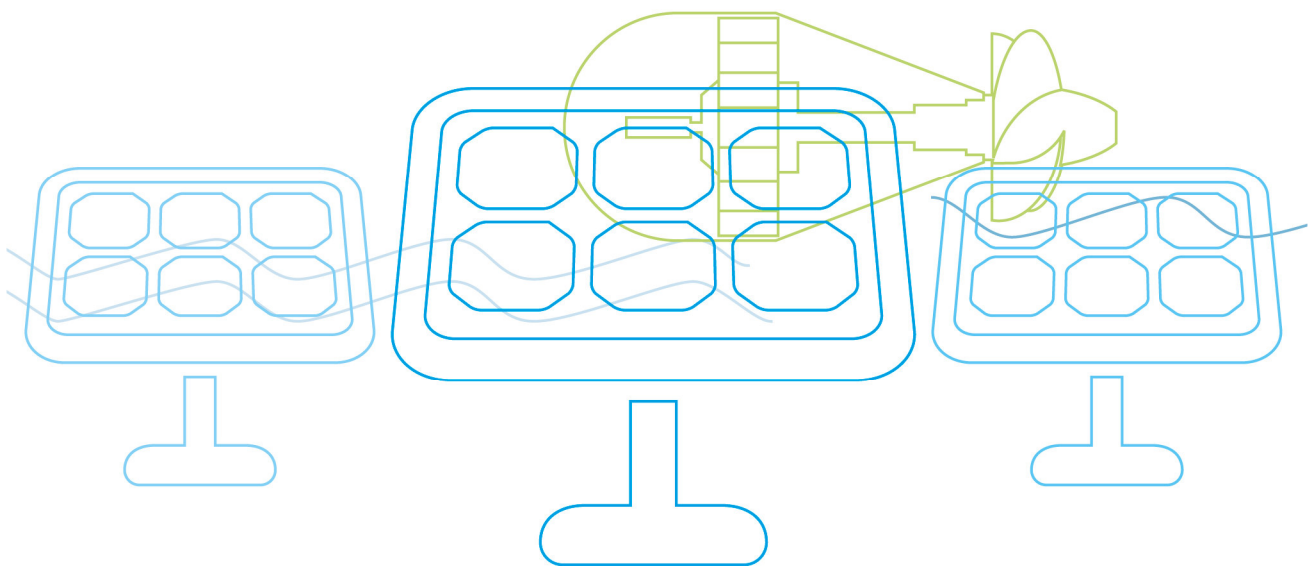




ProBio

Strategies to overcome new supply risks
and to ensure a reliable and sustainable
wood fuel supply for bioenergy
production



VORWORT

Die Publikationsreihe **BLUE GLOBE REPORT** macht die Kompetenz und Vielfalt, mit der die österreichische Industrie und Forschung für die Lösung der zentralen Zukunftsaufgaben arbeiten, sichtbar. Strategie des Klima- und Energiefonds ist, mit langfristig ausgerichteten Förderprogrammen gezielt Impulse zu setzen. Impulse, die heimischen Unternehmen und Institutionen im internationalen Wettbewerb eine ausgezeichnete Ausgangsposition verschaffen.

Jährlich stehen dem Klima- und Energiefonds bis zu 150 Mio. Euro für die Förderung von nachhaltigen Energie- und Verkehrsprojekten im Sinne des Klimaschutzes zur Verfügung. Mit diesem Geld unterstützt der Klima- und Energiefonds Ideen, Konzepte und Projekte in den Bereichen Forschung, Mobilität und Marktdurchdringung.

Mit dem **BLUE GLOBE REPORT** informiert der Klima- und Energiefonds über Projektergebnisse und unterstützt so die Anwendungen von Innovation in der Praxis. Neben technologischen Innovationen im Energie- und Verkehrsbereich werden gesellschaftliche Fragestellung und wissenschaftliche Grundlagen für politische Planungsprozesse präsentiert. Der **BLUE GLOBE REPORT** wird der interessierten Öffentlichkeit über die Homepage www.klimafonds.gv.at zugänglich gemacht und lädt zur kritischen Diskussion ein.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Neue Energien 2020“. Mit diesem Programm verfolgt der Klima- und Energiefonds das Ziel, durch Innovationen und technischen Fortschritt den Übergang zu einem nachhaltigen Energiesystem voranzutreiben.

Wer die nachhaltige Zukunft mitgestalten will, ist bei uns richtig: Der Klima- und Energiefonds fördert innovative Lösungen für die Zukunft!

A stylized, handwritten signature in black ink, consisting of several fluid, overlapping strokes.

Ingmar Höbarth
Geschäftsführer, Klima- und Energiefonds

A handwritten signature in black ink that reads 'Theresia Vogel' in a cursive script.

Theresia Vogel
Geschäftsführerin, Klima- und Energiefonds

NEUE ENERGIEN 2020

Publizierbarer Endbericht

Dipl.-Ing. Dr. Peter Rauch
DI(FH) Hermann Hahn
Univ. Prof. Dr. Manfred Gronalt

ProBio - Strategies to overcome new supply risks and to ensure a reliable and sustainable wood fuel supply for bioenergy production

Projektnummer 825357 Studie erstellt per 25/05/2012
3. Ausschreibung der Programmlinie Neue Energien 2020

Programmsteuerung:

Klima- und Energiefonds



Versorgungsrisiken

Programmmanagement:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG)



Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Strategische Analyse des Versorgungsnetzwerks Holzbiomasse	4
2.1	SWOT Analyse	4
2.2	SWOT Strategieentwicklung	7
3	Holistische Strategieevaluierung	11
3.1	Transdisziplinäre Strategieevaluierung mit Stakeholdern des Versorgungsnetzwerkes Holzbiomasse	11
	Auswertung der Stakeholder-Bewertungsbögen.....	11
	Multikriterielle Entscheidungsprobleme	12
	AHP-Methodik.....	12
	Konstruktion des hierarchischen Zielsystems	14
	Gewichtung der Bewertungskriterien	15
	Synthese der Gesamtpriorität	16
	Sensitivitäts- und Konsistenzanalyse	17
3.2	Ökonomische Evaluierung von Bereitstellungsstrategien	21
	Evaluierung der Strategie „Optimierung der Lieferkette“	21
	Evaluierung der Strategie „Kooperative Logistiklösung mit Mitbewerbern / Lieferanten“	26
3.3	System Dynamics Model zur Strategieevaluierung.....	30
	Dynamische, stochastische Simulation	30
	Simulationsmodell RiskHo	30
	Monte Carlo Simulation mit RiskHo.....	33
	Referenzszenarien	35
	Basisszenario	36
	Klimawandelszenario	37
3.4	Strategieevaluierung mit dem SD-Modell RisikHo	39
	Strategie „Verbesserte Holz Trocknung“.....	39
	Strategie „Industrieholzlager für Energiewirtschaft“	41
	Strategie „Kooperation mit forstlichen Zusammenschlüssen“	46
	Kombination der Strategien.....	49
4	Richtlinien zum Risikomanagement in der Versorgungskette Holzbiomasse.....	51
4.1	Diversifikation des Lieferantenportfolios.....	51
4.2	Zentraler Sicherheitsbestand	51
4.3	Trocknung des Brennstoffs	52
4.4	Optimierung der Lieferkette	53
4.5	Kooperative Logistiklösung mit Mitbewerbern / Lieferanten.....	54
4.6	Kooperation mit forstlichen Zusammenschlüssen	55
5	Ergebnisse und Schlussfolgerungen	56
	Ausblick und Empfehlungen.....	58
6	Literaturverzeichnis.....	59

1 Einleitung

Das Ökostromgesetz 2002 stimulierte erfolgreich den Neubau von Holzbiomasse-KWK-Anlagen und induzierte damit einen rasanten Anstieg der Energieholznachfrage. Die Deckung des Inlandbedarfes erweist sich, auch infolge einer geringen Holzmobilisierung im Inland, als schwieriger und kostspieliger als ursprünglich angenommen. Die derzeit noch verfügbaren Importmengen stammen fast ausschließlich aus Ländern, in denen mittlerweile auch die Nutzung von erneuerbaren Energieträgern gefördert wird. Außerdem besteht die direkte Rohstoffkonkurrenz mit der Zellstoff-, Papier- und Plattenindustrie und zukünftig werden innovative Produkte wie WPC oder BtL diese weiter verschärfen. Vom Klimawandel induzierte Effekte wie häufigere Stürme oder steigende Borkenkäferschäden werden nur kurzfristig und vordergründig die Rohstoffversorgung erleichtern. Insgesamt fehlen derzeit adäquate Strategien, um unter derart geänderten Rahmenbedingungen eine sichere Energieholzversorgung gewährleisten zu können.

Ziel des Projektes ist die Entwicklung innovativer Strategien zur Bewältigung der bestehenden und zu erwartenden Versorgungsschwierigkeiten, um die Wettbewerbsfähigkeit der energetischen Nutzung des erneuerbaren Energieträgers Holz zu erhöhen.

Zur Analyse des externen und internen Umfeldes dienten Portfolio-Analysen, Risikoanalysen sowie das Fünf-Kräfte-Modell von Porter. Die Strategieentwicklung erfolgte mittels Portfolio-Methode. Präventiv- und Coping-Strategien wurden entwickelt und beinhalten Supply Chain Strategien (z.B. Risk Splitting und kooperative Ressourcenallokation), Lagermodelle (VMI, zentrale Distribution, Risk Pooling), aber auch Rohstoffdiversifikation (Kurzumtrieb, Industrieholz, Grünschnitt). Die ganzheitliche Bewertung der neuen Strategien erfolgte anhand weicher und harter Kriterien durch die eingebundenen Stakeholder in einem standardisierten Entscheidungsprozess (Analytisch Hierarchischer Prozess; AHP). Die Stakeholder der gesamten Wertschöpfungskette (Forst, forstlicher Dienstleister, Spediteur und Energieversorger) waren über transdisziplinäre Workshops und Interviews involviert und brachten Praxiserfahrung und spezifisches Know-how ein. Die von den Stakeholdern am besten bewerteten Strategien wurden mit stochastischer Simulation (Monte Carlo Simulation) für eine Fülle von ökonomischen und ökologischen Zukunftsszenarien evaluiert und mit den Ergebnissen der aktuell implementierten verglichen. Die Partizipation der Stakeholder gewährleistet die Akzeptanz der erzielten Ergebnisse in der Praxis, ihre Praxistauglichkeit, sowie eine rasche Dissemination und Implementierung der entwickelten Strategien. Jene innovativen Strategien, die selbst unter schwierigen Bedingungen am besten zur Sicherung der Holzversorgung geeignet sind, wurden in einer Richtlinie zur Erhöhung der Versorgungssicherheit zusammengefasst, die wesentlich zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit der Produktion von Bioenergie beitragen kann.

2 Strategische Analyse des Versorgungsnetzwerks Holzbiomasse

Als Basis für die Strategieentwicklung werden die strategisch relevante interne und externe Versorgungsrisiken sowie Risikofolgen und treibende Marktkräfte bestimmt und die wesentlichen internen und externen Einflussfaktoren für das Bereitstellungsnetzwerk Holzbiomasse erhoben. Die Analysen basieren auf Literatur, Interviews mit Stakeholdern sowie den aktuellen Ergebnissen des Projektes RisikHo (818852).

2.1 SWOT Analyse

Die SWOT Analyse dient zur Bestimmung der internen Stärken und Schwächen einer Organisation sowie zur Aufdeckung der Chancen und Risiken, die die dynamische Umwelt in sich birgt. Vor allem in der strategischen Planung und in frühen Entscheidungsphasen ist die SWOT Analyse ein häufig verwendetes Planungswerkzeug (Bartol et Martin 1998). Trotz der Wichtigkeit der genauen Kenntnis der unternehmenseigenen Stärken und Schwächen sowie des dynamischen Kontexts haben viele Unternehmen oft nur vage Vorstellungen von diesen strategisch bedeutsamen Faktoren (Houben et al. 1999).

Zu Beginn der SWOT Analyse steht eine noch leere SWOT Aufstellung mit den vier Sektoren (Stärken, Schwächen, Chancen, Risiken). Die Fragen, die als Anhaltspunkte beim Ausfüllen der Sektoren dienen, sind in den jeweiligen Sektoren eingetragen (Tabelle 1).

Tabelle 1: Leere SWOT Aufstellung

Was sind die Stärken der aktuellen Energieholzbereitstellung? Was wird gut gemacht?	Was könnte man verbessern? Was sind aktuelle Probleme der Energieholzbereitstellung? Was sollte man vermeiden?
Stärken	Schwächen
Chancen	Risiken
Welche Trends gibt es, die Energieholzbereitstellung für Heiz(kraft)werke betreffen könnten? Welche Möglichkeiten eröffnen sich dadurch?	Wie entwickelt sich der Markt für die Rohstoffkonkurrenz? Welche Bereitstellungs-Hindernisse gibt es? Ändert sich der Kontext für die Energieholzbereitstellung? Bedroht ein Technologiewechsel die Versorgung? Gibt es finanzielle Probleme?

Die Eintragung entsprechender Punkte erfolgt zunächst brainstorm-artig. Aus den vielen angeführten Argumenten erfolgen eine Zusammenfassung ähnlicher Punkte

und die Reihung der Argumente beginnend mit dem wichtigsten in absteigender Reihenfolge.

Die SWOT Analyse wird unter Berücksichtigung der eigenen Forschungsergebnisse) sowie der Literatur, aber auch unter besonderer Einbeziehung der Interviews mit Stakeholdern des Versorgungsnetzwerkes Holzbiomasse, durchgeführt. Das Ergebnis dieser Vorgangsweise spiegeln Tabelle 2 und Tabelle 3 wieder, wobei das Anführen sowie die Reihung der einzelnen Argumente subjektiv geprägt sind.

Tabelle 2: Stärken und Schwächen der Energieholzbereitstellung

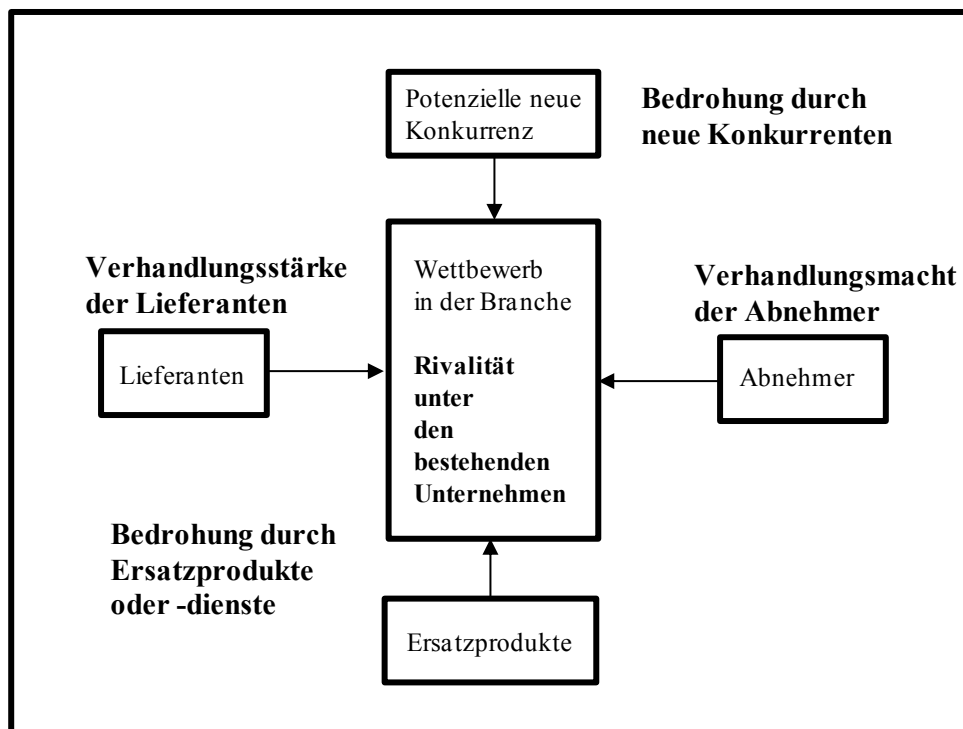
Stärken	Schwächen
<ol style="list-style-type: none"> 1. Forstliche Kompetenz in der Bereitstellung von Waldhackgut und Energieholz 2. kurze Transportdistanzen in der Bereitstellung des Brennstoffes für Heizwerke 3. Erhöhbarekeit des Heizwertes durch adäquate Lagerung 4. Forschungskompetenz im Bereich Logistik 5. Holzreserven im Kleinwald 6. Potentiale im Bereich Grünschnitt, Kurzumtriebsflächen 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Abhängigkeit von Sägerundholzernte in der Endnutzung 2. Hoher Bereitstellungsaufwand bei Kleinmengen 3. Regionale Nachfragekonzentration (v.a. Ostösterreich, Donauraum) 4. kurzfristige Lieferunterbrechungen infolge technischer Gebrechen oder ungünstiger Witterung 5. Kalamitätsbedingte Versorgungsschwankungen 6. Saisonale Schwankungen in der Brennstoffqualität 7. Geringe Maschinenauslastung in der Bereitstellung von Holz 8. Teurer Langstreckentransport von Holzbiomasse, wegen geringer Dichte bzw. niedrigem Heizwert 9. Mangelnde Infrastruktur für intermodalen Transport (fehlende Zug- bzw. Schiffsanbindung von KWK-Anlagen) 10. Zu wenige ganzjährig verfügbare Lagerflächen/Terminals für Holzbiomasse in A

Tabelle 3: Chancen und Risiken für die Energieholzbereitstellung

Chancen	Risiken
<ol style="list-style-type: none"> 1. Trend zur Nutzung nachhaltiger Energiequellen 2. Umfangreiche Fördermöglichkeiten für die Erzeugung von Bioenergie 3. Gutes Image von Holz als nachwachsender Rohstoff 4. Importpotentiale für Industriepellets 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Holzverknappung am Markt (Nachfrage nach Rundholz übersteigt das derzeitige Inlandsaufkommen bei weitem) 2. Neue Rohstoffkonkurrenz durch Marktreife innovativer Produkte (WPC) 3. Negative Auswirkungen des Klimawandel auf den Wald 4. Akuter Arbeitskräftemangel in der Holzernte 5. Abnahme der Importpotentiale 6. Großflächige Außernutzungsstellung von Wald 7. Langwierige Genehmigungsverfahren für Lagerflächen von Holzbiomasse

Das 5 Kräfte Modells nach Porter geht von der Annahme aus, dass es innerhalb einer Branche eine, die Branche signifikant bestimmende und treibende Kraft gibt, wobei fünf wesentliche Treiber grundsätzlich identifiziert sind (Abbildung 1).

Abbildung 1 Branchenstrukturanalyse nach Porter (1999, S34)



Für den Rohstoffmarkt „Holzbiomasse“ stellt die derzeit schon starke Konkurrenz um den Rohstoff zwischen den Abnehmer, die in Zukunft wahrscheinlich noch zunehmen wird (Rauch et al. 2011), den wesentlichen Treiber dar.

2.2 SWOT Strategieentwicklung

Grundannahme der SWOT Analyse ist es, dass eine wirksame Strategie formuliert werden kann, die Stärken und Chancen maximiert sowie Schwächen und Gefahren minimiert (Kohlöffel 2000). Die Auflistung der externen und internen Erfolgsfaktoren weist systematisch den strategischen Handlungsbedarf auf und erleichtert die Entwicklung von Grundstrategien. Für die Strategieentwicklung wird die SWOT Aufstellung systematisch nach logischen SWOT-Kombinationen abgesucht, indem folgende Fragen gestellt werden (Lobriser et Ablanalp 1998):

- Welche Stärken passen zu welchen Chancen (SO-Kombinationen)?
- Welche Stärken passen zu welchen Gefahren (ST-Kombinationen)?
- Welche Schwächen passen zu welchen Chancen (WO-Kombinationen)?
- Welche Schwächen passen zu welchen Gefahren (WT-Kombinationen)?

Die Entwicklung von Strategieoptionen startet mit den gefundenen SWOT-Kombinationen, wobei grundsätzlich die vier folgenden Strategietypen zur Verfügung stehen:

- SO-Strategien: interne Stärken werden zur Realisierung externer Chancen genutzt (Idealfall),
- WO-Strategien: interne Schwächen werden ab oder fehlende Stärken aufgebaut, um externe Chancen wahrzunehmen,
- ST-Strategien: interne Stärken werden genutzt, um externe Gefahren zu reduzieren, sowie
- WT-Strategien: interne Schwächen abbauen und gleichzeitig externe Gefahren vermeiden (nur mehr Defensivstrategien möglich, worst case).

Für jede entwickelte Strategiealternative werden die dabei berücksichtigten SWOT-Kombinationen angeführt (z.B. S1/O3 für die unter Punkt 1 angeführte Stärke und die unter Punkt 3 angeführte Chance), damit wird das Ergebnis rational nachvollziehbar. Ziel der Strategieentwicklung ist es, mögliche, attraktive und realisierbare Strategien zu entwickeln. Die Ergebnisse der Strategieentwicklung sind in Tabelle 4 sowie in Tabelle 5 dargestellt. Nach der Strategieoption wird in Klammer auf jene Argumente verwiesen, die dabei berücksichtigt wurden. Die Kombination S1 etwa gibt an, dass es sich um eine Strength (S) handelt, die Ziffer 1 verweist auf die Nummer des angeführten Argumentes.

Tabelle 4: SWOT Matrix (Teil 1)

Unternehmensfaktoren \ Umweltfaktoren	Opportunities (Chancen)	Threats (Gefahren)
Strengths (Stärken) <ol style="list-style-type: none"> Forstliche Kompetenz in der Bereitstellung von Waldhackgut und Energieholz kurze Transportdistanzen in der Bereitstellung des Brennstoffes für Heizwerke Erhöhbarekeit des Heizwertes durch adäquate Lagerung Forschungskompetenz im Bereich Logistik Holzreserven im Kleinwald Potentiale im Bereich Grünschnitt, Kurzumtriebsflächen 	SO-Strategien <ol style="list-style-type: none"> Optimierung der Lieferkette (Einsparungen bei Transportkosten, Hackkosten, Logistikleitzentren.) – S4/C2 Kooperation mit forstlichen Zusammenschlüssen (Mobilisierung Kleinwald) bzw. mit großen Forstbetrieben – S1/S5/C2 	ST-Strategien <ol style="list-style-type: none"> Diversifikation des Lieferantenportfolios - S5/T1/T2/T5 Diversifikation der Lieferländer - S6/T1/T2/T5 Diversifikation des Brennstoffsortiments - S1/T1/T2/T5 Trocknung des Brennstoffes – S3/T1

Tabelle 5: SWOT Matrix (Teil 2)

Unternehmensfaktoren \ Umweltfaktoren	Opportunities (Chancen)	Threats (Gefahren)
Weaknesses (Schwächen) <ol style="list-style-type: none"> 1. Abhängigkeit von Sägerundholzernte in der Endnutzung 2. Hoher Bereitstellungsaufwand bei Kleinmengen 3. Regionale Nachfragekonzentration (v.a. Ostösterreich, Donauraum) 4. kurzfristige Lieferunterbrechungen 5. Kalamitätsbedingte Versorgungsschwankungen 6. Saisonale Schwankungen in der Brennstoffqualität 7. Geringe Maschinenauslastung in der Bereitstellung von Holz 8. Teurer Langstreckentransport von Holzbiomasse 9. Mangelnde Infrastruktur für intermodalen Transport 10. Zu wenige ganzjährig verfügbare Lagerflächen/Terminals für Holzbiomasse in A 	WO-Strategien <ol style="list-style-type: none"> a) ? 	WT-Strategien <ol style="list-style-type: none"> a) zentraler Sicherheitsbestand – W4/W5/T1/T2 b) dezentrale Sicherheitsbestände – W4/W5/T1/T2 c) Erhöhung der maximalen Lagerkapazitäten im Werk – W4/W5/T1/T2 d) kooperative Lagerdisposition (von gemeinsam vorgehaltenen zentralem Sicherheitsbestand bzw. dezentralen Sicherheitsbeständen W4/W5/T1 e) Aufbau einer Holz-Einkaufsgenossenschaft für die Energiewirtschaft – W2/W3/T1

Das entwickelte Strategieportfolio beinhaltet folgende Strategiekategorien:

Beschaffungsstrategien

1. Diversifikation des Lieferantenportfolios (neue Lieferanten)
2. Diversifikation der Lieferländer (neue Importländer)
3. Diversifikation des Brennstoffsortiments (z.B. Forcierung von Grünschnitt, Faserholz; Industriepellets)

Lagerhaltungsstrategien

1. zentraler Sicherheitsbestand
2. dezentrale Sicherheitsbestände
3. Erhöhung der maximalen Lagerkapazitäten im Werk

Qualitätssicherungssysteme

1. Trocknung des Brennstoffes (natürlich, künstlich; ungehackt, gehackt)

Kooperation

1. Optimierung der Lieferkette (Einsparungen bei Transportkosten, Hackkosten, . Logistikleitzentren.)
2. kooperative Logistiklösungen mit Mitbewerbern/Lieferanten (Ganzzüge, um Importe kostengünstig zu gestalten)
3. Aufbau einer Holz-Einkaufsgenossenschaft für die Energiewirtschaft (vergleichbar zur Papierholz Austria (PHA) in der Papierindustrie)
4. Kooperation mit forstlichen Zusammenschlüssen (Mobilisierung Kleinwald) bzw. mit großen Forstbetrieben
5. kooperative Lagerdisposition (von gemeinsam vorgehaltenen zentralem Sicherheitsbestand bzw. dezentralen Sicherheitsbeständen)

3 Holistische Strategieevaluierung

3.1 Transdisziplinäre Strategieevaluierung mit Stakeholdern des Versorgungsnetzwerkes Holzbiomasse

Auswertung der Stakeholder-Bewertungsbögen

Im Rahmen eines Workshops mit 36 etablierten Vertretern (Stakeholdern; siehe Tabelle 6) der gesamten Wertschöpfungskette „Holz“ wurden die Versorgungsrisiken im Versorgungsnetzwerk „Holzbiomasse“ diskutiert. 13 im Projekt vorab entwickelte Strategien wurden vorgestellt und diskutiert, 3 weitere Strategien konnten im Rahmen des Workshops erarbeitet werden. Im Anschluss wurden alle 16 Strategien (Tabelle 7) durch alle Teilnehmer einer individuellen Bewertung hinsichtlich vorgegebener Kriterien mittels Fragebogen unterzogen. Die so erhaltenen Einzelbewertungen wurden mittels dem Analytischen Hierarchieprozess systematisch ausgewertet, um ein robustes Portfolio von sechs praxistauglichen Strategien zu entwickeln, welche geeignet sind, die Versorgungssicherheit im Versorgungsnetzwerk „Holzbiomasse“ zu erhöhen, und somit die Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit der Produktion von Bioenergie zu forcieren.

