziel THG-Emissionen NRW	Reduktion der THG-Emissionen in Bezug auf das Jahr 2010	veränderter Substitutionsfaktor SF <sub>EN</sub>
2010	314,0		0,67
2011	309,8	98,7 %	0,66
2012	305,6	97,3 %	0,65
2013	301,4	96,0 %	0,64
2014	297,2	94,6 %	0,63
2015	293	93,3 %	0,63
2016	288,8	92,0 %	0,62
2017	284,6	90,6 %	0,61
2018	280,4	89,3 %	0,60
2019	276,2	88,0 %	0,59
2020	272,0	86,6 %	0,58
2021	265,4	84,5 %	0,57
2022	258,7	82,4 %	0,55
2023	252,1	80,3 %	0,54
2024	245,5	78,2 %	0,52
2025	238,8	76,1 %	0,51
2026	232,2	73,9 %	0,50
2027	225,6	71,8 %	0,48
2028	218,9	69,7 %	0,47
2029	212,3	67,6 %	0,45

Jahr	Ziel THG-Emissionen NRW	Reduktion der THG- Emissionen in Bezug auf das Jahr 2010	veränderter Substitu- tionsfaktor SF <sub>EN</sub>
2030	205,7	65,5 %	0,44
2031	199,0	63,4 %	0,42
2032	192,4	61,3 %	0,41
2033	185,8	59,2 %	0,40
2034	179,1	57,0 %	0,38
2035	172,5	54,9 %	0,37
2036	165,9	52,8 %	0,35
2037	159,2	50,7 %	0,34
2038	152,6	48,6 %	0,33
2039	146,0	46,5 %	0,31
2040	139,3	44,4 %	0,30
2041	132,7	42,3 %	0,28
2042	126,1	40,1 %	0,27
2043	119,4	38,0 %	0,25
2044	112,8	35,9 %	0,24
2045	106,2	33,8 %	0,23
2046	99,5	31,7 %	0,21
2047	92,9	29,6 %	0,20
2048	86,3	27,5 %	0,18
2049	79,6	25,4 %	0,17
2050	73,0	23,2 %	0,16
2051	71,5	22,8 %	0,15
2052	70,1	22,3 %	0,15
2053	68,6	21,9 %	0,15
2054	67,2	21,4 %	0,14
2055	65,7	20,9 %	0,14
2056	64,2	20,5 %	0,14
2057	62,8	20,0 %	0,13
2058	61,3	19,5 %	0,13
2059	59,9	19,1 %	0,13
2060	58,4	18,6 %	0,12
2061	56,9	18,1 %	0,12
2062	55,5	17,7 %	0,12
2063	54,0	17,2 %	0,12
2064	52,6	16,7 %	0,11
2065	51,1	16,3 %	0,11

Jahr	Ziel THG-Emissionen NRW	Reduktion der THG- Emissionen in Bezug auf das Jahr 2010	veränderter Substitu- tionsfaktor SF <sub>EN</sub>
2066	49,6	15,8 %	0,11
2067	48,2	15,3 %	0,10
2068	46,7	14,9 %	0,10
2069	45,3	14,4 %	0,10
2070	43,8	13,9 %	0,09
2071	42,3	13,5 %	0,09
2072	40,9	13,0 %	0,09
2073	39,4	12,6 %	0,08
2074	38,0	12,1 %	0,08
2075	36,5	11,6 %	0,08
2076	35,0	11,2 %	0,07
2077	33,6	10,7 %	0,07
2078	32,1	10,2 %	0,07
2079	30,7	9,8 %	0,07
2080	29,2	9,3 %	0,06
2081	27,7	8,8 %	0,06
2082	26,3	8,4 %	0,06
2083	24,8	7,9 %	0,05
2084	23,4	7,4 %	0,05
2085	21,9	7,0 %	0,05
2086	20,4	6,5 %	0,04
2087	19,0	6,0 %	0,04
2088	17,5	5,6 %	0,04
2089	16,1	5,1 %	0,03
2090	14,6	4,6 %	0,03
2091	13,1	4,2 %	0,03
2092	11,7	3,7 %	0,02
2093	10,2	3,3 %	0,02
2094	8,8	2,8 %	0,02
2095	7,3	2,3 %	0,02
2096	5,8	1,9 %	0,01
2097	4,4	1,4 %	0,01
2098	2,9	0,9 %	0,01
2099	1,5	0,5 %	0,00
2100	0,0	0,0 %	0,00

# Impressum

## Herausgeber

Wald und Holz NRW  
Albrecht-Thaer-Straße 34  
48147 Münster  
Telefon: 0251 91797-0  
Telefax: 0251 91797-100  
E-Mail: [info@wald-und-holz.nrw.de](mailto:info@wald-und-holz.nrw.de)  
[www.wald-und-holz.nrw.de](http://www.wald-und-holz.nrw.de)

## Gestaltung

dot.blue – communication & design  
[www.dbcd.de](http://www.dbcd.de)  
Jutta Schlotthauer

## Bildnachweis

Titel: iStockphoto, Dwight Nadig  
Rückseite: Jan Preller, Wald und Holz NRW

## Herstellung

XPrint Medienproduktion, Aachen

## Stand

November 2012



## Die Langfassung der Studie

„Beitrag des NRW Clusters ForstHolz zum Klimaschutz“  
kann unter folgenden Links  
[www.umwelt.nrw.de](http://www.umwelt.nrw.de)  
[www.wald-und-holz-nrw.de](http://www.wald-und-holz-nrw.de)  
eingesehen und von dort abgerufen werden.







Wald und Holz NRW  
Albrecht-Thaer-Straße 34  
48147 Münster  
Telefon: 0251 91797-0  
Telefax: 0251 91797-100  
E-Mail: [info@wald-und-holz.nrw.de](mailto:info@wald-und-holz.nrw.de)  
[www.wald-und-holz.nrw.de](http://www.wald-und-holz.nrw.de)