Tabelle 6 – TeilnehmerInnen des Workshops als Stakeholder der Lieferkette Holzbiomasse

<i>Stakeholder-Gruppe</i>	<i>Anzahl Personen</i>
Forst (<i>forstliche Dienstleister, Holzhandel, etc.</i>)	8
Energieversorgungsunternehmen	9
Holzbasierte Industrie (<i>Säge, Platte, Papier, Faser, etc.</i>)	12
Sonstige (<i>Forschung, Interessensvertretung, etc.</i>)	7

Tabelle 7 – Evaluierte Strategieoptionen

<i>Nr.</i>	<i>Beschreibung</i>
1	Diversifikation des Lieferantenportfolios (neue Lieferanten)
2	Diversifikation der Lieferländer (neue Importländer)
3	Diversifikation des Brennstoffsortiments (z.B. Forcierung von Grünschnitt, Faserholz; Industriepellets)
4	Zentraler Sicherheitsbestand
5	Dezentraler Sicherheitsbestand
6	Erhöhung der maximalen Lagerkapazität im Werk
7	Trocknung des Brennstoffs (natürlich / künstlich; ungehackt / gehackt)
8	Optimierung der Lieferkette (Einsparungen bei Transportkosten, Hackkosten, etc.)
9	Kooperative Logistiklösung mit Mitbewerbern / Lieferanten (z.B. Ganzzüge, um Importe kostengünstig zu gestalten)
10	Aufbau einer Holz-Einkaufsgenossenschaft für die Energiewirtschaft (vergleichbar zur Papierholz Austria (PHA) in der Papierindustrie)
11	Kooperation mit forstlichen Zusammenschlüssen (Mobilisierung Kleinwald) bzw. mit großen Forstbetrieben
12	Kooperative Lagerdisposition (von gemeinsam vorgehaltenen zentralem Sicherheitsbestand bzw. dezentralen Sicherheitsbeständen)
13	Effizienzsteigerung
14	Vertikale Integration
15	Ausweitung ökonomisch tauglicher Sortimente für den Höchstarif
16	Standardisierung Übernahmepreis, Langfristverträge mit Index

Multikriterielle Entscheidungsprobleme

Das Versorgungsnetzwerk „Holzbiomasse“ ist charakterisiert durch multiple Akteure aus verschiedensten Sektoren mit teilweise stark divergierenden Interessen und Zielsetzungen (vgl. Rauch et al. 2011). Gleichzeitig lässt sich eine Fülle von unterschiedlichsten Strategien zur Erhöhung der Versorgungssicherheit im Versorgungsnetzwerk benennen, jede Strategie ihrerseits gekennzeichnet durch bestimmte Stärken und Schwächen gegenüber den vorhandenen Alternativen. Das Treffen einer Auswahl in solch einem komplexen Umfeld muss dabei die politischen, ökonomischen, ökologischen und sozialen Dimensionen der vorhandenen Alternativen gegeneinander abwägen (Ananda und Herath 2009). Die Auswahl eines Portfolios der besten, d.h. der praxistauglichsten, der alternativen Strategien unter gleichzeitiger Berücksichtigung der verschiedenen Interessen und Zielsetzungen unterschiedlichster Akteursgruppen im Versorgungsnetzwerk begründet dabei ein multikriterielles Entscheidungsproblem (Schneeweiß 1991; Belton und Stewart 2002).

Ein direkter, intuitiver Zugang zur Bewältigung eines multikriteriellen Entscheidungsproblems liegt dabei in der Gesamtbewertung der individuellen Präferenzen der Einzelakteure. Dabei bilden Entscheidungsträger aus einer Fülle von Alternativen eine Rangordnung und priorisieren die besten Alternativen entsprechend deren individuellen Präferenzen. Um eine Rangordnung erstellen zu können, sind multiple, repräsentative Kriterien zu definieren, welche für eine gegebene Problemkonstellation von Relevanz sind und einen unmittelbaren Vergleich der vorhandenen Alternativen erlauben. Um die gegebenen Alternativen in eine Rangordnung zu bringen, wird jede Alternative hinsichtlich aller zur Auswahl stehenden Kriterien einer Bewertung unterzogen (vgl. Kangas und Kangas 2005).

AHP-Methodik

Einen wissenschaftlich fundierten Zugang zum Umgang mit multikriteriellen Entscheidungsproblemen liefert der *Analytische Hierarchieprozess* (AHP) (Saaty 1977, 1990). Der AHP ist eine mathematische Methode und basiert auf der Gewichtung von Entscheidungskriterien mittels paarweisen Vergleichs aller Entscheidungskriterien für alle vorhandenen Alternativen in einem Entscheidungsproblem, der sog. Eigenwertmethode. Mittels der additiven Nutzenfunktion wird dabei der Gesamtnutzen einer Alternative aus der Summe der Produkte des Gewichts eines Entscheidungskriteriums und des entsprechenden Eigenvektors der Alternative gebildet. Eine umfassend Einführung in die mathematischen Grundlagen des AHP geben u.a. Schneeweiß (1991) und Meixner und Haas (2009). Der paarweise Vergleich folgt in der originären Version einer 9-stufigen Ratio-Skala (sog. Saaty-Skala in der Form „besser als“, „gleich gut wie“, „schlechter als“) zum Vergleich qualitativer Merkmale (z.B. Ästhetik), erlaubt aber auch die direkte Gewichtung quantitativer Ausprägungen von Kriterien (z.B. Kosten in Geldeinheiten, Schulnoten-Skalen, etc.).

In der praktischen Anwendung gelangen AHP-basierte Ansätze in unterschiedlichsten Disziplinen zum Einsatz, insbesondere dann, wenn multikriterielle Entscheidungsprobleme vorliegen (Vaidya und Kumar 2006). Die Fülle an Anwendungsbereichen reicht dabei von konkreten ingenieurs- und produktionstechnischen Fragestellungen (vgl. Chang et al. 2007) bis hin zu

komplexen, nur schwer zu beziffernden Managementaufgaben, wie z.B. im Bereich der natürlicher Ressourcen, aber auch insbesondere in den forstlichen Planung und Ressourcenallokation (Kangas 1992; Kangas und Kangas 2005). Gerade aber im Bereich öffentlicher Planung und Entscheidungsfindung, so auch bei forstwirtschaftlichen Fragestellungen, liegt das Hauptaugenmerk in der Anwendung der AHP-Methodik in der Miteinbeziehung unterschiedlichster Stakeholder-Präferenzen und Expertenmeinungen (Proctor 2005; Ananda und Herath 2003). So existieren heute eine Vielzahl von Erweiterungen der originären AHP-Methode und hybride Modelle (z.B. SWOT-AHP als Kombination aus SWOT-Analyse und gruppenbasierten AHP-Methodik) mit starkem Fokus auf die Synthese von Einzelpräferenzen hin zu Gruppenpräferenzen bis hin zur Findung einer gesamtoptimalen Entscheidung (Ho 2008; Kangas und Kangas 2005; Ananda und Herath 2009).

Wie durch den Namen bereits skizziert, ist die AHP-Methodik (i) „hierarchisch“, weil Kriterien, welche zur Lösung eines Problems herangezogen werden, stets in einer hierarchischen Zielstruktur modelliert werden, (ii) „analytisch“, weil die Methode das Vermögen besitzt, eine Problemkonstellation in all ihren Abhängigkeiten umfassend zu analysieren und zu bewerten, und bezeichnet (iii) einen „Prozess“, weil die konsequente Anwendung der AHP-Methodik einen prinzipiell immer gleich bleibenden prozessualen Ablauf vorgibt, wie Entscheidungen hierarchisch strukturiert und analysiert werden können (vgl. Meixner und Haas 2009).

Gerade die strukturierte, prozessuale Natur (Ho, 2008) der AHP-Methodik in Kombination mit heutigen leistungsstarken Computer-Systemen ermöglicht umfangreiche EDV-Unterstützung, was sich in einer Vielzahl von verfügbaren, standardisierten Softwarepaketen ausdrückt (vgl. Ossadnik und Lange 1999). Moderne Softwarepakete zur Entscheidungsunterstützung ermöglichen eine anwenderfreundliche Modellierung der Zielsysteme, bieten unkomplizierte Benutzerschnittstellen für eine Vielzahl von Entscheidern zur Gewichtung der Einzelkriterien pro Alternative, führen die z.T. rechenintensiven Syntheselgorithmen durch und bieten Werkzeuge zur Aufbereitung, Visualisierung und den Austausch der Daten und Ergebnisse (vgl. Meixner und Haas 2009). Für die vorliegende Auswertung wurde die Software MakeItRational® in Verbindung mit Excel® verwendet.

Folgende vier grundlegende Prozessschritte des AHP werden in der Literatur genannt (vgl. Ananda und Herath 2003; Ho, 2008; Meixner und Haas 2009):

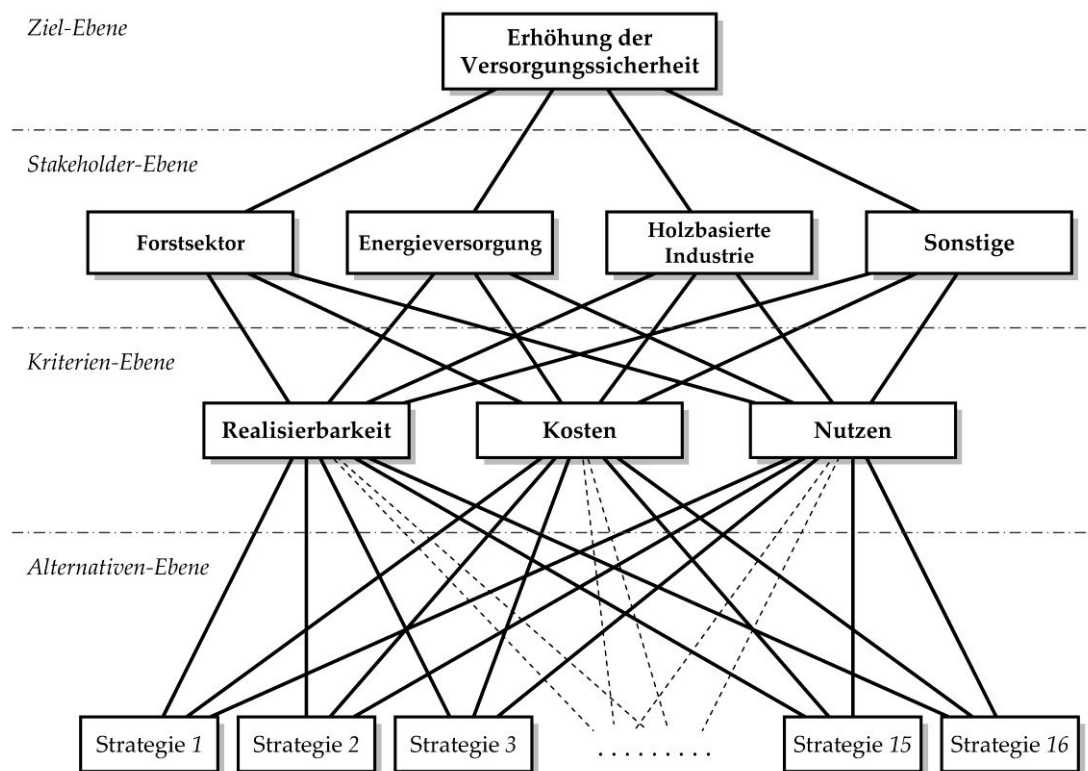
- Konstruktion des hierarchischen Zielsystems (inkl. der Bewertungskriterien),
- Gewichtung aller Bewertungskriterien je Alternative,
- Synthese bzw. Aggregation der Gewichtungen zu Gesamtprioritäten, und
- Sensitivitäts- und Konsistenzanalyse,

welche in nachstehenden Abschnitten unter der Zielsetzung der Erhöhung der Versorgungssicherheit im Versorgungsnetzwerk „Holzbiomasse“ diskutiert werden.

Konstruktion des hierarchischen Zielsystems

Gemäß der AHP-Methodik wird ein multikriterielles Entscheidungsproblem in seine wesentlichen Bestandteile zerlegt, welche in eine hierarchische Ordnung, das sog. Zielsystem, gebracht werden. Während der originäre AHP-Ansatz im Sinne einer Einzelentscheidung in der Regel von 3-stufigen Zielsystemen ausgeht (Schneeweiß 1991; Meixner und Haas 2009), wobei eine jede dieser drei Hauptebenen in mehrere Unterebenen gegliedert sein kann, bedingt die Integration von Stakeholder-Gruppen in den Entscheidungsprozess ein 4-Stufiges Zielsystem (Ananda und Herath 2003), wie in Abbildung 2 zusammengefasst.

Abbildung 2 - Hierarchisches Zielsystem zur Entscheidungsfindung im Versorgungsnetzwerk Holzbiomasse



Die oberste hierarchische Ebene (sog. Ziel-Ebene) des Zielsystems beinhaltet das eigentliche Entscheidungsziel, welches in gegenständlicher Auswertung als „Erhöhung der Versorgungssicherheit im Versorgungsnetzwerk Holzbiomasse“ definiert ist. Dieses Entscheidungsziel gilt es anhand des AHP zu optimieren, d.h., ein Portfolio der praxistauglichsten Strategien aus der Fülle an vorhandenen Strategien im Hinblick auf dieses übergeordnete Ziel zu finden. In der zweiten Ebene (sog. Stakeholder-Ebene) finden sich die Stakeholder-Gruppen, deren Präferenzen anhand eines Gruppenentscheids synthetisiert werden. Die Stakeholder wurden dabei entsprechend der vier identifizierten, schwerpunktmäßigen Herkunftsbranchen aller Teilnehmer des Workshops (siehe Tabelle 6) in die Gruppen (i) Forstsektor, (ii) Energieversorgung, (iii) Holzbasierte Industrie und (iv) Sonstige unterteilt (vgl. Proctor 2005; Margles et al. 2010). Die dritte hierarchische Ebene umfasst die eigentlichen Entscheidungskriterien (sog. Kriterien-Ebene). Um eine einfache, intuitive Bewertung durch die Workshop-

Teilnehmer zu ermöglichen, wurden lediglich drei Kriterien definiert: (i) Realisierbarkeit der Maßnahme, (ii) Kosten der Umsetzung und (iii) Nutzen (Wirksamkeit der Maßnahme). Während ersteres Kriterium die soziale, politische und ökologische Dimension einer Strategie umfasst, stellen die beiden anderen Kriterien auf die ökonomische Dimension (Wirtschaftlichkeit) einer Strategie ab. Auf der vierten und somit untersten hierarchischen Ebene im Zielsystem (sog. Alternativen-Ebene) befinden sich die 16 entwickelten und im Zuge des Workshops diskutierten Strategien (siehe Tabelle 7).

Gewichtung der Bewertungskriterien

Der zweite Prozessschritt der AHP-Methode liegt in der Gewichtung aller relevanten Elemente des Zielsystems. Während das Gewicht der Zielebene mit 100% vorgegeben ist, sind die Gewichtungen der darunter liegenden Ebenen Teil des Entscheidungsprozesses. Hinsichtlich der Gewichtung der Stakeholder-Gruppen lassen sich dabei zwei grundlegende Ansätze unterscheiden: (i) gleiche Gewichtung aller Stakeholder-Gruppen und (ii) ungleiche Gewichtung für verschiedene Stakeholder-Gruppen. Die erste Variante basiert auf breitem Konsens, indem jeder Gruppe dieselbe Bedeutung am Entscheidungsprozess beigemessen wird. Im Falle ungleicher Gewichtungen sind verschiedenste Möglichkeiten zur Bestimmung der Gewichte denkbar, beginnend bei autoritären Ansätzen, in denen eine auserwählte Autorität (z.B. Regierungsvertreter) bestimmt, welcher Gruppe welches Gewicht am Entscheidungsprozess beigemessen wird, oder aber die Gewichtungen von den einzelnen Gruppen selbst bestimmt werden (Ananda und Herath 2003). In vorliegender Auswertung wurde der Ansatz der gleichen Gewichtung für alle Stakeholder-Gruppen herangezogen, zumal es sich bei den Teilnehmern des Workshops primär um Experten und gleichrangige Akteure aus dem Versorgungsnetzwerk „Holzbiomasse“ handelte. Die Gewichtung der einzelnen Elemente der Kriterien-Ebene ist im originären AHP-Ansatz Aufgabe der/des Entscheider(s) und erfolgt durch individuelle, intuitive Bewertung. Zumal nur drei verschiedene Kriterien vorliegen, und diese darüber hinaus sehr breit gefasst sind, wurden die Kriterien hinsichtlich ihres Einflusses auf das Gesamtergebnis in einem ersten Schritt als gleichrangig klassifiziert, im Rahmen der Sensitivitätsanalyse (siehe weiter unten) aber systematischen Variationen hinsichtlich ihrer Gewichtungen unterworfen (vgl. Meixner und Haas 2009). Die Bewertung der Elemente der Alternativen-Ebene erfolgte als gesonderter Teil des Workshops. Nach der Vorstellung und Diskussion der einzelnen Strategien, erfolgte die Bewertung der 16 identifizierten Strategien durch die 36 Workshop-Teilnehmer, wobei jede Strategie hinsichtlich aller Kriterien durch alle Teilnehmer mittels standardisiertem Fragebogen unter Anwendung der vertrauten Schulnoten-Skala zu bewerten war (in Summe 48 Einzelbewertungen je Teilnehmer). Weiters wurde von jedem Teilnehmer eine individuelle, intuitive Priorisierung (Ranking) aller Strategien durchgeführt, was Rückschlüsse über die Plausibilität der Einzelbewertungen zuließ und einen wesentlichen Bestandteil der Konsistenzanalyse bildete (siehe weiter unten).

Synthese der Gesamtpriorität

Nachdem für alle Elemente im Zielsystem die Bewertungen vorliegen, werden die Prioritäten je Strategie algorithmisch mittels der Eigenvektormethode synthetisiert. Hierzu wurden die Einzelbewertungen der Fragebögen skaliert und entsprechend der jeweiligen Rolle des Teilnehmers einer bestimmten Stakeholder-Gruppe zugeordnet. Die Gesamtintegration der Gruppenprioritäten erfolgte durch Mittelwertbildung. Forman und Peniwati (1998) unterscheiden dabei zwei Typen von Gruppenentscheidungen: (i) Aggregation der Einzelbewertungen und (ii) Aggregation der Einzelprioritäten. Bei Ersterer muss dabei zwingend der geometrische, bei Zweiterer kann sowohl der arithmetische als auch der geometrische Mittelwert über die Einzeldaten gebildet werden. Im Rahmen vorliegender Auswertungen wurden dabei Synthesen für beide Varianten durchgeführt. Die Prioritäten der einzelnen Stakeholder-Gruppen nach Aggregation mittels arithmetischer Mittelwertbildung sind in Tabelle 8 bis Tabelle 11 angeführt. Die einfachste Variante der Gesamtdatensynthese mit gleich gewichteten Kriterien und Stakeholder-Gruppen ergibt eine unmittelbar ableitbare Rangordnung der Strategien hinsichtlich deren Gesamtnutzen zur Optimierung des Entscheidungszieles, wie auch Abbildung 3 dargestellt.

Tabelle 8 – Priorisierung der Stakeholder-Gruppe: Forst (*forstliche Dienstleister, Holzhandel, etc.*)

<i>Rang</i>	<i>Nr.</i>	<i>Beschreibung</i>
1	8	Optimierung der Lieferkette
2	1	Diversifikation des Lieferantenportfolios
3	7	Trocknung des Brennstoﬀs
4	6	Erhöhung der maximalen Lagerkapazität im Werk
5	4	Zentraler Sicherheitsbestand
6	11	Kooperation mit forstlichen Zusammenschlüssen (Mobilisierung Kleinwald)

Tabelle 9 – Priorisierung der Stakeholder-Gruppe: Energieversorgungsunternehmen

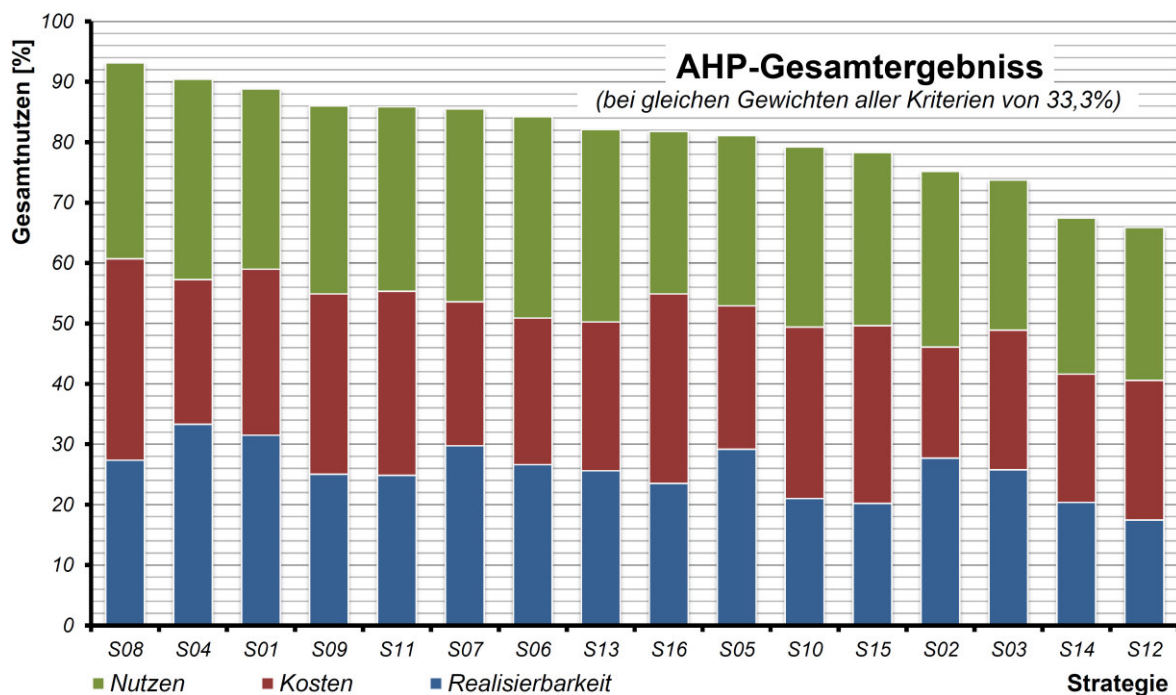
<i>Rang</i>	<i>Nr.</i>	<i>Beschreibung</i>
1	4	Zentraler Sicherheitsbestand
2	15	Ausweitung ökostromtauglicher Sortimente für den Höchstarif
3	6	Erhöhung der maximalen Lagerkapazität im Werk
4	9	Kooperative Logistklösung mit Mitbewerbern / Lieferanten
5	7	Trocknung des Brennstoﬀs
6	8	Optimierung der Lieferkette

Tabelle 10 – Priorisierung der Stakeholder-Gruppe: Holzbasierte Industrie (*Säge, Platte, Papier, Faser, etc.*)

<i>Rang</i>	<i>Nr.</i>	<i>Beschreibung</i>
1	4	Zentraler Sicherheitsbestand
2	13	Effizienzsteigerung
3	8	Optimierung der Lieferkette
4	1	Diversifikation des Lieferantenportfolios
5	11	Kooperation mit forstlichen Zusammenschlüssen (Mobilisierung Kleinwald)
6	7	Trocknung des Brennstoﬀs

Tabelle 11 – Priorisierung der Stakeholder-Gruppe: Sonstige (*Forschung, Interessenvertretung, etc.*)

Rang	Nr.	Beschreibung
1	8	Optimierung der Lieferkette
2	13	Effizienzsteigerung
3	10	Aufbau einer Holz-Einkaufsgenossenschaft für die Energiewirtschaft
4	11	Kooperation mit forstlichen Zusammenschlüssen (Mobilisierung Kleinwald)
5	1	Diversifikation des Lieferantenportfolios
6	4	Zentraler Sicherheitsbestand

Abbildung 3 – Priorisierung der Strategien bei gleicher Gewichtung der Kriterien und Stakeholder-Gruppen

Sensitivitäts- und Konsistenzanalyse

Einen finalen Schritt in der AHP-Methodik bildet die Sensitivitätsanalyse, welche die Robustheit bzw. Stabilität einer gewählten Alternative in Relation zu allen anderen Alternativen zu ermitteln hilft. Durch eine gezielte Variation der Gewichte der einzelnen Entscheidungskriterien relativ zueinander kann der Einfluss eines einzelnen Kriteriums auf das Gesamtergebnis (Gesamtnutzen der Alternativen) analysiert werden (vgl. Ananda und Herath 2003, Chang et al. 2007; Meixner und Haas 2009). Prinzipiell kann eine optimale Alternative als robust erachtet werden, wenn geringe bis mäßige Variationen der Gewichte der einzelnen Kriterien die Reihenfolge der Alternative nicht verändert.

In vorliegender Auswertung ist der Begriff der Robustheit weiter zu fassen, zumal ein Portfolio der sechs praxistauglichsten, also nützlichsten, Strategien ermittelt werden soll. Mit Hilfe der Sensitivitätsanalyse erfolgt dabei die Auswahl jener Strategien, die selbst bei geänderten Entscheidungsgewichten im Kreis der am besten bewerteten Strategieoptionen verbleiben (d.h., einen hohen Grad an Robustheit hinsichtlich dem Gesamtergebnis besitzen). Wie aus den einzelnen

Gruppen-Prioritäten in Tabelle 8 bis Tabelle 11 unmittelbar ersichtlich ist, bilden die fünf Strategien Nr. 1, 4, 7, 8 und 11 ein robustes Portfolio, zumal diese in der Mehrheit der Stakeholder-Gruppen unter den besten sechs Strategien zu finden sind (drei bzw. vier Nennungen). Lediglich die sechste zu ermittelnde Strategie ist nicht eindeutig zuzuordnen, zumal die Strategien Nr. 6, 9, 10, 13 und 15 mit lediglich ein bis zwei Nennungen in den Stakeholder-Gruppen zu finden sind. Mittels systematischer Variation der relativen Gewichte aller einzelnen Kriterien in einem gewählten Bereich von 20-60% (z.B. 60% Kosten, 20% Realisierbarkeit, 20% Nutzen), wie in den blauen Bereichen in Abbildung 4 bis Abbildung 6 dargestellt, kann die Strategie Nr. 9 als sechste robuste Strategie identifiziert werden, zumal diese gegenüber den anderen Strategieoptionen (außer den fünf unmittelbar robusten Strategien) in diesem definierten Bereich anteilmäßig öfters unter den sechs Favoriten vertreten ist. Somit lässt sich das Portfolio an robusten, praxistauglichen Strategien zu Erhöhung der Versorgungssicherheit im Versorgungsnetzwerk Holzbiomasse wie in Tabelle 12 zusammenfassen.

Im Rahmen der Konsistenzanalyse wird die Frage geklärt, inwieweit die einzelnen Bewertungen der Entscheider in sich logisch widerspruchsfrei sind. Bei der originären Bewertungsmethode des AHP, dem paarweisen Vergleich, erlaubt die Eigenwertmethode die Berechnung einer Konsistenzrate, welche eine quantitative Aussage über die Bewertungsqualität liefert. Bei der Methode der direkten Bewertung, wie im Rahmen dieser Auswertung angewandt, ist die unmittelbare Ableitung einer Konsistenzrate nicht möglich (vgl. Meixner und Haas 2009). Um dennoch eine Aussage über die logische Geschlossenheit der Einzelbewertungen treffen zu können, wurde daher im Rahmen des Workshops von jedem Teilnehmer (Entscheider) eine intuitive Priorisierung der Strategien vorgenommen (siehe weiter oben). Die aggregierte Gesamtauswertung dieser individuellen Priorisierungen ist Tabelle 13 zu entnehmen. Es zeigt sich, dass die vier Strategien Nr. 1, 4, 8 und 9 intuitiv durch die Teilnehmer, genau wie durch die Synthese mittels AHP, als beste Lösungen priorisiert wurden. Lediglich die Strategien Nr. 2 und 6 finden sich nicht im mittels AHP ermittelten Endresultat wieder, wobei Strategie Nr. 6 zumindest in zwei der vier Gruppenresultaten (siehe Tabelle 8 und Tabelle 9) genannt wurde. Insgesamt können die Einzelbewertungen somit jedenfalls als konsistent erachtet werden.

Tabelle 12 – Robuste Strategien zur Erhöhung der Versorgungssicherheit im Versorgungsnetzwerk Holzbiomasse (*Reihenfolge spiegelt nicht deren absolute Bedeutung wieder*)

Nr.	Beschreibung
1	Diversifikation des Lieferantenportfolios
4	Zentraler Sicherheitsbestand
7	Trocknung des Brennstoffs
8	Optimierung der Lieferkette
9	Kooperative Logistiklösung mit Mitbewerbern / Lieferanten
11	Kooperation mit forstlichen Zusammenschlüssen (Mobilisierung Kleinwald)

Tabelle 13 – Aggregierte Priorisierung der Stakeholder-Gruppen aus Fragebögen (Reihenfolge spiegelt nicht deren absolute Bedeutung wieder; unterstrichene Positionen sind auch in der Endauswertung enthalten)

Nr.	Beschreibung
1	<u>Diversifikation des Lieferantenportfolios</u>
2	Diversifikation der Lieferländer
4	<u>Zentraler Sicherheitsbestand</u>
6	Erhöhung der maximalen Lagerkapazität im Werk
8	<u>Optimierung der Lieferkette</u>
9	<u>Kooperative Logistiklösung mit Mitbewerbern / Lieferanten</u>

Abbildung 4 – Sensitivitätsanalyse für das Kriterium „Nutzen“

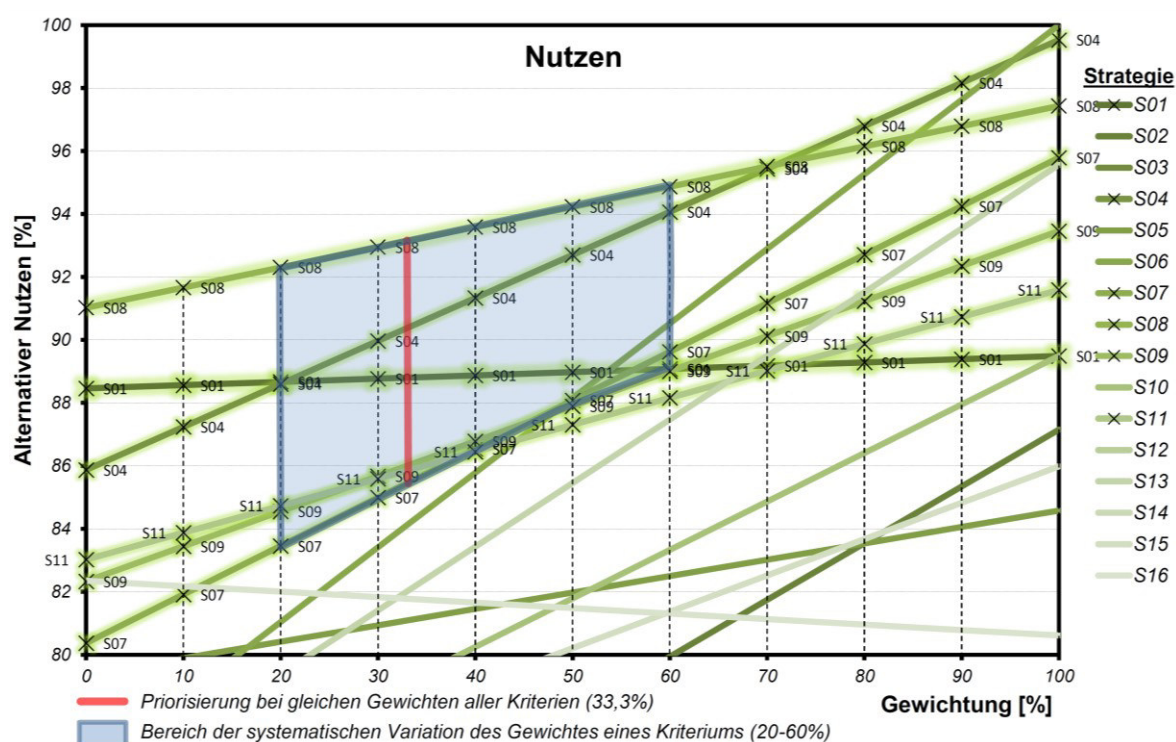


Abbildung 5 – Sensitivitätsanalyse für das Kriterium „Kosten“

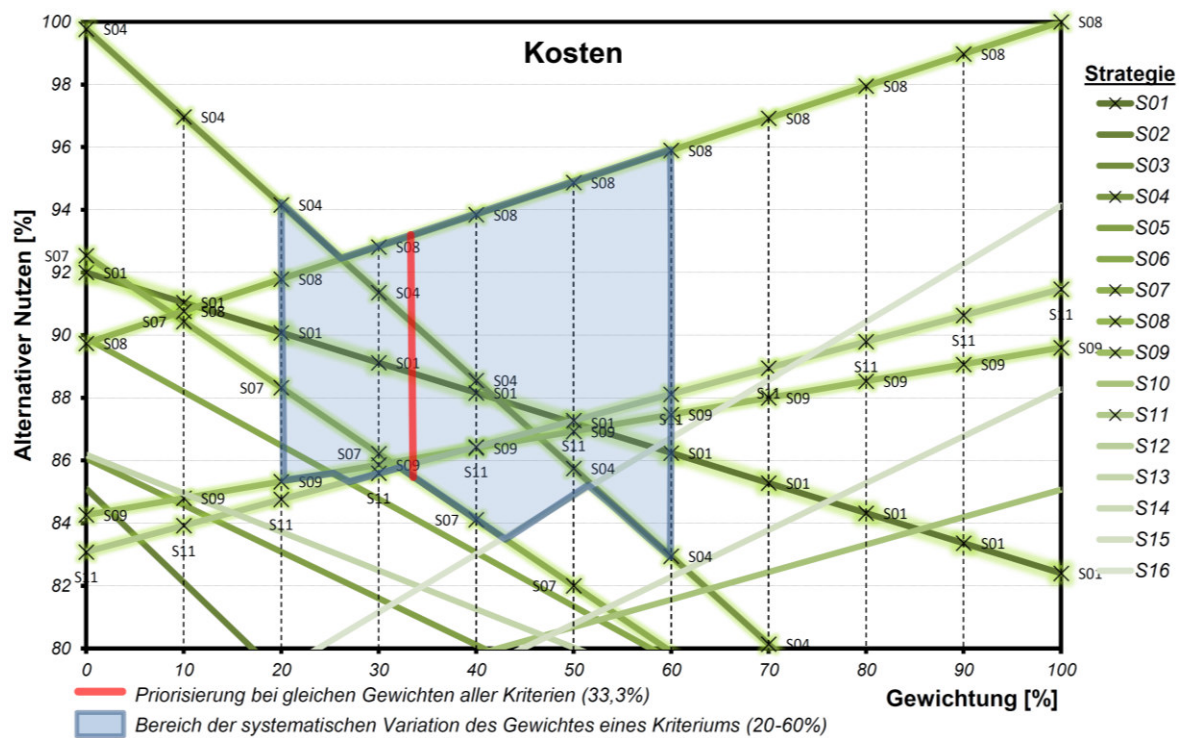
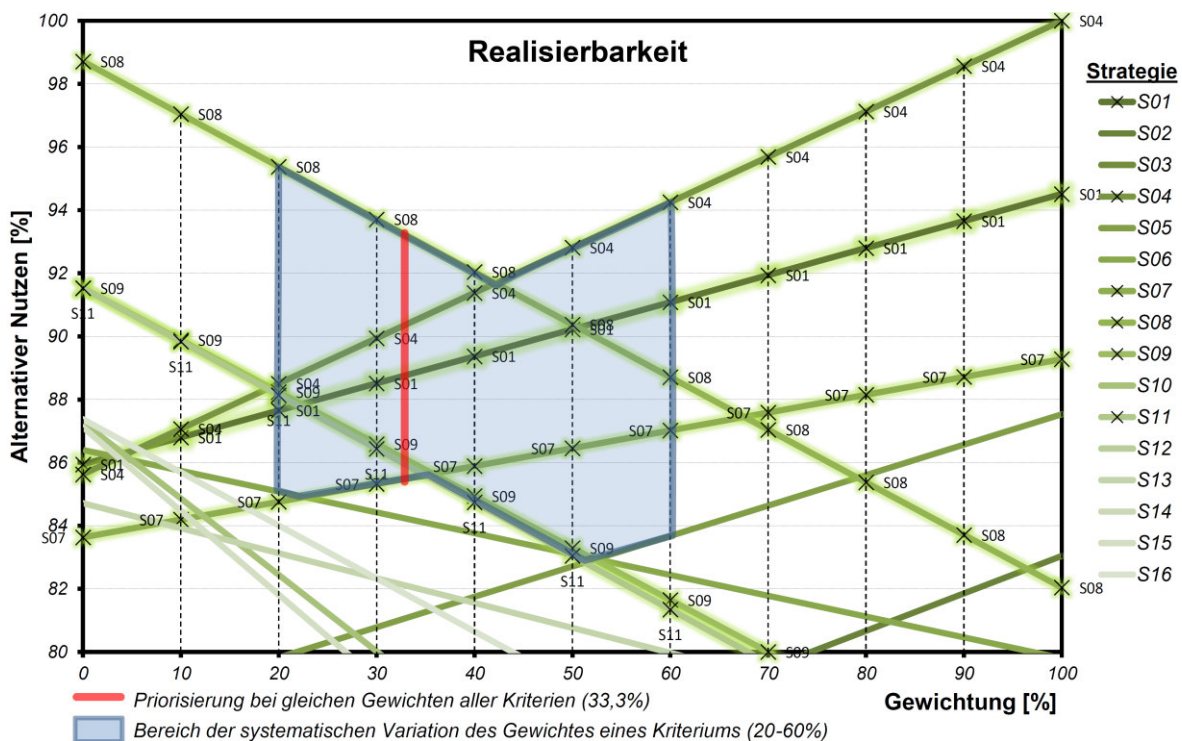


Abbildung 6 – Sensitivitätsanalyse für das Kriterium „Realisierbarkeit“



3.2 Ökonomische Evaluierung von Bereitstellungsstrategien

Die ökonomische Evaluierung von Bereitstellungsstrategien zielt insbesondere auf Strategien ab, deren Vorteile überwiegend auf der operativen Ebene schlagend werden und für die eine langfristige orientierte Evaluierung im SD Modell RisikHo aufgrund der aggregierte Struktur des Modells nicht zielführend ist. Deshalb werden mit diesem Ansatz die Strategien Nr. 8 – „Optimierung der Lieferkette“ und Nr. 9 – „Kooperative Logistiklösung mit Mitbewerbern / Lieferanten“ evaluiert.

Evaluierung der Strategie „Optimierung der Lieferkette“

Die ökonomische Evaluierung geschlossener bzw. nicht geschlossener Bereitstellungsketten bzw. der Kombination ebendieser erfolgt mittels Berechnung des Barwertes für die Bereitstellungskosten von Holzbiomasse für ein KWK mit einem Jahresbedarf von 80.000 Atrotonnen Waldhackgut.

In Österreich werden Waldschäden durch Borkenkäfer und Stürme jährlich seit 1944 aufgezeichnet, mit Ausnahme des Zeitraums von 1952 bis 1965, wo nur kumulierte Daten existieren (Tomiczek et al. 2008). Für beide Arten von Schäden sind entsprechende kumulative Verteilungsfunktionen bestimmt worden. Weil keine Daten für das Auftreten von kurzfristigen Unterversorgungsperioden aufgrund nicht ausreichender Befahrbarkeit der unbefestigten Forststraßen nach starkem Regen oder infolge Schneeschmelze vorliegen, wurde dies anhand von Expertenschätzungen bestimmt. Weitere kurzfristige Probleme in der Bereitstellung von Waldhackgut, wie etwa Störungen in der geschlossenen Kette von Hacker und LKWs (z.B. bei Stau) und die daraus folgenden Kostensteigerungen sind nicht berücksichtigt worden. Hier setzt u.a. die Optimierung der Tourenplanung für den Energieholztransport an, die mittels dynamischer Tabu Search mit alternierender Strategie gelöst wurde und bereits in der Praxis eingesetzt werden kann (Stampfer et. al 2011).

Die Beschaffungssituation und Waldhackgutpreise variieren je nach aktueller Marktsituation, daher werden drei idealtypische Marktsituationen kategorisiert: planmäßige Versorgung, wenn geplante Ernteaktivitäten stattfinden können; Überangebot nach massiven Sturmschäden und / oder massivem Borkenkäferschäden und plötzlich eintretende, kurzfristige Lieferengpässe nach Regenperioden oder starker Schneefall, die Forststraßen unpassierbar machen.

Die Rohstoffversorgung durch Forstunternehmer oder Forstbetriebe basiert entweder auf langfristige oder kurzfristige Lieferverträge. Langfristverträge umfassen Preise und Liefermengen, die für mehrere Jahre festgelegt sind und entsprechend einem vereinbarten Index angepasst werden. Langfristige Vertragspartner sichern die Grundversorgung des KWK und gewährleisten Planungssicherheit und Kapazitätsauslastung. Kurzfristlieferanten verhandeln gesondert Mengen und Preise für jede Lieferung bzw. Periode (monatlich oder vierteljährlich) und nutzen bei Unterversorgungssituationen die Möglichkeit höhere Preise zu erzielen, während sich in Zeiten des Überangebots die Situation umkehrt. Während einer Verknappungsperiode stellen Langfristlieferanten weniger Volumen bereit, so dass zusätzliche Mengen rasch bereitgestellt werden müssen.

Das Bereitstellungsmodell "Standard" beschreibt die grundlegende Versorgungsstrategie vieler österreichischer BHKWs (Biomasse-Heiz(kraft)werke), das auf Lang- und Kurzfristlieferanten fußt und kein eigenes Lager von Energieholz vorsieht. In geringem Umfang halten die Lieferanten natürlich Energieholz vor, wobei die ganzjährige Erreichbarkeit der Lagerplätze nicht immer gegeben ist. Das Modell "Sicherheitsbestand" erweitert dieses Bereitstellungssystem um die Lagerung von Energieholz in Form von Faserholz, das nach schweren Waldschäden gekauft wird, um während einer Verknappungssituation die Nachfrage aus dem eigenen Lager abzudecken. Darüber hinaus stärkt das eigene Lager die Verhandlungsposition, da bei unzureichender Versorgung der Bedarf zumindest teilweise durch das eigene Lager gedeckt werden kann und damit Preissteigerungen für kurzfristige Lieferungen begrenzt werden können. Die Strategie "Sicherheitsbestand" fasst die Optionen zentraler Sicherheitsbestand, dezentrale Sicherheitsbestände, Erhöhung der maximalen Lagerkapazitäten im Werk bzw. kooperative Lagerdisposition (von gemeinsam vorgehaltenen zentralem Sicherheitsbestand bzw. dezentralen Sicherheitsbeständen) für die ökonomische Evaluierung zusammen.

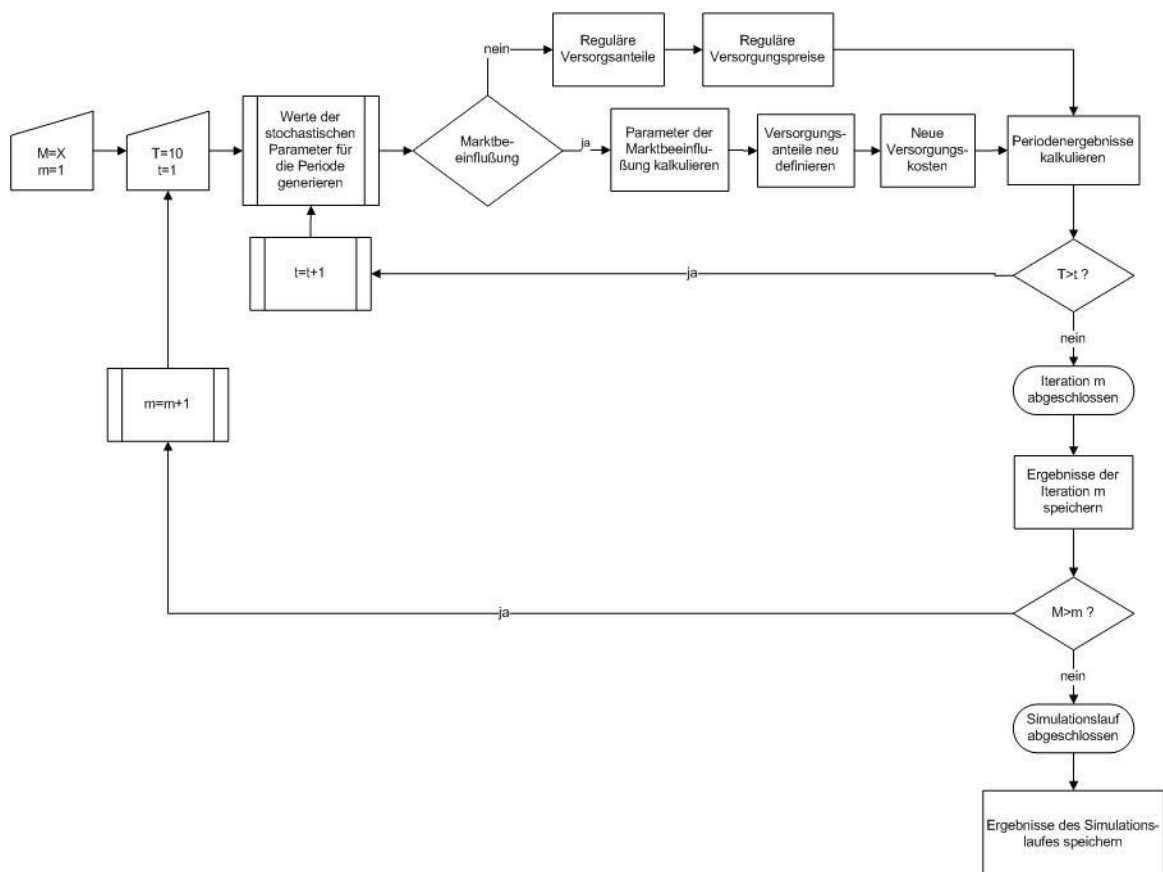
Der Barwert der gesamten Beschaffungskosten wird für einen strategisch relevanten Planungszeitraum von 10 Jahren unter Berücksichtigung von stochastischen Risiken bestimmt (Abbildung 7). Die stochastische Simulation ermöglicht die Einbeziehung von Unsicherheit in die Modellrechnungen, wobei v.a. die Monte Carlo Simulation ein leistungsfähiges Verfahren unter Verwendung von Verteilungen, die die Häufigkeit des Auftretens der möglichen Werte von stochastischen Parametern wiedergeben, darstellt. Außerordentlich hohe Schäden kommen zwar selten vor, haben aber den größten Einfluss auf die Versorgung der BHKWs. Daher wurde Latin Hypercube als Stichprobenverfahren gewählt, weil es sicherstellt, dass Ergebnisse mit geringer Wahrscheinlichkeit, aber großen Einfluss auf die resultierenden Werte entsprechend repräsentiert werden können (Hardaker et al. 2004).

Die Länge einer Simulationsperiode beträgt ein Jahr, da die entsprechenden Daten für Sturm- bzw. Borkenkäferschäden nur als aggregierte Jahresdaten vorliegen. Innerhalb einer Periode können kurzfristige Engpässe vor oder nach einer möglichen Einlagerung von Holzbiomasse auftreten. Zu Beginn einer Periode werden für Sturm- und Borkenkäfer-Schäden stochastische Werte gezogen, um die jährliche Schadholzsumme zu bestimmen. Danach werden die Auswirkungen der Borkenkäfer- und Sturmschäden Volumen der Periode auf die Faserholz Preis beurteilt. Wenn das Schadholzvolumen den marktrelevanten Schwellenwert übersteigt, führt das Überangebot an Faserholz zu einem niedrigeren Preis (vgl. Schwarzbauer 2007), und das Faserholz wird eingelagert. Basierend auf den Holzmarktdaten der vergangenen Jahre wurde der marktrelevanten Schwellenwert mit 4 Mio. m³ Schadholz festgelegt (Rauch et al. 2008).

Wenn kurzfristig eine Unterversorgungssituation auftritt, wird das gelagert Faserholz gehackt und damit das KWK versorgt, was zu einer Verringerung der kurzfristig benötigten Lieferungen führt. Lagerbewegungen erfolgen nach den generierten Marktbedingungen, sowie im Einklang mit dem tatsächlich verfügbaren Lagerbestand. Der Faserholzlagerstand kann sich daher bis zu zweimal pro Periode ändern. Danach werden die Lieferanteile berechnet und die aktuellen Preise definiert. In Lieferketten werden Engpässe in der Regel durch die Vorhaltung von

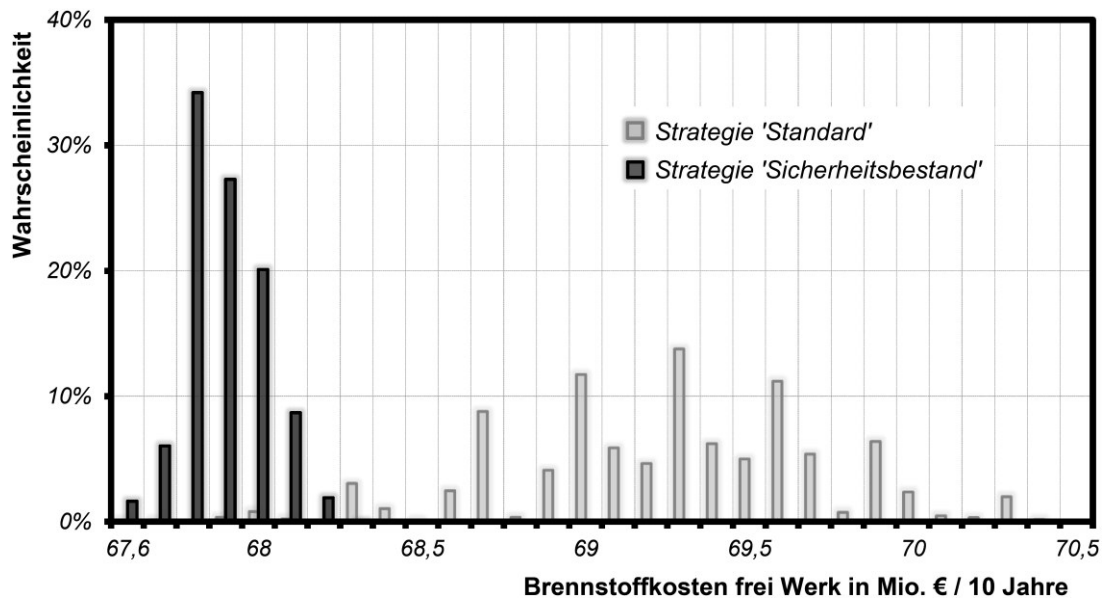
Lager gepuffert, was mit Lagerkosten verbunden ist. Die Lagerung von Faserholz bringt aber auch ökonomische Vorteile infolge der Heizwerterhöhung durch adäquate Lagerungsbedingungen. Wenn Faserholz fachgerecht über mehrere Monate oder sogar Jahre gelagert wird, erhöht sich der Heizwert durch Trocknung, aber gleichzeitig bewirkt der biologische Abbau des Holzes einen Verlust an Trockenmasse. Ein höherer Heizwert des Brennstoffs reduziert sowohl die Menge der anfallenden Asche und in Folge auch die Ascheentsorgungskosten. Die Trockenmasseverluste für Faserholz sind mit durchschnittlich 2% pro Jahr (Golser et al. 2005) angenommen worden. Für gelagertes Faserholz sind die Kosten für im Lager gebundenes Kapital, die Kosten für die Trockenmasseverluste und die verringerten Ascheentsorgungskosten berücksichtigt worden. Zusätzlich sind die Investitionskosten für die Errichtung und den Betrieb eines Holzterminals sowie Wartungskosten in den Berechnungen inkludiert worden.

Abbildung 7 Flowchart des Monte-Carlo-Simulationsmodells für eine Simulationsiteration bestehend aus 10 Perioden (T = Zeithorizont der strategischen Planung in Jahren, t = Periodenzähler)



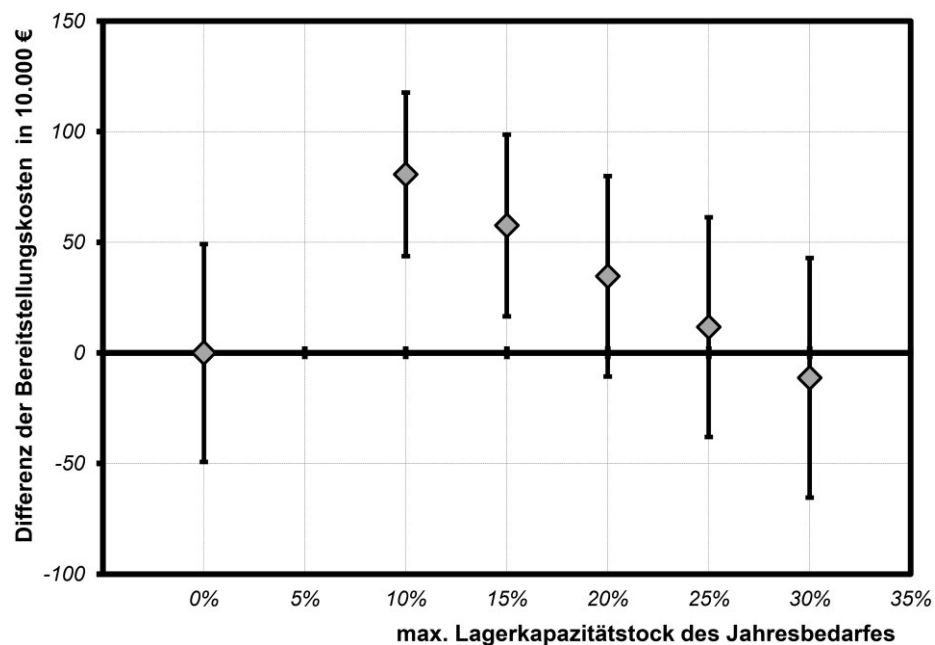
Die Strategieoption "Sicherheitsbestand" reduziert die gesamten Beschaffungskosten durchschnittlich um 1 bis 3% (Abbildung 8).

Abbildung 8 Häufigkeitsverteilung der Barwerte der Brennstoffkosten frei Werk für die Strategieoptionen „Standard“ und „Sicherheitsbestand“



Die Strategieoption „Sicherheitsbestand“ verringert das Versorgungsrisiko, das als Variation in der Verteilung möglicher Ergebnisse einer Supply Chain sowie ihrer Wahrscheinlichkeit definiert werden kann (Jüttner et al. 2003, p. 200), erheblich. Dies gilt für eine max. Lagerkapazität von bis 25% des jährlichen Brennstoffbedarfes. Nicht nur die gesamten Beschaffungskosten können gesenkt werden, sondern auch die Budgetierung ebendieser kann präziser eingehalten werden, da die beobachtete Standardabweichung für die Strategieoption „Sicherheitsbestand“ auf ein Viertel deren der Strategieoption „Standard“ reduziert werden kann (Abbildung 9).

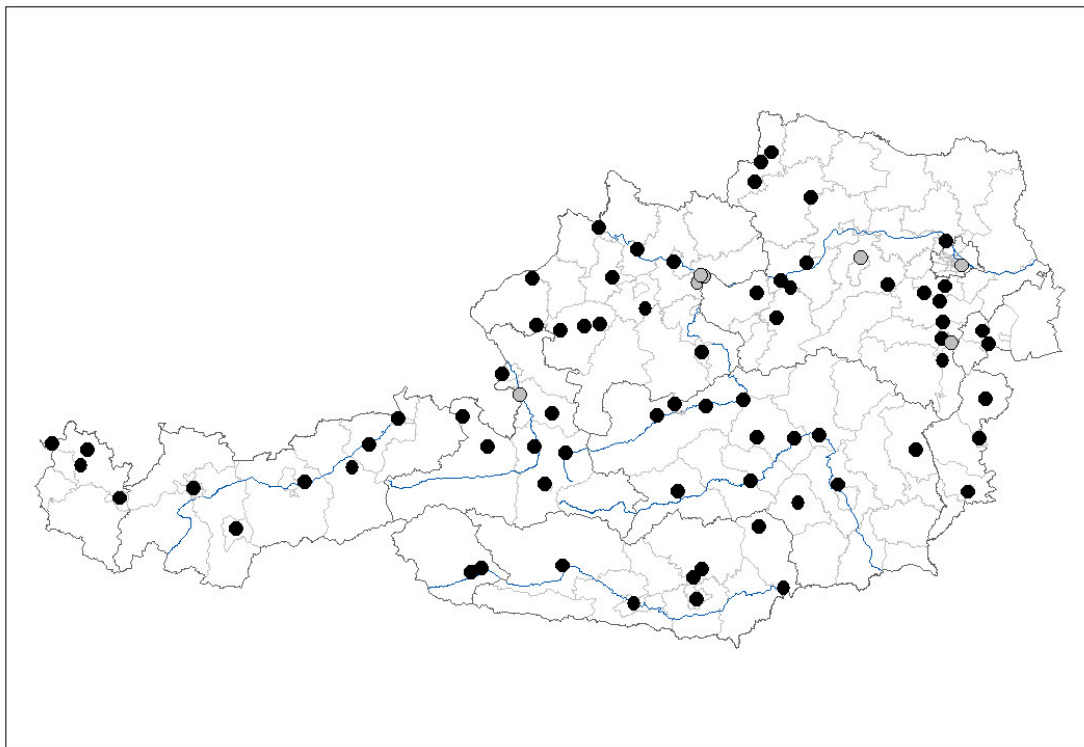
Abbildung 9 Differenz der Bereitstellungskosten zwischen den Strategieoptionen „Standard“ und „Sicherheitsbestand“ als arithmetisches Mittel und Standardabweichung für verschiedene max. Lagerkapazitäten (0% = kein Lager = „Standard“; 10 bis 30 % = Strategieoption „Sicherheitsbestand“ mit einer max. Lagerkapazität von 10 bis 30% des jährlichen Brennstoffbedarfes).



Evaluierung der Strategie „Kooperative Logistiklösung mit Mitbewerbern / Lieferanten“

Um das Einsparungspotential einer kooperativen Biomasseversorgung zu bestimmen, wurden die Transportkosten der Biomasseversorgung für nicht kooperierende KWK, die singulär die den Brennstoff beschaffen, sowie für kooperierende KWK kalkuliert. Die Differenz zwischen den Transportkosten bei singulärer Beschaffung und den minimalen Transportkosten, die sich ergeben, wenn die von den Kooperationspartner eingekauften Mengen kostenoptimal den einzelnen KWK zugeteilt werden, spiegelt das Einsparungspotential einer Kooperation, den monetären Kooperationsgewinn, wider. Um das konkrete Einsparungspotential einer Kooperation kalkulieren zu können, kooperieren 7 der größten KWK Österreichs (siehe Abbildung 10) in verschiedenen, fiktiven Varianten miteinander (vgl. Rauch 2010).

Abbildung 10: Übersicht der KWKs (angenommene potentielle Kooperationspartner in Grau)



Da die Daten zu den Lieferanten der Biomasse sowie die aktuellen Transportkosten von den Verantwortlichen als Betriebsgeheimnis erachtet werden, ist eine möglichst realitätsnahe Abschätzung der von den KWK in den einzelnen Regionen gekauften Holzbiomasse-Volumina erforderlich. In den Heuristiken erfolgt die Beschaffung der Holzbiomasse unter Berücksichtigung der verfügbaren Biomassepotentiale der 85 Bezirksforstinspektionen Österreichs sowie der Importepotentiale der direkt angrenzenden Nachbarstaaten (untergliedert in 9 Regionen) und unter Konkurrenz durch insgesamt 74 KWK.

Anhand dreier verschiedener Handlungsmaximen wird die singuläre Beschaffung unter Konkurrenz mittels Heuristiken simuliert. Als Nachbildung realer

Beschaffungssituationen werden dazu folgende Entscheidungslogiken verwendet: Kostenminimum der Gesamtkosten, Marktmacht und Attraktivität einer Region.

Bei der Heuristik „H1 – Kostenminimum der Gesamtkosten“ erfolgt die Zuteilung der Lieferung von den Beschaffungsregionen zu einem der 74 KWK entsprechend der Summe aus Transport- und Betriebskosten, beginnend mit der Beschaffungsregion-KWK Kombination mit der geringsten Summe. Die Heuristik H1 geht von der Annahme aus, daß bei der Versorgung eines KWK zuerst jeweils jene Regionen gewählt werden, die die geringsten Kosten verursachen. Die Einbeziehung der Betriebskosten ermöglicht die Berücksichtigung der Kostenvorteile infolge von Skaleneffekten (economies of scale) für KWK mit hohem Biomassebedarf. Die jeweiligen Betriebskosten sind entsprechend der Betriebsgröße und Technologie gemäß den Kalkulationen von Caputo et al. (2005) angesetzt worden. Zuerst wird in der Rechenlogik die Beschaffungsregion-KWK Kombination mit der niedrigsten Summe aus Transport- und Betriebskosten aus der Matrix ausgewählt. Die Matrix führt in den Zeilen die KWK und in den Spalten die Beschaffungsregionen. Wenn der Bedarf des ausgewählten KWK das Angebot der ausgewählten Beschaffungsregion übersteigt, wird der noch ungedeckte Bedarf kalkuliert und die Spalte der Beschaffungsregion für den weiteren Berechnungsvorgang gesperrt. Falls das Angebot den Bedarf übersteigt, wird das am Markt verbleibende Angebot der Beschaffungsregion kalkuliert und die Zeile des KWK gesperrt. Im nächsten Schritt wird die Beschaffungsregion-KWK-Kombination mit der zweitniedrigsten Summe aus Transport- und Betriebskosten ausgewählt und die Rechenlogik verfährt abermals wie oben beschrieben. Die Rechenlogik, die analog zum Matrixminimumverfahren, das als Heuristik für die Lösung von Transportproblemen eingesetzt wird, funktioniert, wird sinngemäß solange fortgesetzt, bis der Bedarf aller KWK gedeckt ist.

Die Heuristik „H2 – Marktmacht“ unterstellt, daß sich infolge der Höhe der Nachfrage eine entsprechende Marktstellung ergibt, die es dem größten Abnehmer ermöglicht, seinen Bedarf zuerst aus den hinsichtlich der Transportkosten günstigsten Regionen vollständig zu decken. Danach folgt der zweitgrößte Abnehmer und deckt ebenso seinen Bedarf. Die Rechenprozedur endet, sobald der Bedarf aller Abnehmer gedeckt ist.

Die Heuristik „H3 – Attraktivität einer Region“ spiegelt die Einstellung vieler Manager wider, daß Regionen mit großen Potential und geringer Entfernung zum KWK als die Attraktivsten angesehen werden. Die Attraktivität einer Region wird über den Quotient aus Potential der Region und Entfernung der Region zum KWK bestimmt. Beginnend mit der attraktivsten Kombination wird hier in absteigender Reihenfolge die Versorgung festgelegt, die Rechenlogik funktioniert analog zur Heuristik H1.

Die Startmatrizen beinhalten die Transportkosten zwischen den Beschaffungsregionen und den KWK und sowie für die Heuristik 1.

Das Ziel der Kooperation ist die Senkung der Transportkosten für Holzbiomasse durch optimale Allokation der gemeinsam beschafften Ressourcen mithilfe eines LP-Modells. Folgende Daten werden für das LP-Modell benötigt: Holzbiomassebedarf der KWK, von den Kooperationspartnern in den Regionen beschaffte Volumina, die jeweiligen Distanzen zwischen Forst und KWK sowie die Transportkosten.

Das LP-Modell zur Minimierung der Transportkosten für die kooperative Holzbiomassebeschaffung wird wie folgt formuliert:

Variablen- und Parameterdeklaration:

x_{ij} = Bedarfsanteil, der von Region i zu KWK j transportiert wird

c_{ij} = Transportkosten von Region i zu KWK j,

d_j = jährlicher Bedarf im KWK j

s_i = Jahressumme der in der Region i von den Kooperationspartnern gekauften Holzbiomasse

Zielfunktion: Transportkosten minimieren

$$(1) \text{ Transportkosten} = \sum_i \sum_j d_j c_{ij} x_{ij}$$

(2)

Nebenbedingungen

$$(2) \sum_i d_j x_{ij} \leq d_j, \forall j$$

$$(3) \sum_j d_j x_{ij} = s_i, \forall i$$

$$(4) x_{ij} \geq 0$$

Um eine möglichst realistische Einschätzung der aktuellen Stoffströme und Transportkosten zu erhalten, werden die Ergebnisse der drei Heuristiken gemittelt. Die Ergebnisse der Berechnungen der Transportkosten für eine Kooperation von 5 KWKs, von 3 KWKs bzw. von nur 2 KWKs zeigen die Tabellen 14 bis 16.

Tabelle 14: Transportkosten der Holzbiomassebeschaffung (in Mio. €) für die singuläre Beschaffung sowie für die Kooperation von 5 KWK und Einsparungspotential in %.

	<i>singuläre Beschaffung</i>				<i>Kooperation</i>	
	<i>H1</i>	<i>H2</i>	<i>H3</i>	<i>MW H</i>	<i>LP</i>	<i>Ersparnis</i>
<i>KWK 1</i>	3,5	3,6	3,1	3,4	2,7	19%
<i>KWK 2</i>	2,6	2,3	2,2	2,4	1,8	24%
<i>KWK 3</i>	2,1	2,1	2	2,1	1,5	26%
<i>KWK 4</i>	1,3	1,7	1,4	1,4	1,1	22%
<i>KWK 5</i>	1,2	1,3	1,2	1,2	0,8	36%
<i>Summe</i>	10,7	11	9,9	10,5	7,9	24%

Tabelle 15: Transportkosten der Holzbiomassebeschaffung (in Mio. €) für die singuläre Beschaffung sowie für die Kooperation von 3 KWK und Einsparungspotential in %.

	<i>singuläre Beschaffung</i>				<i>Kooperation</i>	
	<i>H1</i>	<i>H2</i>	<i>H3</i>	<i>MW H</i>	<i>LP</i>	<i>Ersparnis</i>
<i>KWK 1</i>	3,4	3,6	3,1	3,4	2,7	19%
<i>KWK 6</i>	0,6	0,6	0,7	0,6	0,6	-7%
<i>KWK 7</i>	0,5	0,4	0,7	0,5	0,3	45%
<i>Summe</i>	4,5	4,6	4,5	4,5	3,6	19%

Tabelle 16: Transportkosten der Holzbiomassebeschaffung (in Mio. €) für die singuläre Beschaffung sowie für die Kooperation von 2 KWK und Einsparungspotential in %.

	<i>singuläre Beschaffung</i>				<i>Kooperation</i>	
	<i>H1</i>	<i>H2</i>	<i>H3</i>	<i>MW H</i>	<i>LP</i>	<i>Ersparnis</i>
<i>KWK 1</i>	3,4	3,6	3,1	3,4	3,1	9%
<i>KWK 7</i>	0,5	0,4	0,7	0,5	0,3	45%
<i>Summe</i>	3,9	4	3,8	3,9	3,4	14%

Die kooperative Beschaffung von Holzbiomasse für KWK und die optimale Allokation der Versorgungsströme trägt zur Verringerung der Transportkosten bei. Die aktuellen Transportkosten liegen im Vergleich mit den Kosten der durch Kooperation ermöglichten optimalen Versorgung deutlich höher (mindestens 14%). Der erzielbare Kooperationsgewinn nimmt mit der Anzahl der Kooperationspartner zu, ist aber nicht gleichmäßig verteilt. Bei der Variante mit drei Partnern entstehen durch die Kooperation für einen Partner sogar Mehrkosten in der Höhe von 50.000 €, während die Summe der Transportkosten um ca. 855.000 € gesenkt werden können. Entsprechende Kompensationen zwischen den Kooperationspartnern sind also notwendig. Eine Möglichkeit, den Kooperationsgewinn zwischen den Kooperationspartnern aliquot aufzuteilen, ist durch Ausgleichszahlungen den Kooperationspartnern für alle auf den prozentuellen Durchschnittswert aller Kooperationspartner zu senken bzw. zu heben. Beschaffungsk Kooperationen stoßen auch auf Vorbehalte, etwa daß die Kooperation unter regulären Versorgungsbedingungen zwar gut funktionieren, bei Auftreten einer Rohstoffknappheit aber keine kooperative Ressourcenallokation mehr erfolgen könnte.

3.3 System Dynamics Model zur Strategieevaluierung

Zur Evaluation und Diskussion der Praxistauglichkeit der entwickelten und priorisierten Strategien wurden eine Reihe stochastischer, dynamischer Simulationen für multiple ökologische und sozioökonomische Rahmenbedingungen (Szenarien) durchgeführt (vgl. Schwarzbauer und Stern 2010). Hierfür wurde auf das bestehende Simulations-Modell RiskHo zurückgegriffen bzw. dieses entsprechend den erweiterten Anforderungen adaptiert. RiskHo wurde im Rahmen des gleichnamigen Vorgängerprojekts (RiskHo – Risiko im Versorgungsnetzwerk Holzbiomasse) entwickelt, und konnte bereits dort erfolgreich zur quantitativen Abschätzung von zukünftig zu erwartenden Versorgungsengpässen im Versorgungsnetzwerk „Holzbiomasse“ eingesetzt werden (Rauch et al. 2011).

Dynamische, stochastische Simulation

Analog zum Simulations-Modell RiskHo, basieren die durchgeführten Simulationen auf dem System Dynamics (SD) Ansatz, einer wissenschaftlich fundierten Methodik zur ganzheitlichen Analyse und Simulation komplexer, dynamischer Systeme. Ein SD-Modell bildet dabei einen komplexen Sachverhalt als (i) Bestandsgrößen, (ii) Flussgrößen, (iii) freien Variablen und (iv) Konstanten ab, welche in ihrer kausalen Vernetzung ein mathematisches System aus Differentialgleichungen höherer Ordnung beschreiben. Unter Einsatz einer geeigneten Simulationssoftware kann solch ein mathematisches System mit finitem Zeitschritt in Form einer Differenzengleichung und unter Einsatz eines numerischen Näherungsverfahrens einer numerischen Lösung zugeführt werden (vgl. Forrester 1961; Sterman 2000). Als Erweiterung des originären SD-Ansatzes erfolgt, analog zu RiskHo, die eigentliche Simulation nach der Monte Carlo Methode. Bei der Monte Carlo Simulation ist nicht die zeitliche Entwicklung einzelner Modellgrößen im singulären Simulationslauf von Interesse, sondern gemäß dem statistischen „Gesetz der großen Zahl“ das kumulative Bild über eine Vielzahl von Simulationsläufen. Die Gesamtauswertung basiert somit auf einer Pluralität von Simulationsläufen unter Miteinbeziehung stochastischer, von Simulationslauf zu Simulationslauf variierender, Systemgrößen im SD-Modell (vgl. Hagenson 1990).

Simulationsmodell RiskHo

Das SD-Modell RiskHo (Rauch et al., 2011) basiert auf der Simulationssoftware Stella®, und ist als aggregiertes, offenes Regionalmodell von Österreich mit Fokus auf die Bereitstellung von Holzbiomasse für die energetische Nutzung im Inland durch die heimische Forstwirtschaft konzipiert, besitzt daher eine klare Abgrenzung (Systemgrenze) gegenüber dem Ausland (Systemumwelt). Unter Einbeziehung des Schadholzanfalles ermöglicht RiskHo die Simulation der potentiellen Holzbereitstellung (Inlandsaufkommen) verschiedener Rohholzsortimente aus heimischen Wäldern für alternative Rahmenbedingungen (Szenarien), und ermöglicht bei Gegenüberstellung mit der erwarteten potentiellen Nachfrage nach diesen Rohholzsortimenten sowohl qualitative als auch quantitative Rückschlüsse über die Effekte der verschiedenen Rahmenbedingungen auf die zukünftige

(prognostizierte) Versorgungssicherheit der österreichischen Holzbiomasse-Heiz(kraft)werke. Die geforderte Stochastik im Modell RiskHo wird über die Integration bekannter kumulativer Häufigkeitsverteilungen von Sturm- und Borkenkäferkalamitäten realisiert. RiskHo operiert dabei unter der zeitlichen Auflösung auf Quartalsebene, wobei saisonale Schwankungen bzw. Muster in allen relevanten Modellgrößen (z.B. der potentiellen Nachfrage nach Rohholzsortimenten, der Einschlagsplanung, den Kalamitäten, etc.) im Modell implementiert sind. Überschüssige bzw. nicht konsumierte Mengen unterliegen verschiedenen temporalen Übertrags- und Degradationsmechanismen, bis hin zu deren gänzlichen Ausstufung.

In seiner modularen Struktur ist RiskHo entsprechend der drei Hauptmodule (i) Forstwirtschaft, (ii) Rohholzmarkt und (iii) Holzbasierte Industrie gegliedert, welche ihrerseits in die sechs Submodule (i) Wirtschaftswald, (ii) Klima, (iii) Holzernte, (iv) Rohholzpreis, (v) Angebotsabgleich und (vi) Holzwirtschaft (inkl. energetischer Nutzung) unterteilt sind, wobei die Submodule miteinander wechselseitig in Beziehung stehen. Abbildung 11 gibt einen schematischen Überblick über das SD-Modell und seine Systemgrenze, die vorhandenen Haupt- und Submodule, sowie alle wesentlichen Relationen und stofflichen Flüsse zwischen den einzelnen Modulen und der Systemumwelt. Alle Größen im Modell RiskHo orientieren sich dabei an der verrichtungsorientierten Gliederung (Schwarzbauer et al., 2009) im Hinblick auf die Nutzungsarten, die Eigentümerkategorien, die Rohholzsortimente und das Schadholzaufkommen, welche auch in der Holzeinschlagsmeldung (HEM) zum Einsatz gelangt. Die Eigentümerkategorie umfasst dabei (i) Großwald und (ii) Kleinwald (<200 ha), wobei sich der Großwald aus den Betrieben (>200 ha) und den Österreichischen Bundesforsten (ÖBf AG) zusammensetzt. Bei der Nutzungsart wird entsprechend der forstwirtschaftlichen Praxis nach (i) Endnutzung und (ii) Vornutzung unterschieden, die modellierten Rohholzsortimente umfassen (i) Sägerundholz, (ii) Industrieholz und (iii) Energieholz, wobei sich letzteres auf Grund mangelnder gesonderter Datenlage auf die aggregierten Mengen von Brennholz und Waldhackgut bezieht. Das Schadholz gliedert sich dem Anfall nach auf (i) Sturm/Schnee und (ii) Borkenkäfer.

Das Diagramm stellt den Holzmarkt in Deutschland dar, unterteilt in verschiedene Sektoren und deren Interaktionen:

- Systemgrenze:** Umfasst die Bereiche Holzindustrie, Rohholzmarkt, Wirtschaftswald und Holzenergie.
- Wirtschaftswald:**
 - Beinhaltet das **Theoretische Angebot (Forstwirtschaft)** und das **Potentielle Angebot (Forstwirtschaft)**.
 - Der **Einschlag** führt zu einer **Schadholzelastizität des Einschlags**.
 - Ein **Preisverfall nach Kalamitäten** beeinflusst das Preisniveau.
 - Die **Preiselastizität des Einschlags** ist mit dem Preisniveau verknüpft.
 - Die **Preisinivoeau** bestimmt das **Potentiell verfügbare Angebot (Forstwirtschaft)**.
 - Die **Preisinivoeau** beeinflusst auch das **Potentiell verfügbare Angebot unter Nutzungskonkurrenz**.
 - Die **Preisinivoeau** bestimmt das **Rohholzpreis**.
 - Die **Preisinivoeau** beeinflusst das **Potentiell verfügbare Angebot**.
 - Die **Preisinivoeau** beeinflusst das **Potentiell verfügbare Angebot**.
 - Die **Preisinivoeau** beeinflusst das **Potentiell verfügbare Angebot**.
- Rohholzmarkt:**
 - Beinhaltet das **Potentielle Nachfrage**.
 - Die **Preisinivoeau** bestimmt das **Rohholzpreis**.
 - Die **Preisinivoeau** beeinflusst das **Potentiell verfügbare Angebot**.
 - Die **Preisinivoeau** beeinflusst das **Potentiell verfügbare Angebot**.
 - Die **Preisinivoeau** beeinflusst das **Potentiell verfügbare Angebot**.
- Holzindustrie:**
 - Beinhaltet die **Importe** und die **Exporte**.
 - Die **Importe** und die **Exporte** beeinflussen das **Potentiell verfügbare Angebot**.
 - Die **Importe** und die **Exporte** beeinflussen das **Potentiell verfügbare Angebot**.
 - Die **Importe** und die **Exporte** beeinflussen das **Potentiell verfügbare Angebot**.
- Holzenergie:**
 - Beinhaltet das **Potentiell verfügbare Angebot** und die **Ausformung**.
 - Die **Ausformung** beeinflusst das **Potentiell verfügbare Angebot**.
 - Die **Ausformung** beeinflusst das **Potentiell verfügbare Angebot**.
 - Die **Ausformung** beeinflusst das **Potentiell verfügbare Angebot**.
- Wirtschaftswald:**
 - Beinhaltet das **Potentiell verfügbare Angebot** und die **Ausformung**.
 - Die **Ausformung** beeinflusst das **Potentiell verfügbare Angebot**.
 - Die **Ausformung** beeinflusst das **Potentiell verfügbare Angebot**.
 - Die **Ausformung** beeinflusst das **Potentiell verfügbare Angebot**.
- Wirtschaftswald:**
 - Beinhaltet das **Potentiell verfügbare Angebot** und die **Ausformung**.
 - Die **Ausformung** beeinflusst das **Potentiell verfügbare Angebot**.
 - Die **Ausformung** beeinflusst das **Potentiell verfügbare Angebot**.
 - Die **Ausformung** beeinflusst das **Potentiell verfügbare Angebot**.

Legende:

- Modul:** (Dunkelgrau)
- Submodul:** (Hellgrau)
- Relation:** (Weiß)
- Fluß:** (Dreieckspfeil)
- Zielgröße:** (Oval)
- exogen:** (Dunkelgrau)
- endogen:** (Hellgrau)
- semi-endogen:** (Weiß)

Endbericht ProBio

2007, 2011). Um statistische Aussagen über die Versorgungssicherheit des Versorgungsnetzwerkes „Holzbiomasse“ unter Berücksichtigung von Nutzungskonkurrenz und Substitutionsoptionen fällen zu können, werden in RiskHo Angebotsmengen nicht als Absolutwerte (tatsächlich konsumierte Menge) gepaart mit wirtschaftlichen Größen (z.B. Preis) betrachtet, sondern ein potentiell Angebot an Energieholz einer potentiellen Nachfrage nach selbigem gegenübergestellt (Gronalt und Rauch 2007). Zusammenfassend kann das SD-Modell des Versorgungsnetzwerkes Holzbiomasse durch nachstehende Modell-Eigenschaften charakterisiert werden:

- Dynamische Simulation auf Quartalsebene
- Detailliertes Einschlagsverhalten der österreichischen Forstwirtschaft
 - *Eigentumskategorien: Großwald (inkl. ÖBf AG) / Kleinwald*
 - *Nutzungsarten: Vornutzung / Endnutzung*
 - *Rohholzsortimente: Sägerundholz / Industrieholz / Energieholz*
 - *Ausformung der Sortimente in Abhängigkeit von Preisen und Nachfrage*
 - *Schadholzaufarbeitung mit Kapazitätsrestriktionen*
 - *rollierende Einschlagsplanung, die auf Schadereignisse reagiert*
- Konkurrierender Mengenabgleich am österreichischen Holzmarkt
 - *Nachfrage an Sägerundholz / Industrieholz / Energieholz*
 - *Industriezweige: Säge / Papier und Zellstoff / Platte / Bioenergie*
 - *Export- / Import- / Substitutionsoptionen*
 - *Variable Produktionsmenge pro Industriezweig*
 - *Variable Preise entsprechend Nachfrage und Schadholzanfall*
- Degradation von im Wald gelagertem Holz bei Aufarbeitungsrückständen
- Degradation von Rohholz in Abhängigkeit der Lagerungstechnik
- Klimawandel und Kalamitäten
 - *Stochastische Schadereignisse für Sturm/Schnee und Borkenkäfer*
 - *Referenzbereiche „Ist-Klima“ bzw. „Klimawandel“*
- Entwicklung der Weltwirtschaft
 - *BIP / Produktion / Preise der holzbasierten Industrie*

Eine umfangreiche Beschreibung von RiskHo, seiner Module und der modelltechnischen Grundlagen geben Rauch et al. (2011).

Monte Carlo Simulation mit RiskHo

Die Stärke von RiskHo liegt neben der dynamischen Simulation in seinem stochastischen Ansatz. Unter Miteinbeziehung klimatisch und saisonal variierenden Schadholzanfalls, erlaubt RiskHo die Simulation mittels der Monte Carlo Methode. Für einen Prognosezeitraum von 2010 bis ins Jahr 2030 wird hierbei nicht nur ein singulärer Simulationslauf analysiert, sondern eine Vielzahl von Simulationsläufen durchgeführt, und deren Ergebnisse zu einem kumulativen Gesamtbild verdichtet. 50 Simulationsläufe pro Szenario haben sich nach statistischen Gesichtspunkten als ausreichend erwiesen. Abbildung 12 verdeutlicht diesen Simulationsansatz für das Basisszenario auf Jahresebene, wobei das potentielle Inlandsangebot an Energieholz der potentiellen Inlandsnachfrage an selbigem gegenübergestellt wird.

Bis zum Jahr 2009 gestaltet sich das potentielle Inlandsaufkommen als singulärer Graph, bedingt durch historisch exogen vorgegebenen Schadholzanfall, teilt sich aber ab Beginn des Prognosezeitraums 2010 in eine Fülle aus verschiedenen Graphen von 50 verschiedenen Simulationsläufen, welche arithmetisch gemittelt wiederum in einem einzigen Graphen – dem prognostizierten, mittleren potentiellen Inlandsaufkommen – resultieren. Der Fehlbestand zwischen potentieller Inlandsnachfrage und Aufkommen beschreibt dabei die Unterdeckung, welche als Maß für die prognostizierte Versorgungssicherheit des Netzwerkes „Holzbiomasse“ fungiert.

Durch die temporale Auflösung der Simulationswert auf Ebene einzelner Quartale bilden somit in Summe 4200 Einzelsimulationswerte (= 21 Simulationsjahre x 4 Quartale x 50 Simulationsläufe) eine solide statistische Basis zur Quantifizierung der Versorgungssituation der einzelnen Rohholzsortimente. Abbildung 13 veranschaulicht die zeitliche Auflösung unter Berücksichtigung der saisonal schwankenden potentiellen Nachfrage an Energieholz.

Abbildung 12 – Monte Carlo Simulation des potentiellen Inlandsangebots an Energieholz in „RisikHo“

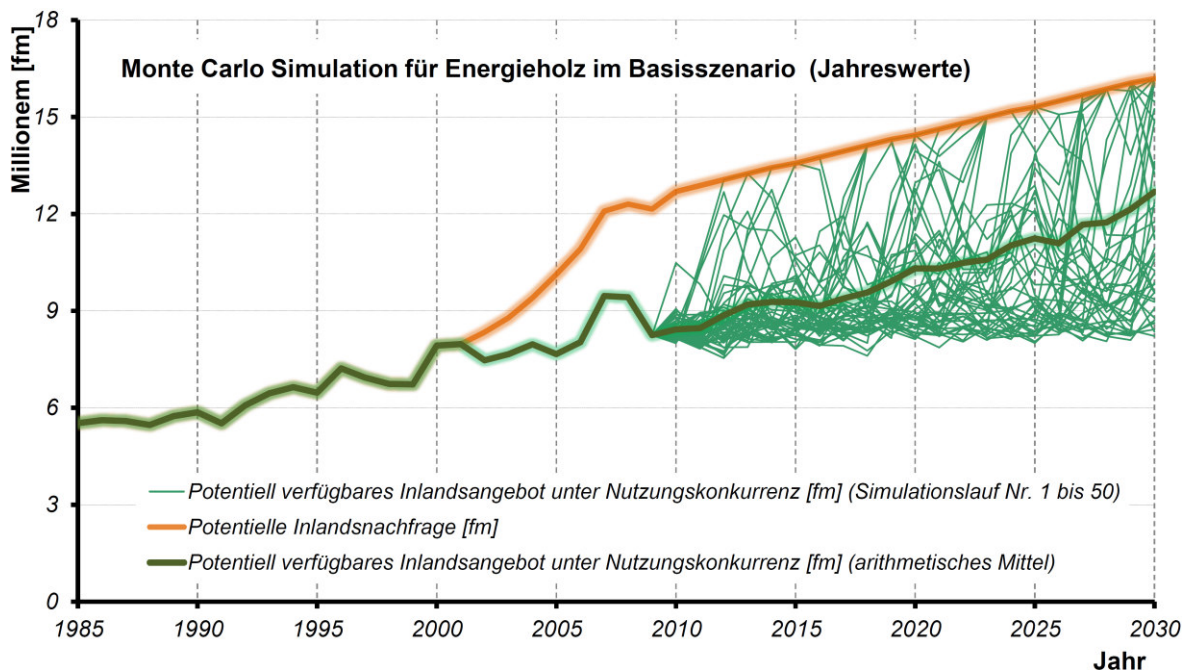
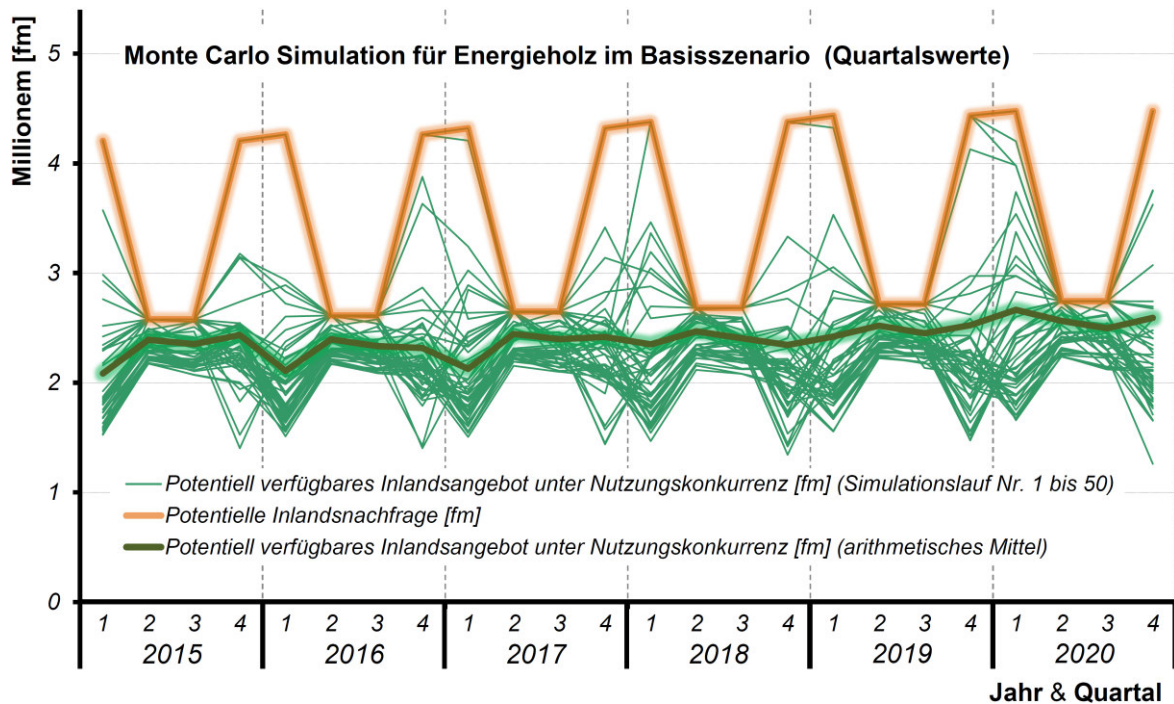


Abbildung 13 – Temporale Auflösung auf Quartalsebene in „RisikHo“



Referenzszenarien

Grundlage zur Simulation und Bewertung der ermittelten prioritären Strategien zur Erhöhung der Versorgungssicherheit im „Versorgungsnetzwerk Holzbiomasse“ bilden (i) das Basis- und (ii) das Klimawandelszenario. Aufbauend auf diesen beiden Szenarien, welche konkrete Rahmenbedingungen für eine zukünftige Entwicklung über den Prognosezeitraum 2010–2030 definieren, können die verschiedenen Strategien hinsichtlich ihrer Auswirkung auf die Inlandsdeckung als Verhältnis zwischen potentielltem Inlandsangebot unter Konkurrenz zu potentieller Inlandsnachfrage analysiert und quantitativ untermauert werden, wobei sowohl das Basis- als auch das Klimawandelszenario jeweils als Referenzszenario dienen, und in den nachstehenden Diagrammen jeweils als graue Kurve abgebildet sind. Die Auswertung der Inlandsdeckung je Strategie je Referenzszenario erfolgt dabei über die kumulierten Wahrscheinlichkeiten der einzelnen Inlandsdeckungen aller simulierten Quartale im Prognosezeitraum, wobei aufgrund der ausgeprägten Rohstoffkonkurrenz zwischen energetischer und stofflicher Nutzung neben den Ergebnissen für Energieholz ggf. auch die Ergebnisse für Industrieholz thematisiert werden. Für die Versorgungssituation von Energie- und Industrieholz werden zur einfacheren Auswertung bzw. Gegenüberstellung der Ergebnisse jeweils drei grundlegende Versorgungssituation, wie in Tabelle 17 zusammengefasst, unterschieden, wobei für Industrieholz aufgrund besserer Importmöglichkeiten eine Inlandsdeckung bereits größer 60% als ausreichende Versorgung bewertet wird (im Vergleich zu Energieholz mit einer ausreichenden Versorgung bei einer Inlandsdeckung größer 70%).

Tabelle 17 – Versorgungssituationen und deren Darstellung für (i) Energie- und (ii) Industrieholz

<i>Sortiment</i>	<i>Versorgungssituation</i>	<i>Bereich</i>	<i>Farbe</i>
Energieholz	ausreichende Versorgung	Inlanddeckung > 70%	grün
	gefährdete Versorgung	70% ≥ Inlanddeckung > 40%	gelb
	Unterversorgung	40% > Inlanddeckung	rot
Industrieholz	ausreichende Versorgung	Inlanddeckung > 60%	grün
	gefährdete Versorgung	60% ≥ Inlanddeckung > 40%	gelb
	Unterversorgung	40% > Inlanddeckung	rot

Basisszenario

Mittels Fortschreibung aktueller ökonomischer Trends und energiepolitischer Zielsetzungen wird das Basisszenario als das Szenario mit der höchsten Eintrittswahrscheinlichkeit angenommen, und sieht das Erreichen der Bioenergie-Ziele lt. National Renewable Energy Action Plan 2010 for Austria (NREAP-AT, BMLFUW 2006) und der darin definierten Anteile von holzbasierter Bioenergie (2020 insgesamt 200 PJ) vor. Der daraus zukünftig zu erwartende energetische Holzbedarf direkt aus dem Forst beläuft sich dabei im Jahr 2015 auf 10 Mio. m³ bzw. im Jahr 2020 auf 11 Mio. m³. Die prognostizierte Entwicklung der Sturm- und Borkenkäferkalamitäten wird unter stochastischer Simulation als Fortschreibung der kumulativen Häufigkeiten der beobachteten Kalamitäten im Referenzzeitraum 1973–2009 modelliert, für welche die Daten in vergleichsweise guter Qualität gem. der Holzeinschlagsmeldung (HEM) vorliegen (vgl. Rauch et al. 2011). Ökonomische Rahmenbedingungen im Basisszenario basieren in Anlehnung an das Referenzszenario der vorläufigen Ergebnisse der EFSOS II Studie (Jonsson 2010) auf dem IPCC Szenario A1, zumal dieses derzeit am besten die aktuellen Entwicklungen der Treibhausgas-Emissionen widerspiegelt (Kromp-Kolb 2010). Die kompetitiven Rohholzpreise und Produktionsdaten (als Basis für die prognostizierte Nachfrage an Rohholzsortimenten) entsprechen ebenfalls den vorläufigen Ergebnissen der EFSOS II Studie, wobei für Sägerund-, Industrie- und Energieholzpreise zusätzlich der kurz-, mittel- und langfristige Einfluss von Schadereignissen berücksichtigt wird.

Die Simulationsergebnisse des Basisszenarios zeigen, dass eine ausreichende Inlandsversorgung der Biomasse-Heiz(kraft)werke im betrachteten Prognosezeitraum nur in ca. 60% der simulierten Quartale gegeben ist. Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Unterversorgungssituationen, d.h., dass eine Inlandsdeckung an Energieholz im betrachteten Quartal von weniger als 40% vorliegt, liegt bei ca. 10% (siehe Abbildung 14). Die Ergebnisse weisen bereits im Basisszenario auf relevante Versorgungsrisiken für Energieholz in der Zukunft hin, insbesondere im Hinblick die Bioenergie-Ziele. Die Inlandsversorgung mit Industrieholz für die stoffliche Verwertung ist im Basisszenario bei einer ausreichenden Versorgung in ca. 95% der Quartale als sehr gut zu bewerten (siehe Abbildung 15), wobei Unterversorgung nahezu niemals vorkommt (gem. Simulation in 0% der Fälle). Die auch zukünftig zu erwartende günstige Versorgungssituation für Industrieholz ist in der Tatsache begründet, dass die für die heimische Sägeindustrie prognostizierten Produktionssteigerungen prozentuell deutlich höher ausfallen als die der Papier- und Plattenindustrie.

Klimawandelszenario

Das Klimawandelszenario reflektiert die durch die Folgen des Klimawandels induzierte, zunehmende Vulnerabilität des österreichischen Waldes hinsichtlich abiotischer (Sturm, Schneebruch, etc.) und biotischer (Borkenkäfer) Schadereignisse. Die Grundannahmen des Klimawandelszenario entsprechen zur Gänze dem Basisszenario, lediglich die Entwicklung der Sturm- und Borkenkäferschäden wird gemäß der kumulierten Wahrscheinlichkeiten der Schadholzmengen für den Referenzzeitraum 1990–2009 angenommen (vgl. Rauch et al., 2011), wodurch sich einerseits gegenüber dem Basisszenario jedenfalls ein durchschnittlich höherer Schadholzanfall ergibt, andererseits auf Grund der Zunahme der Häufigkeit besonders intensiver Schadereignissen jedenfalls eine stärkere Beeinflussung des Preisgeschehens hinsichtlich der einzelnen Rohholzsortimente ergibt.

Die stochastische Simulation über den Prognosezeitraum zeigt zwar einen deutlichen Mehranfall von Schadholz, was kurzfristige auch unmittelbare Mehreinschläge zur Folge hat, verschlechtert aber insgesamt die Versorgungslage aller Rohholzsortimente (Sägerund-, Industrie- und Energieholz) in Folge von z.T. preisinduzierten aber auch kapazitätsbedingten Kompensationsmaßnahmen durch die Forstwirtschaft wie Reduktion des Einschlags bis hin zu temporärem Aussetzen der Nutzungen (vgl. Schwarzbauer 2007). Im Klimawandelszenario verschlechtert sich die Versorgungslage für heimisches Energieholz, zumal nur mehr zu ca. 54% (-6% im Vergleich zum Basisszenario) eine ausreichende Inlandsversorgung erreicht werden kann und für die Unterversorgung eine Eintrittswahrscheinlichkeit von ca. 13% (+3% im Vergleich zum Basisszenario, siehe Abbildung 14) vorliegt. Obwohl sich auch die Gesamtversorgungslage für Industrieholz in Summe geringfügig verschlechtert, bewirken erhöhte klimawandelbedingte Schadholzmengen dennoch eine geringfügige Verbesserung von jedenfalls als gefährdet einzustufenden Versorgungssituationen auf ca. 3% (-2% im Vergleich zum Basisszenario, siehe Abbildung 15). Grund hierfür ist insbesondere die Zunahme der kalamitätsbedingten, kurzfristigen Einschlagszunahmen insbesondere im Winter und im Frühjahr, wobei die Nachfrage nach Industrieholz zum einen produktionsbedingt (Papier, Platte, etc.) gerade in diesen Jahreszeiten geringer ausfällt, bzw. anders als beim Energieholz, keine unmittelbare Nachfragesteigerung auf Grund erhöhter energetischer Nutzung in der kalten Jahreszeit vorherrscht.

Abbildung 14 – Gegenüberstellung der Versorgungssituation für Energieholz im Basis- und Klimawandelszenario

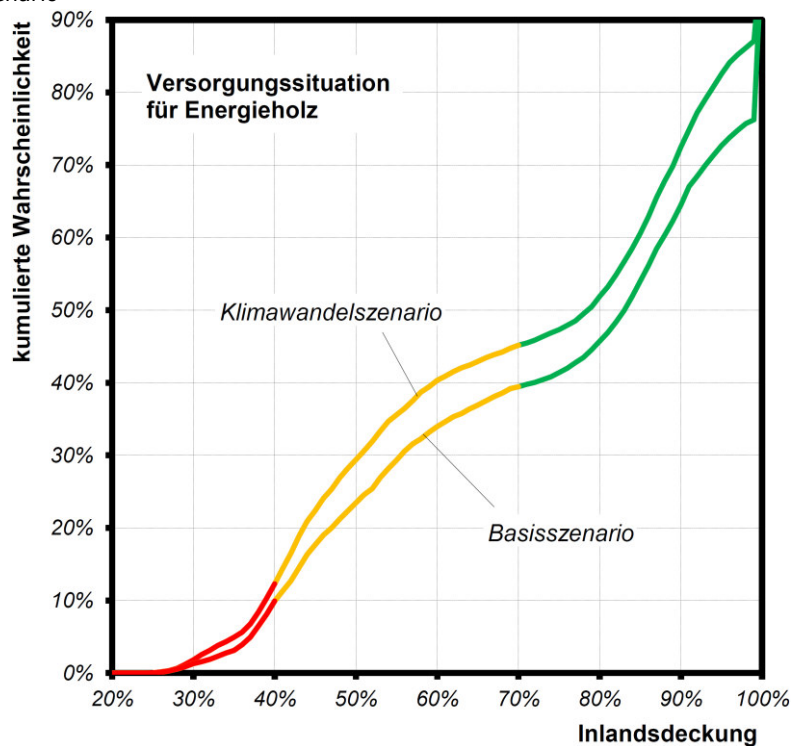
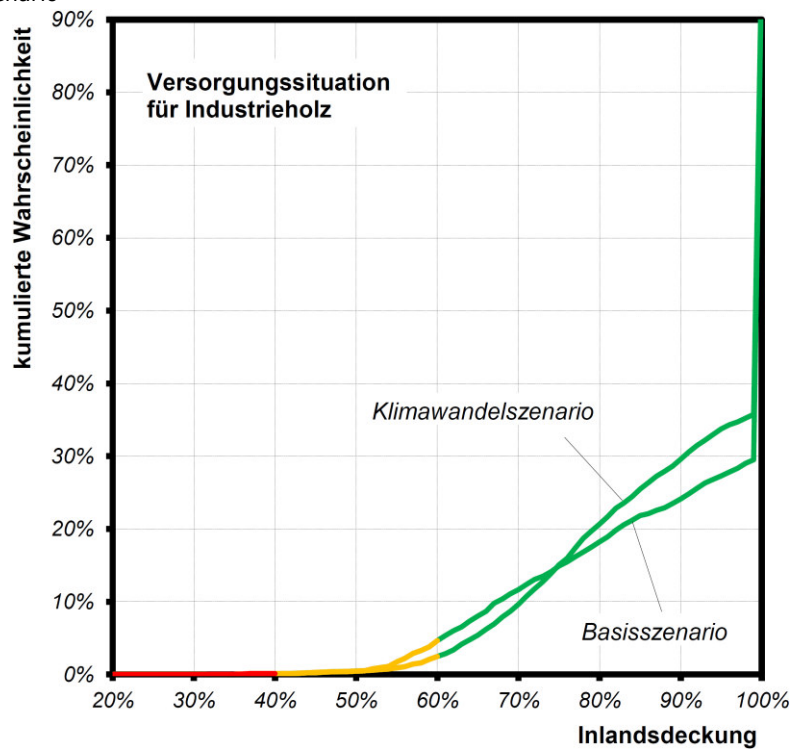


Abbildung 15 – Gegenüberstellung der Versorgungssituation für Industrieholz im Basis- und Klimawandelszenario



3.4 Strategieevaluierung mit dem SD-Modell RisikHo

Aufbauend auf jeweils dem Basis- und dem Klimawandelszenario als Referenzszenarien werden verschiedene der robusten Strategien aus dem zuvor entwickelten Portfolio (siehe Tabelle 12) sowie deren Kombination mittels dynamischer, stochastischer Simulation näher evaluiert und einer Quantifizierung unterzogen, wobei je nach Strategie nötige Änderungen der Rahmenbedingungen bzw. modelltechnische Adaptierungen an RisikHo vorgenommen wurden. Gemäß den grundlegenden Modelleigenschaften von RisikHo und seiner zeitlich aggregierten Auflösung eignen sich hierzu insbesondere die Strategien Nr. 1 – „Diversifikation des Lieferantenportfolios“, Nr. 4 – „Zentraler Sicherheitsbestand“, Nr. 7 – „Trocknung des Brennstoﬀs“ und Nr. 11 – „Kooperation mit forstlichen Zusammenschlüssen (Mobilisierung Kleinwald)“. Die Strategien Nr. 8 – „Optimierung der Lieferkette“ und Nr. 9 – „Kooperative Logistiklösung mit Mitbewerbern / Lieferanten“ sind ihrem Wesen nach auf kurzfristiger, operativer Ebene angesiedelt und können durch RisikHo und seine auf Österreich aggregierte Struktur nur unzureichend erfasst werden.

Strategie „Verbesserte Holz Trocknung“

Im Rahmen der Strategie Nr. 7 – „Trocknung des Brennstoﬀs“ werden sowohl eine verbesserte (i) natürliche und (ii) künstliche Trocknung des Inlandsaufkommens an Energieholz sowie (iii) die Kombination aus verbesserter natürlicher und künstlicher Trocknung simuliert. Bei der natürlichen Trocknung wird eine Verringerung des durchschnittlichen Feuchtegehaltes von aktuell W36 auf W35 durch etwaige Maßnahmen wie alternative forstwirtschaftliche Lagerungsmethoden unterstellt, was in einer Erhöhung des durchschnittlichen Heizwertes um 2,6% resultiert. Die künstliche Trocknung als gesonderte Dienstleistung (z.B. direkt beim Werk) unterstellt eine technisch realisierte, vorgelagerte Trocknung des energetisch genutzten Rohholzes von W35 auf W20, was einer Erhöhung des Heizwertes um 39% gleichkommt, wobei als Annahme 20% des eingesetzten Rohstoﬀes der Energiewirtschaft einer solchen künstlichen Trocknung unterzogen werden.

Hinsichtlich der relativen Auswirkungen der Maßnahmen kann zwischen den Simulationen im Basis- und Klimawandelszenario kein relevanter Unterschied festgestellt werden (siehe Abbildung 16 und Abbildung 17). Zumal sowohl die natürliche, als auch die künstliche Trocknung auf das Rohholzsortiment Energieholz beschränkt sind, werden andere Rohholzsortimente (insb. Industrieholz) kaum beeinflusst. Insbesondere die künstliche Trocknung weist eine hohe Wirksamkeit auf die Versorgungssicherheit an Energieholz auf, wobei die Eintrittswahrscheinlichkeit einer gefährdeten Versorgungssituation (gelber Bereich) um ca. 3%, die Eintrittswahrscheinlichkeit einer Unterversorgung (roter Bereich) um ca. 4% verringert werden kann. Die Kombination aus natürlicher und künstlicher Trocknung reduziert die Eintrittswahrscheinlichkeit einer gefährdeten Versorgung bzw. Unterversorgung um ca. -4% bzw. -5%.

Abbildung 16 – Versorgungssituation für Energieholz im Basisszenario mit (i) natürlicher, (ii) künstlicher und (iii) Kombination aus natürlicher und künstlicher Trocknung

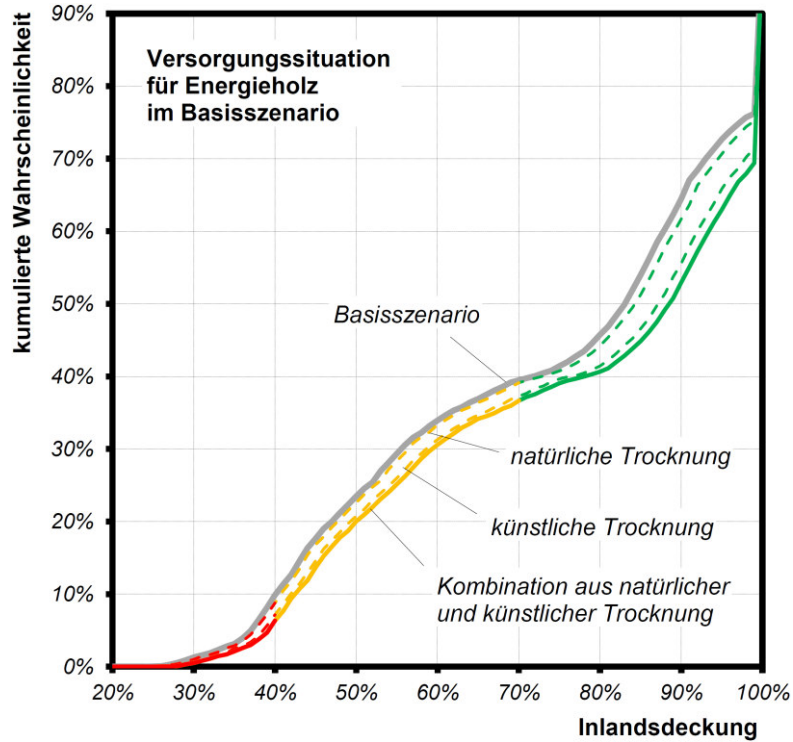
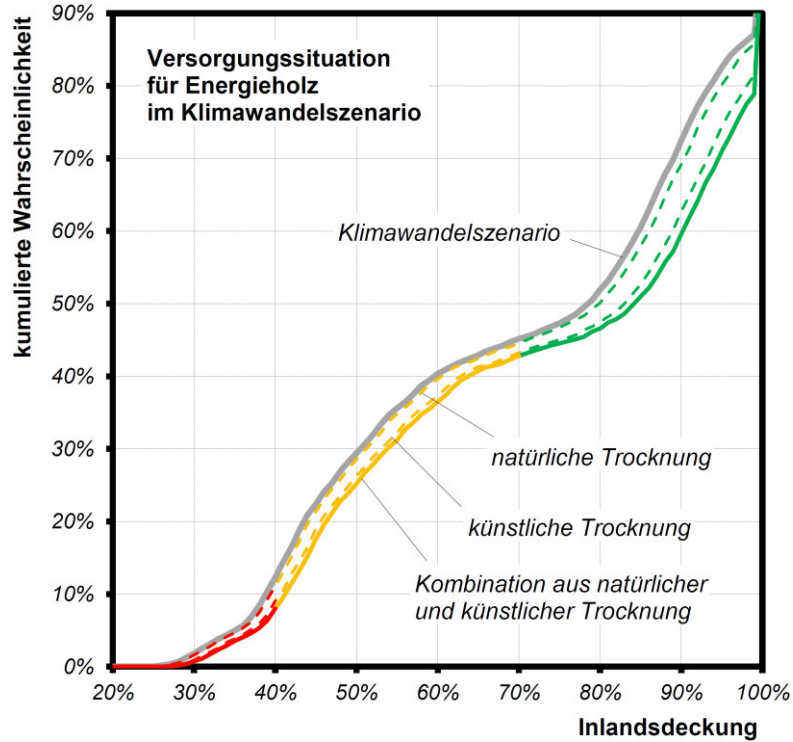


Abbildung 17 – Versorgungssituation für Energieholz im Klimawandelszenario mit (i) natürlicher, (ii) künstlicher und (iii) Kombination aus natürlicher und künstlicher Trocknung

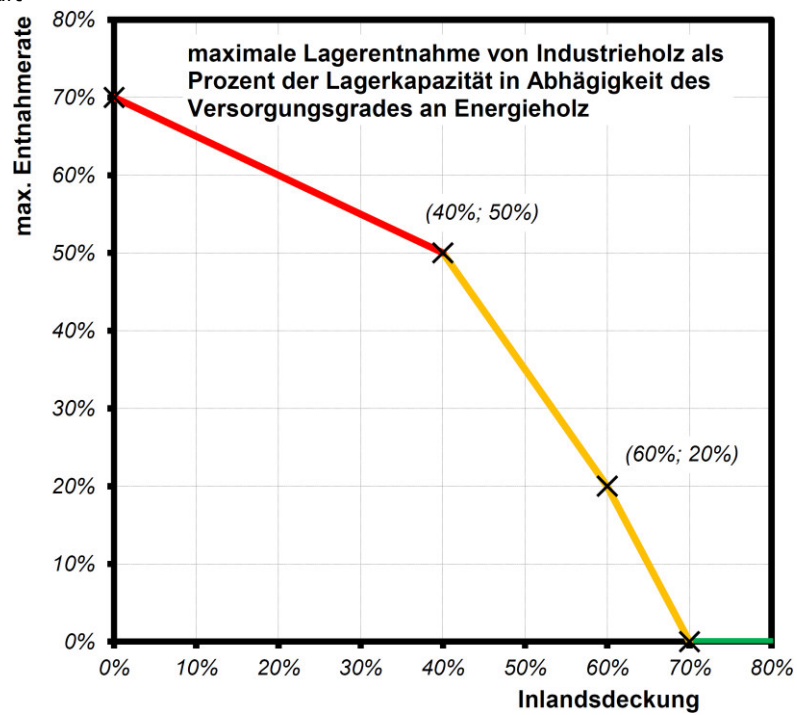


Strategie „Industrieholzlager für Energiewirtschaft“

Den Strategien Nr. 1 – „Diversifikation des Lieferantenportfolios“ und Nr. 4 – „Zentraler Sicherheitsbestand“ Rechnung tragend, wird eine Kombination aus beiden mittels eines Industrieholzlagers für die Energiewirtschaft simuliert. Hierbei wird die Energiewirtschaft mit zusätzlichen zentralen Lagerkapazitäten ausgestattet, um Mengen an Industrieholz (Faserholz) zur energetischen Verwertung kurz- und mittelfristig zwischen zu lagern, und im Sinne eines zentralen Sicherheitsbestandes punktuell bei Versorgungsengpässen als Substitut für Energieholz nutzen zu können. Die Energiewirtschaft bewegt sich somit gezielt am Rohholzmarkt für Industrieholz, lukriert Mengen von diesem und diversifiziert ihr Lieferanteportfolio. Um den Preisunterschied zwischen Industrie- und Energieholz Rechnung zu tragen, erfolgt der Bezug von Industrieholz durch die Energiewirtschaft ausschließlich in länger anhaltenden Niederpreisphasen von Industrieholz, welche als Folge intensiver Schadereignissen auftreten. In solchen Niederpreisphasen stehen somit Energiewirtschaft und stoffliche Industrie in direkter Nutzungskonkurrenz.

Zur aktiven Kompensation von Versorgungsengpässen an Energieholz mittels zwischengelagerter Industrieholzmengen ist eine mehrstufige Lagerentnahme-Strategie im Modell implementiert. Demnach wird zwischengelagertes Industrieholz erst ab einer Inlandsdeckung an Energieholz kleiner 70% (ab Erreichen einer gefährdeten Versorgung) entnommen und einer energetischen Verwendung zugeführt, nicht jedoch bei Vorliegen einer ausreichenden Versorgungssituation. Die maximale Entnahmerate aus dem Industrieholzlager formuliert als Prozentsatz der ausgebauten Lagerkapazität liegt bei 70% bei einer Inlandsdeckung an Energieholz von 0% (vollständiger Unterversorgung). Die Entnahmeraten zwischen 0–70%iger Inlandsdeckung an Energieholz bewegen sich entlang der abgestuften Skala in Abbildung 18. Längere Zeit ungenutzte Lagermengen werden wiederum zur Gänze aufgelöst. Als Strategievariationen werden drei verschiedene Lagerkapazitäten als (i) 10%, (ii) 20% und (iii) 30% der Jahresnachfrage an Energieholz sowohl für das Basis- als auch das Klimawandelszenario simuliert.

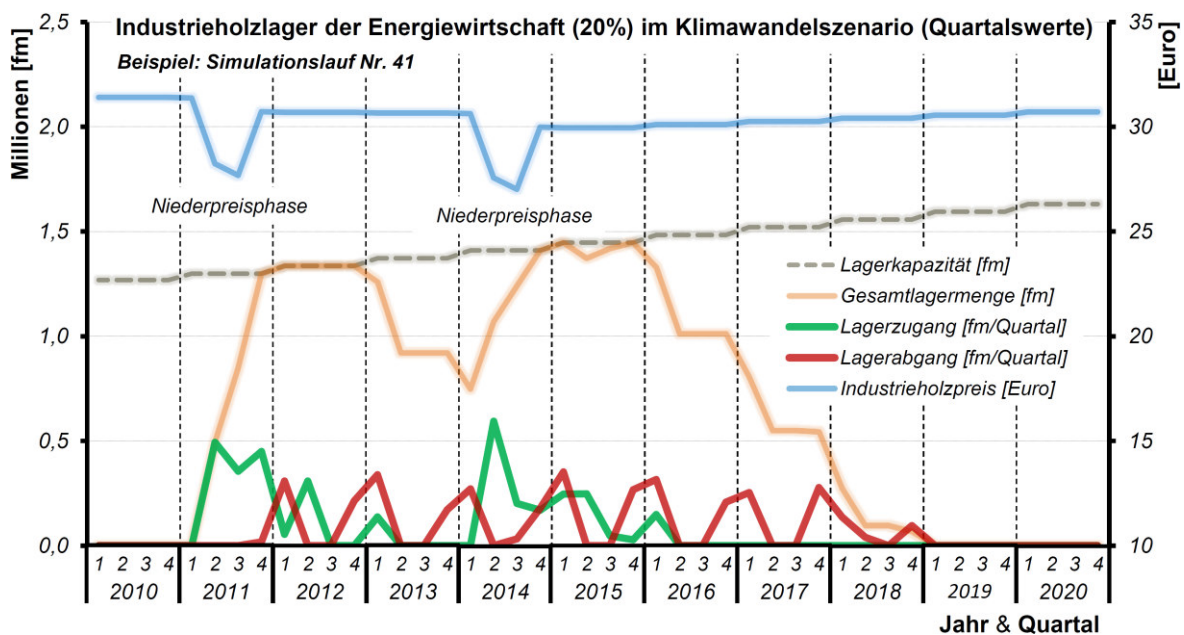
Abbildung 18 – Gewählte Entnahmestrategie von gelagertem Industrieholz für Industrieholzlager der Energiewirtschaft



In

Abbildung 19 sind die wesentlichsten Mechanismen und spezifischen Systemgrößen anhand eines einzelnen Simulationslaufs beispielhaft dargestellt. Dabei unterhält die Energiewirtschaft zentrale Lagerplätze mit einer Lagerkapazität in der Größe von 20% der Jahresnachfrage an Energieholz, welche stufenweise entsprechend dem kontinuierlichen Anstieg der Nachfrage ausgebaut werden. In Folge des Preisverfalls von Industrieholz (Niederpreisphase) als Resultat eines intensiven Schadereignisses werden Mengen vom Industrieholzmarkt durch die Energiewirtschaft lukriert (Lagerzugang) und sukzessive Lagerbestände aufgebaut (Gesamtlagermenge). Die energetische Nutzung (Lagerabgang) von zwischengelagerten Industrieholzmengen erfolgt punktuell entsprechend der implementierten Entnahmestrategie und umso stärker desto unbefriedigender die Versorgungssituation an Energieholz ist. Nach mehreren Quartalen sind alle zwischengelagerten Industrieholzmengen verbraucht (Gesamtlagermenge von Null).

Abbildung 19 – Beispielhafter Lagerdurchsatz für Industrieholzlager der Energiewirtschaft



Die Simulation des Industrieholzlagers der Energiewirtschaft im Basisszenario zeigt nur geringe Auswirkungen auf die Versorgungssituation von Energieholz. Für die Eintrittswahrscheinlichkeiten einer gefährdeten Versorgung (gelber Bereich) und Unterversorgung (roter Bereich) können keine wesentlichen Verbesserungen gegenüber dem Basis- als Referenzszenario erkannt werden. Die Verbesserung innerhalb des Bereiches der gefährdeten Versorgung beträgt maximal bis zu -3% der Eintrittswahrscheinlichkeit und dass bei der Variante mit der höchsten Lagerkapazität von 30% der Jahresnachfrage an Energieholz (siehe Abbildung 20). Diese eher marginalen Auswirkungen beruhen primär auf dem Umstand, dass der Lagerdurchsatz (gesamte Industrieholzmenge, welche eingelagert und wieder verbraucht wird) im Basisszenario relativ gering ausfällt, zumal gemäß den Annahmen im Basisszenario nur relativ wenige Schadholzeroignisse hoher Intensität und daher nur wenige Niederpreisphasen an Industrieholz auftreten, was Industrieholz für die Energiewirtschaft wirtschaftlich eher unattraktiv erscheinen lässt.

Für das Klimawandelszenario macht sich der Effekt durch installierte Industrieholzlager der Energiewirtschaft stärker bemerkbar. Zwar sind für die Eintrittswahrscheinlichkeiten einer gefährdeten Versorgung bzw. einer Unterversorgung, wie im Basisszenario, ebenfalls keine wesentlichen Auswirkungen zu erwarten, die Verbesserung im Bereich der gefährdeten Versorgung tritt aber mit bis zu -8% der Eintrittswahrscheinlichkeit (bei einer Lagerkapazität von 30% der Jahresnachfrage an Energieholz) bedeutend stärker hervor, als wie bei derselben Strategieevaluierung basierend auf dem Basisszenario (siehe Abbildung 21). Zumal die gestiegene Häufigkeit intensiver Schadereignisse eine Erhöhung der Anzahl an Niederpreisphasen bedingt, werden größere Mengen an Industrieholz auch für die Energiewirtschaft attraktiv und einer energetischen Verwertung zugeführt. In Summe fällt der Lagerdurchsatz deutlich höher als im Basisszenario aus.

Im Klimawandelszenario wird aber auch die direkte Konkurrenz der Energiewirtschaft zur stofflichen Industrie deutlich, wobei die kompetitiv lukrierten

Mengen der Energiewirtschaft vollständig zu Lasten der Versorgungssicherheit der stofflichen Industrie gehen (siehe Abbildung 22). So erhöht sich die Eintrittswahrscheinlichkeit jedenfalls als gefährdet einzustufenden Versorgungslagen für Industrieholz auf ca. 8% (+4% im Vergleich zum Klimawandel- als Referenzszenario) bei einer Lagerkapazität von 30% der Jahresnachfrage an Energieholz. Auf die Eintrittswahrscheinlichkeit einer Unterversorgung an Industrieholz hat aber angesichts der zu erwartenden eher geringen Produktions- und Nachfragesteigerungsraten der heimischen stofflichen Industrie die Implementierung eines Industrieholzlagers der Energiewirtschaft trotzdem kaum eine Bedeutung (bis zu +2%). Angesichts dieser Simulationsergebnisse kann die Versorgungssituation an Industrieholz trotz der Nutzungskonkurrenz mit der Energiewirtschaft nach wie vor als sehr gut bezeichnet werden.

Abbildung 20 – Versorgungssituation für Energieholz im Basisszenario mit Industrieholzlager der Energiewirtschaft mit maximaler Lagerkapazität von (i) 10%, (ii) 20% und (iii) 30% der potentiellen Inlandsnachfrage an Energieholz

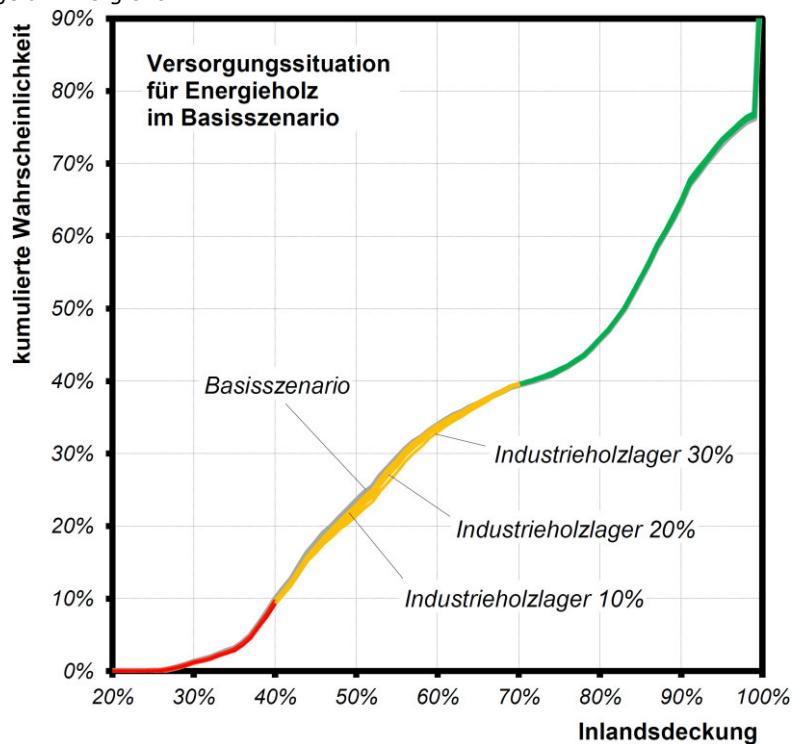


Abbildung 21 – Versorgungssituation für Energieholz im Klimawandelszenario mit Industrieholzlager der Energiewirtschaft mit maximaler Lagerkapazität von (i) 10%, (ii) 20% und (iii) 30% der potentiellen Inlandsnachfrage an Energieholz

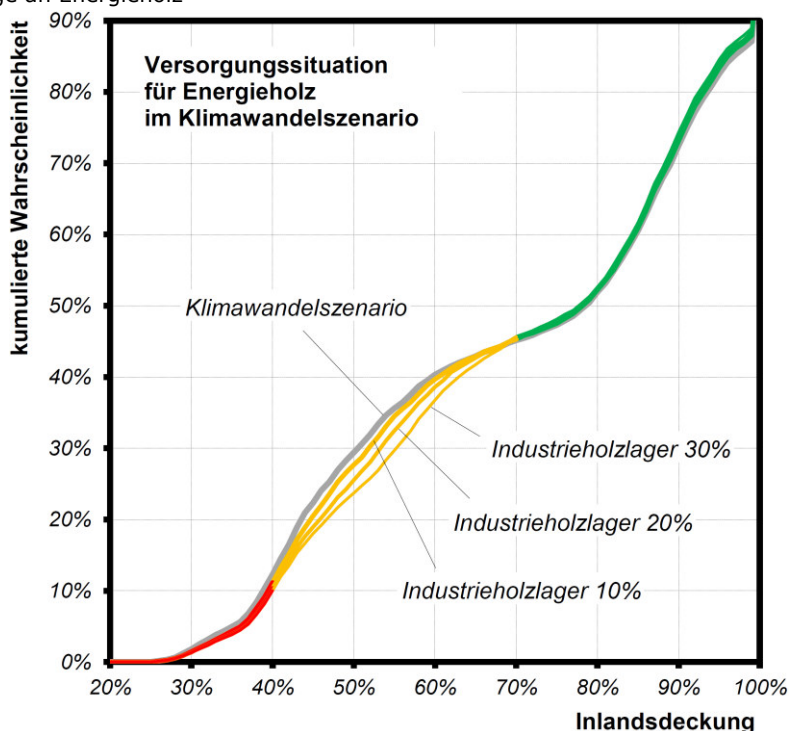
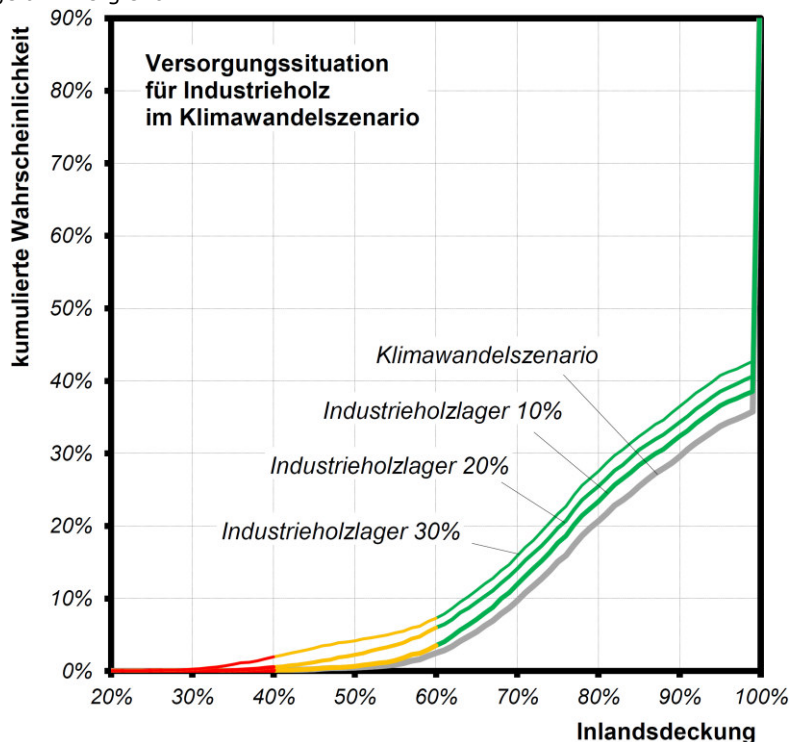


Abbildung 22 – Versorgungssituation für Industrieholz im Klimawandelszenario mit Industrieholzlager der Energiewirtschaft mit maximaler Lagerkapazität von (i) 10%, (ii) 20% und (iii) 30% der potentiellen Inlandsnachfrage an Energieholz



Zusammenfassend lässt sich für oben genannte Ergebnisse festhalten, dass solche Maßnahmen wesentlich vom Industrieholzpreis bzw. der Relation zwischen Industrie- und Energieholzpreisen abhängig ist. Je geringer der Preisunterschied, desto attraktiver wird Industrieholz für die energetische Nutzung. Gerade der

fortschreitende Klimawandel und die dabei erwarteten Preisschwankungen eröffnen neue Rohholzmärkte und begünstigen angebotsseitige Diversifikation, führen aber unweigerlich zu Nutzungskonkurrenz und erhöhtem Wettbewerb auf etablierten Märkten. Zumal die simulierten Effekte sowohl im Basis-, aber auch im Klimawandelszenario, hinsichtlich ihrer Auswirkung auf die Versorgungssicherheit von Energieholz als gering bis mäßig bezeichnet werden können, ist festzuhalten, dass dies zum Teil auf die aggregierte Struktur des Modells und die kumulierte Auswertungsmethodik zurückzuführen ist. Für einzelne Energieversorger könnten die simulierten Maßnahmen situationsbedingt von größerem Nutzen sein, als dies das aggregierte Gesamtbild vermuten lässt. Jedenfalls sind solche zentralen Sicherheitsbestände ein geeignetes Instrument zur gezielten Kompensation von Versorgungsengpässen an Energieholz, wobei die Lenkung der Effekte unter anderem durch die jeweils zum Einsatz gelangende Lagerentnahmestrategie mitbestimmt wird.

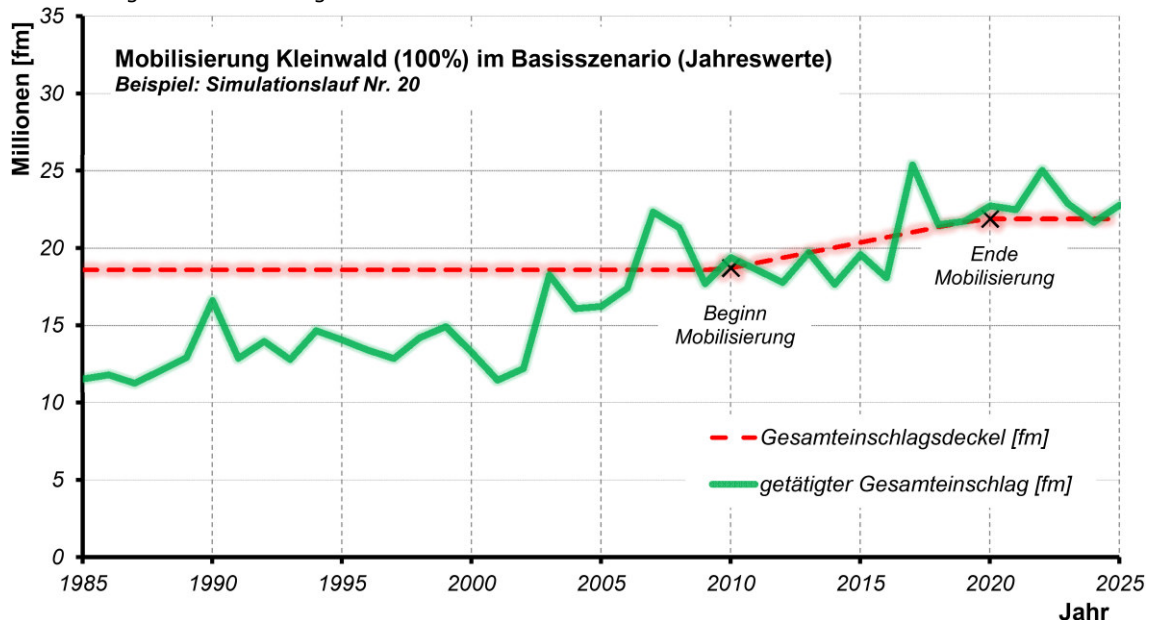
Strategie „Kooperation mit forstlichen Zusammenschlüssen“

Die gesamte Einschlagsmenge unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitskriterien (Nachhaltshiebsatz) im Modell RiskHo ist aktuell mit 18,6 Mio. fm jährlich gedeckelt (Einschlagsdeckel), wobei sich für die Eigentumskategorien Großwald bzw. Kleinwald Einschlagsdeckel von 6,9 bzw. 11,7 Mio. fm ergeben. Diese Einschlagsdeckel sind jedoch nicht starr, sondern beim Überschreiten der Planeinschläge (freiwillige Einschläge), z.B. im Zuge eines erhöhten Schadholzanfalls, kommt es zu Kompensationen bzw. Reduktionen der tatsächlichen Einschläge (siehe Abbildung 23). Gerade der Kleinwald liefert mit seinem Potential von über 11 Mio. fm pro Jahr einen beachtlichen Anteil am gesamten Rohholzaufkommen, was Mobilisierungsmaßnahmen für den Kleinwald erstrebenswert erscheinen lässt. Gemäß den aktuellen Ergebnissen der Holz- und Biomasseaufkommensstudie (BFW 2009), sowie deren Interpretation nach Mannsberger (2010), erscheint ein nachhaltiges jährliches Potential von 24,4 Mio. fm unter günstigen Rahmenbedingungen, wie dem Ausbau der forstlichen Infrastruktur, attraktiver Holzpreise etc. und ohne grundlegender Änderung politischer Rahmenbedingungen bzw. relevanter Gesinnungsänderung der Waldeigentümer als realistisch, wobei 9,4 Mio. fm auf den Großwald und 15 Mio. fm auf den Kleinwald entfallen. Demnach ergibt sich unter der Annahme von gezielten Mobilisierungsanstrengungen alleine für den Kleinwald im Vergleich zu den aktuellen Werten ein theoretisches, freies jährliches Potential von 3,3 Mio. fm.

Genau hier setzt die Simulation der Strategie Nr. 11 – „Kooperation mit forstlichen Zusammenschlüssen (Mobilisierung Kleinwald)“ an, wobei drei Varianten unter der zusätzlichen Ausschöpfung von (i) 1/3 (33%), (ii) 2/3 (67%) und (iii) 100% dieses freien Potentials für den Kleinwald simuliert werden. Die 100%-Variante versteht sich dabei als Extremwert-Szenario, welches die vollständige Ausschöpfung der freien Ressourcen im Kleinwald unterstellt. Die Nutzung des freien Potentials stellt sich modelltechnisch im Kleinwald dabei zum einen durch das Anheben des Einschlagsdeckels, zum anderen als aliquote Erhöhung der Planeinschläge dar. Die Mobilisierungsmaßnahmen im Kleinwald finden dabei in der Zukunft über die Prognosejahre 2010 bis 2020 unter linearer Zunahme bis zum Erreichen des Endwertes statt (siehe Abbildung 23), wobei 20% des zusätzlich mobilisierten Kleinwald-Potentials als Waldflächen-Äquivalente an die Eigentumskategorie

Großwald übergeben werden. Dies trägt dem Umstand Rechnung, dass Mobilisierungsmaßnahmen im Kleinwald auch im Rahmen forstwirtschaftlicher Zusammenschlüsse von statten gehen und das somit zusätzliche Potential zum Teil einer Bewirtschaftung mit einem Einschlagsverhalten ähnlich den Forstbetrieben des Großwaldes unterliegt.

Abbildung 23 – Rücknahme des Planeinschlags in Abhängigkeit des Einschlagsdeckels und dessen Erweiterung bei Mobilisierung Kleinwald



Sowohl im Basis- als auch im Klimawandelszenario kommt es bei der Simulation der Mobilisierungsmaßnahmen im Kleinwald zu einer eindeutigen Verbesserung der Versorgungssituation aller Rohholzmengen, insbesondere Energieholz (siehe Abbildungen 24 und 25) und Industrieholz (siehe Abbildung 26). Je nach Szenario kann für die Eintrittswahrscheinlichkeit einer gefährdeten Versorgungssituation eine theoretische Verbesserung von bis zu -6% (im Basisszenario mit 100%iger Potentialausschöpfung), sowie für die Eintrittswahrscheinlichkeit einer Unterversorgung eine theoretische Verbesserung von bis zu -9% (im Klimawandelszenario mit 100%iger Potentialausschöpfung) erzielt werden. Aber bereits die niedriger angesetzten Varianten bringen deutliche Verbesserungen der Versorgungssituation an Energieholz. So wird die Eintrittswahrscheinlichkeit von Unterversorgung im Klimawandelszenario bei einer Potentialausschöpfung von 1/3 um -3%, bei einer Potentialausschöpfung von 2/3 um -6% reduziert.

Abbildung 24 – Versorgungssituation für Energieholz im Basisszenario mit Mobilisierung Kleinwald unter Ausschöpfung von (i) 33%, (ii) 67% und (iii) 100% des theoretisch möglichen Mobilisierungspotentials

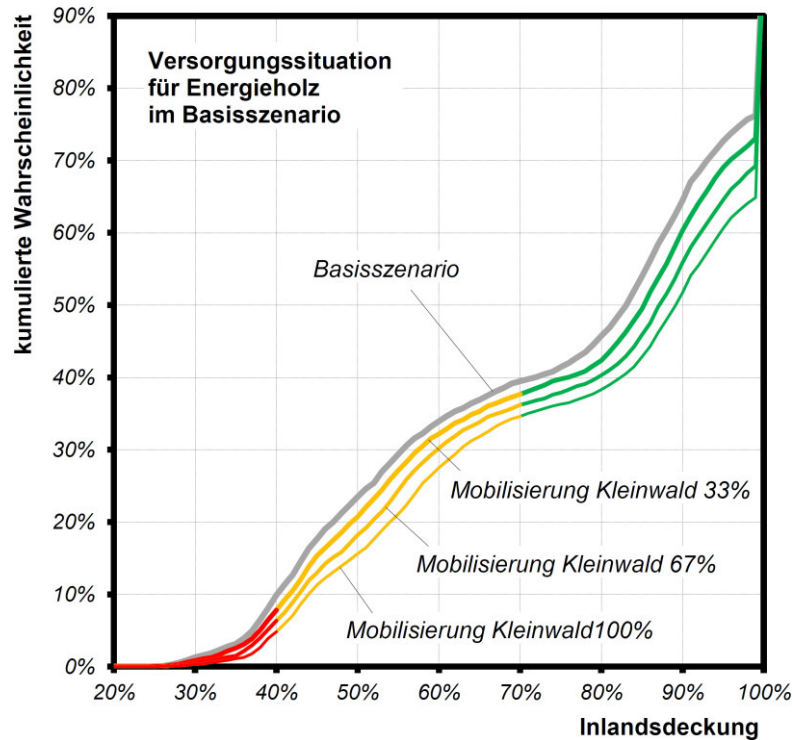


Abbildung 25 – Versorgungssituation für Energieholz im Klimawandelszenario mit Mobilisierung Kleinwald unter Ausschöpfung von (i) 33%, (ii) 67% und (iii) 100% des theoretisch möglichen Mobilisierungspotentials

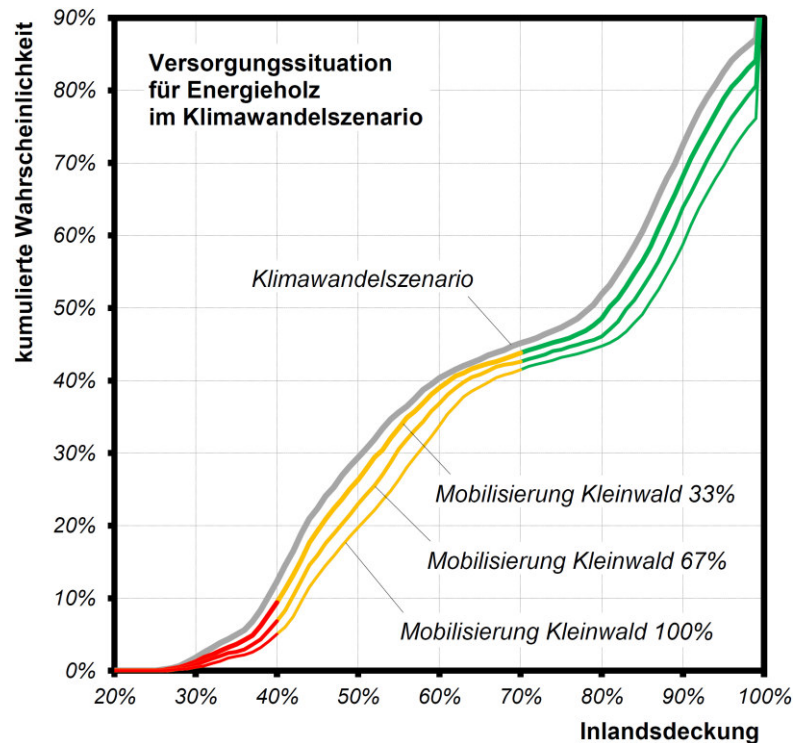
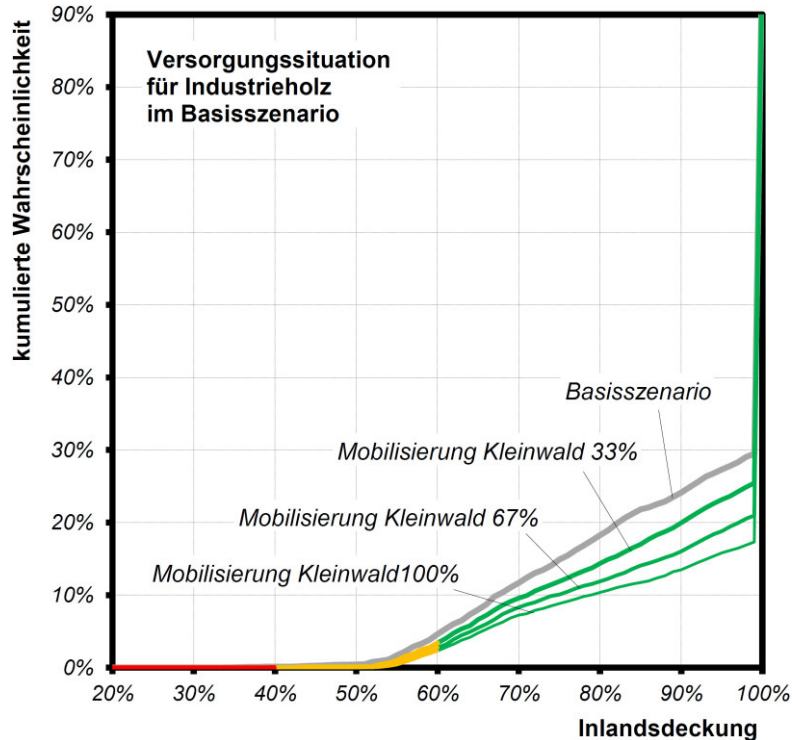


Abbildung 26 – Versorgungssituation für Industrieholz im Basisszenario mit Mobilisierung Kleinwald unter Ausschöpfung von (i) 33%, (ii) 67% und (iii) 100% des theoretisch möglichen Mobilisierungspotentials



Kombination der Strategien

Um zu einer Abschätzung des vorhandenen Verbesserungspotentials durch die Fülle von vorhandenen Strategien zu gelangen, werden Kombinationen aus den vorherigen Strategien unter den Rahmenbedingungen des Basis- und Klimawandelszenarios simuliert. Dabei wird die Kombination aus natürlicher und künstlicher Trocknung sowohl mit dem Industrieholzlager der Energiewirtschaft und der Mobilisierung Kleinwald, sowie die Gesamtkombination aller drei Optionen simuliert. Für das Industrieholzlager der Energiewirtschaft wird die mittlere Variante mit einer Lagerkapazität von 20% der Jahresnachfrage an Energieholz herangezogen, für die Mobilisierung Kleinwald wird die Variante unter Ausschöpfung von 2/3 der möglichen Potentialsteigerung gewählt, um einer realistischen Betrachtung Rechnung zu tragen. Unter dem Zusammenwirken von angebots- und nachfrageseitigen positiven Effekten sowie dem Erschließen alternativer Rohholzmärkte besteht bei der kombinierten Simulation eindeutig großes Potential zur Verbesserung der gesamten Versorgungssituation für Energieholz (siehe Abbildungen 27 und 28). Je nach Referenzszenario lässt sich die Eintrittswahrscheinlichkeit für eine gefährdete Versorgungssituation um bis zu -8% (im Basisszenario), die Eintrittswahrscheinlichkeit einer Unterversorgung sogar um bis zu -10% (im Klimawandelszenario) reduzieren. Insbesondere der Effekt durch das Industrieholzlager der Energiewirtschaft wird im Klimawandelszenario durch die vermehrt verfügbaren Mengen an Industrieholz sowie durch die Mobilisierungsmaßnahmen im Kleinwald verstärkt, bei gleichzeitiger Reduktion des dabei induzierten Konkurrenzdruckes der stofflichen Industrie durch die Energiewirtschaft.

Abbildung 27 – Versorgungssituation für Energieholz im Basisszenario mit Kombinationen der verschiedenen Strategien (Trocknung; Industrieholzlager der Energiewirtschaft; Mobilisierung Kleinwald)

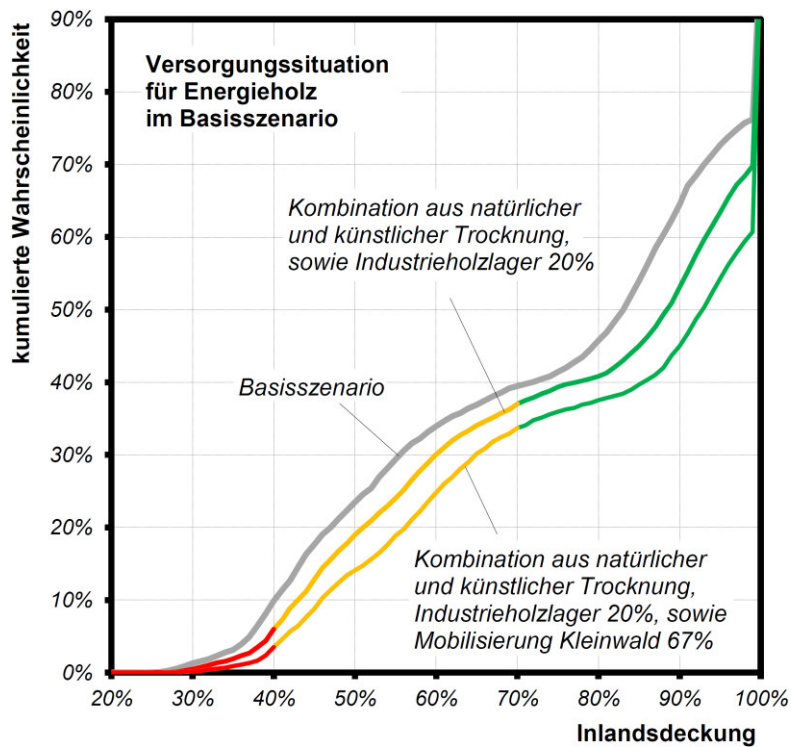
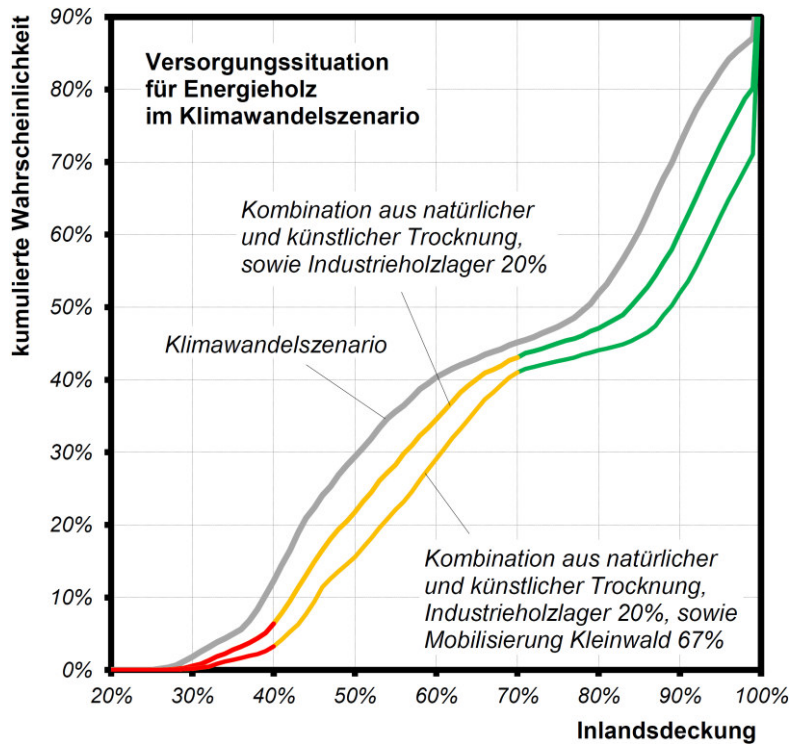


Abbildung 28 – Versorgungssituation für Energieholz im Klimawandelszenario mit Kombinationen der verschiedenen Strategien (Trocknung; Industrieholzlager der Energiewirtschaft; Mobilisierung Kleinwald)



4 Richtlinien zum Risikomanagement in der Versorgungskette Holzbiomasse

Im Folgenden werden die in den vorangegangenen Abschnitten als robust evaluierten Strategien zusammenfassend erläutert und allgemein verständlich dargestellt. Die Richtlinien zum Risikomanagement in der Versorgungskette Holzbiomasse dienen als Beitrag dieses Forschungsprojektes zur Erhöhung der Versorgungssicherheit holzbasierter Heiz- und Heizkraftwerke in Österreich.

4.1 Diversifikation des Lieferantenportfolios

Die Strategie „Diversifikation des Lieferantenportfolios“ umfaßt einerseits die Verbreiterung der Lieferantenstruktur und andererseits die bewußte Nutzung verschiedener Bereitstellungsketten. Die Verbreiterung der Lieferantenstruktur besteht in der Herstellung eines ausgewogenen Portfolios an Brennstofflieferanten bestehend aus Großwaldbetrieben, Kleinwaldeigentümern, forstlichen Zusammenschlüssen (wie Waldwirtschaftsgemeinschaften oder Waldverbänden), Holzhändlern bzw. forstlichen Dienstleistern mit angeschlossenem Holzhandel (Maschinenring, private Unternehmer). Die Konzentration auf einige wenige, leistungsfähige Lieferanten verringert zwar den Beschaffungsaufwand, erhöht aber die Abhängigkeit und das Risiko einer Unterversorgung bei Versorgungsproblemen. Grundsätzlich gilt als logistische Faustregel, daß bei Abnahmemengen bei einem Großlieferanten in Höhe mehr als 70% dessen Lieferkapazität ein hohes Risiko besteht. Die Lieferantenbewertung als Grundlage der Diversifikation des Lieferantenportfolios bzw. als Entscheidungsunterstützung bei der Auswahl neuer Lieferanten sollte folgende Punkte beinhalten: Liefertreue, Anteil des Eigenwaldes, Größe des Brennstofflagers des Lieferanten, Wertschöpfungstiefe, Qualität des gelieferten Brennstoffes (v.a. Wassergehalt), Möglichkeit die Liefermengen bei Bedarf zu steigern sowie bestehende andere Lieferverpflichtungen.

4.2 Zentraler Sicherheitsbestand

Das Bereitstellungsmodell vieler österreichischer Biomasse(heiz)kraftwerke fußt auf der grundlegenden Versorgungsstrategie mit Lang- und Kurzfristlieferanten und sieht kein eigenes Lager von Energieholz vor. In geringem Umfang halten die Lieferanten natürlich Energieholz vor, wobei die ganzjährige Erreichbarkeit der Lagerplätze nicht immer gegeben ist. Die Strategie des zentralen Sicherheitsbestandes erweitert dieses Bereitstellungssystem um die Lagerung von Energieholz, damit während einer Verknappungssituation die Nachfrage zumindest teilweise aus dem zentralen Sicherheitsbestand abgedeckt werden kann.

Kurzfristig auftretende Versorgungsschwierigkeiten ergeben sich häufig aus operativen Problemen wie Gebrechen am Hacker oder witterungsbedingt (z.B. durch Schnee und Eis oder zeitweise nicht LKW-befahrbare Forststraßen etwa infolge Schneeschmelze oder einer anhaltender Regenperiode) und können durch das Vorhalten eines Lagers abgedeckt werden.

Die Umsetzung der Lagerstrategie kann durch die Errichtung einer zusätzlichen Lagerhalle für Waldhackgut, durch die Einrichtung eigener Rundholzlagerplätze oder auch durch das Vorhalten von externen Lägern (etwa auf Fremdgrund) umgesetzt werden.

Weitere Vorteile eines zentraler Sicherheitsbestandes sind die Erhöhung der Wertschöpfungstiefe, etwa durch Beauftragung von Hacker- und Transportunternehmern im Rahmen der Bewirtschaftung des eigenen Rundholzlagers, die potentielle Ausweitung des Brennstoffsortimentes um Faserholz, das nach schweren Waldschäden und entsprechenden Preisverfall gekauft werden kann sowie die Verwertung von Brennstoff aus Grünschnitt oder Trassenrodungen.

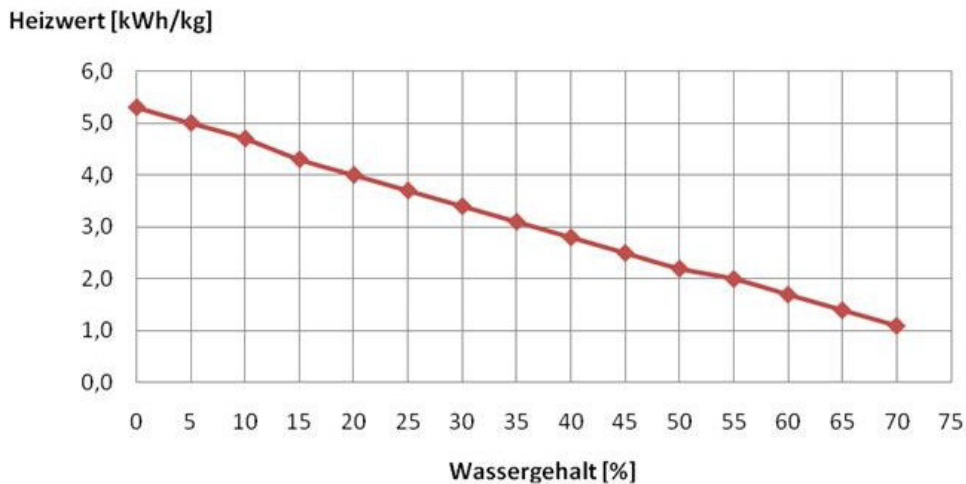
Ein zentraler Sicherheitsbestand ermöglicht den aktiven Energieholz-Einkauf auf den Spotmärkten während Niedrigpreisperioden und die Bildung einer Reserve für hochpreisige Phasen. Damit verfügt man auch über ein eventuell verhandlungsrelevantes Energieholzlager, das in Unterversorgungsphasen die Verhandlungsposition gegenüber Kurzfristlieferanten stärkt. Darüber hinaus ermöglicht ein zentraler Sicherheitsbestand den Einkauf auf überregionalen Märkten.

Bei der Beurteilung der Strategie des zentralen Sicherheitsbestandes sind auch die Effekte der natürlichen Trocknung von Holz auf Bereitstellungskosten und Logistikkonzepte zur Versorgung von Holzheizkraftwerken zu berücksichtigen. Es konnte nachgewiesen werden, dass die infolge längerer Lagerung entstehenden zusätzlichen Kosten durch die Steigerung des Heizwertes und damit verbundener positiver Effekten, wie Verringerung der Depositionskosten für Nass- und Trockenasche oder sinkender Brennstoffbedarf, kompensiert werden.

4.3 Trocknung des Brennstoffs

Holztrocknung kann den Heizwert der bereitgestellten Holzbiomasse erhöhen sowie den Ressourcenverbrauch senken (vgl. Abbildung 29). Die Erfahrungen der holzbasierten Bioenergieanlagen in Österreich zeigen, dass Holzbiomasse durchwegs mit einem zu hohen Wassergehalt bereitgestellt wird. Während der Heizperiode verfeuern österreichische Heiz(kraft)werke auch feucht geliefertes Waldhackgut. Der hohe durchschnittliche Wassergehalt bewirkt einen geringen Heizwert des Brennstoffes und führt zu einem höheren Holzbedarf. Damit steigen nicht nur die direkten Brennstoffkosten, sondern infolge der größeren Menge auch die Kosten für Logistik und Entsorgung der Nass- und Trockenasche sowie die Schadstoffemissionen der Verbrennung.

Abbildung 29: Der Heizwert [kWh/kg] von Holz in Abhängigkeit vom Wassergehalt [%], modifiziert nach der ÖNORM M 7132 (Kristöfel 2010)



Prinzipiell wird zwischen der natürlichen Trocknung und der technischen Trocknung unterschieden. Der Nachteil der natürlichen Trocknung liegt im unvorhersehbaren Trocknungserfolg, da der Trocknungsprozess entsprechend der Witterung und der natürlichen Rahmenbedingungen erfolgt, jahreszeitlich variiert und kaum beeinflusst werden kann. Der Trocknungserfolg der natürlichen Trocknung kann durch erneute Wasseraufnahme des Holzes verringert werden, durch ein Abdecken des Energieholzpolters mit einer Plane kann dies unterbunden werden.

Bei der technischen Trocknung kann gezielt der Trocknungsprozess gefördert und geregelt werden. Durch den Einsatz von Trocknungstechnologien sinkt die benötigte Ausgangsqualität des biogenen Rohstoffes, wodurch eine größere Roh- und Reststoffbasis erschlossen werden kann. Der Prozess der technischen Trocknung erweitert also das einsetzbare Spektrum an holzbasierten Brennstoffen. So können etwa Heizwerke, deren Verbrennungsanlagen einen niederen Wassergehalt des Brennstoffes benötigen, durch die technische Trocknung auch Grünschnitt oder Landschaftspflegeholz verfeuern, erschließen dadurch neue Ressourcen und erhalten zusätzliche Optionen bei den verwendbaren Energieträgern.

Weiters hat der Wassergehalt des zu transportierenden Waldhackgutes einen wesentlichen Einfluss auf die Auslastung des LKW und damit auf die Transportkosten.

4.4 Optimierung der Lieferkette

Bezüglich der Strategie „Optimierung der Lieferkette“ gab und gibt es viele Praxis- und Forschungsprojekte, die sich mit Fragen der Einsparungs- und Verbesserungsmöglichkeiten bei der Bereitstellung von Holzbiomasse für energetische Zwecke beschäftigen. Im Fokus dieser Anstrengungen sind primär Maßnahmen zur Verringerung der Transportkosten sowie der Hackkosten bzw. die Betrachtung ganzer Bereitstellungsketten. Die zur Bereitstellung von größeren Mengen am häufigsten eingesetzte und konkurrenzfähigste Bereitstellungskette ist die geschlossene Lieferkette mit mobilem Großhacker, der auf der Forststraße

stehend das Energieholz direkt in den LKW hackt. Größter Nachteil der geschlossenen Kette ist die Störungsanfälligkeit, die zu schlechter Auslastung des Hackers und damit zu erhöhten Kosten führen kann. Weiters liegen die meisten Energieholzpolter im Wald an nicht ganzjährig befahrbaren Forststraßen, wodurch bei ungünstiger Witterung diese Polter nicht gehackt werden können. In der Kostenbetrachtung der Bereitstellungsketten werden diese Nachteile zumeist nicht berücksichtigt. Auch die infolge der Nichterreichbarkeit der Energieholzpolter im Wald entstehenden Mehrkosten bzw. die eventuell resultierende Unterversorgung der Anlagen werden bzw. wurden zumeist nicht in einer Gesamtbetrachtung der Kosten unterschiedlicher Bereitstellungsketten berücksichtigt. Dadurch wurde die geschlossene Kette systematisch in den Beurteilungen vieler Studien einseitig begünstigt, während Bereitstellungsketten mit nicht geschlossenen Ketten bzw. Lagerplätze systematisch schlechter beurteilt wurden. In der Gesamtbetrachtung der Bereitstellung von Holzbiomasse über einen strategisch relevanten Zeitraum hinweg (etwa 5 bis 10 Jahre) ergibt sich, wie in der ökonomischen Beurteilung von geschlossener bzw. nicht geschlossener Bereitstellungsketten bzw. der Kombination ebendieser nachgewiesen werden konnte, ein anderes Bild. Die Nutzung eines außerhalb des Waldes gelegenen Lagerplatzes für Energieholz erhöht nicht nur die Versorgungssicherheit des zu beliefernden Werkes, sondern verringert auch die Gesamtkosten der Biomassebereitstellung. Dies ergibt sich v.a. durch positive Kosteneffekte in Situationen, wo die geschlossene Bereitstellungskette etwa witterungsbedingt nicht die geplanten Mengen bereitstellen kann und kurzfristig auf teurere Lieferanten oder kostspieligere Bereitstellungsketten zurückgegriffen werden muss.

4.5 Kooperative Logistiklösung mit Mitbewerbern / Lieferanten

Durch die Kooperation mit Mitbewerbern bzw. Lieferanten bei der Biomassebeschaffung können die Partner infolge höherer Einkaufsvolumina neue Lieferregionen bzw. neue Transportmodi erschließen. So kann bei entsprechend großer, gemeinsam zu beschaffender, Biomassemenge ein Import von Waldhackgut aus Bulgarien, Rumänien oder Serbien mit dem Binnenschiff als neue Importschiene ermöglicht werden. Aber auch der Transport im Inland mittels Bahn eröffnet den kooperierenden Partner weiter entferntere Lieferregionen und neue Lieferanten. Durch kooperative Logistikpartnerschaften können auch bestehende Ressourcen (z.B. Hacker, Lagerflächen) besser genutzt und Kosten gesenkt werden. Kooperative Logistiklösungen können allerdings bei selbstständigen Einkauf der Holzbiomasse auch in der anschließenden Optimierung der Transporte vom Aufkommensort zu den Abnehmerwerken verwirklicht werden. Die optimale Zuordnung (Allokation) der Versorgungsströme trägt zur Verringerung der Transportkosten in Höhe von 14 bis 24% der gesamten Transportkosten bei. Kooperative Logistiklösungen benötigen neben dem Vertrauen der Partner auch vertraglich klar abgegrenzte Aufgaben und Kostenzuordnungen. Als bekannte Hindernisse für eine Kooperation wären Konkurrenzdenken oder strategische Bestrebungen der einzelnen Unternehmen nach einer möglichst selbstständigen Rohstoffversorgung anzuführen. Auch bestehen teils massive Bedenken, dass sich

die Kooperation als „Schönwetterpartnerschaft“ erwiesen könnte, etwa dass sie unter regulären Versorgungsbedingungen gut funktionieren, bei Versorgungsengpässen aber keine kooperative Lösung umgesetzt werde. Dennoch stellen kooperative Logistiklösungen eine vielversprechende Strategie dar, um die Beschaffung von Holzbiomasse effizienter zu gestalten und die Wettbewerbsfähigkeit der holzbasierten Energieerzeugung zu steigern.

4.6 Kooperation mit forstlichen Zusammenschlüssen

Die Strategie „Kooperation mit forstlichen Zusammenschlüssen (Mobilisierung Kleinwald)“ hat sich infolge des hohen noch im Kleinwald schlummernden Holzpotentials als erfolgsversprechende Strategie erwiesen. Allerdings ist die Mobilisierung des Biomassepotentials in der Praxis bekanntermaßen schwierig und langwierig. Die hohe Zahl von Kleinwaldbesitzern sowie deren unterschiedliche Einstellungen zur Waldbewirtschaftung erfordern entsprechend maßgeschneiderte Programme für die verschiedenen Waldbesitzertypen bzw. Waldgesinnungen. Obwohl nicht davon ausgegangen werden kann, dass sich dieses Potential vollständig lukrieren lässt, bestehen hier die bei weitem größten Reserven und folglich auch ein wichtiger Auftrag an Interessenvertretungen und Politik. Beispielsweise sind Waldbesitzerverbände im Verbund mit forstlichen Dienstleistern gefragt, um innovative Konzepte für eine Mobilisierung der bisher ungenutzten Biomasse zu entwickeln und zu implementieren. Für Energieerzeuger mit relativ geringem bzw. andererseits für solche mit sehr hohem Holzbiomassebedarf empfiehlt sich auch die gemeinschaftliche Eigenentwicklung von Mobilisierungsmaßnahmen mit forstlichen Zusammenschlüssen bzw. forstlichen Dienstleistern.

5 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Das Ökostromgesetz 2002 sowie dessen Novellierungen in den Jahren 2008 und 2009 stimulierte erfolgreich den Neubau von Holzbiomasse-KWK-Anlagen und induzierte damit einen rasanten Anstieg der Energieholznachfrage. Die Deckung des Inlandbedarfes erweist sich, auch infolge einer geringen Holzmobilisierung im Inland, als schwieriger und kostspieliger als ursprünglich angenommen. Die derzeit noch verfügbaren Importmengen stammen fast ausschließlich aus Ländern, in denen mittlerweile auch die Nutzung von erneuerbaren Energieträgern gefördert wird. Außerdem besteht die direkte Rohstoffkonkurrenz mit der Zellstoff-, Papier- und Plattenindustrie und zukünftig werden innovative Produkte wie WPC oder BtL diese weiter verschärfen. Vom Klimawandel induzierte Effekte wie häufigere Stürme oder steigende Borkenkäferschäden werden nur kurzfristig und vordergründig die Rohstoffversorgung erleichtern. Insgesamt fehlten bislang adäquate Strategien, um unter derart geänderten Rahmenbedingungen eine sichere Energieholzversorgung gewährleisten zu können.

Im Rahmen des Projektes wurde folgende Strategien, die einen wesentlichen Beitrag zur Erhöhung der Versorgungssicherheit im Versorgungsnetzwerk Holzbiomasse leisten können, als robust hinsichtlich ihrer Implementierung in der Praxis evaluiert: (i) Diversifikation des Lieferantenportfolios, (ii) zentraler Sicherheitsbestand, (iii) Trocknung des Brennstoffs, (iv) Optimierung der Lieferkette, (v) kooperative Logistiklösung mit Mitbewerbern / Lieferanten, sowie (vi) Kooperation mit forstlichen Zusammenschlüssen (Mobilisierung Kleinwald). Diese wurden, soweit dies möglich ist mittels stochastischer Simulation bzw. einem System Dynamics Modell der Holzbereitstellung in Österreich(RisikHo) vertiefend evaluiert.

Allgemein belegen die Simulationsergebnisse, dass die Deckung des Inlandbedarfes an Energieholz sich zukünftig wesentlich schwieriger gestalten wird als bereits bisher. Neben der direkten Rohstoffkonkurrenz mit der Zellstoff-, Papier- und Plattenindustrie können zukünftig innovative Produkte wie WPC die ohnedies prekäre Versorgungslage weiter verschärfen. Vom Klimawandel induzierte Effekte wie häufigere Stürme oder steigende Borkenkäferschäden werden nur kurzfristig die Rohstoffversorgung erleichtern, denn nach erfolgter Schadholzaufarbeitung wird die österreichisch Forstwirtschaft teilweise den Planeinschlag entsprechend verringern bzw. zumindest temporär den Einschlag aussetzen. Diese Nutzungsrücknahmen werden letztendlich den Mehranfall überkompensieren und zu vermehrt auftretenden Unterversorgungssituationen führen.

Die ökonomische Evaluierung belegt für die Strategie "zentraler Sicherheitsbestand" eine Reduktion der gesamten Beschaffungskosten um 1 bis 3%, weiters kann eine Verringerung des Versorgungsrisikos festgestellt werden. Bei der System Dynamics Simulation erweist sich diese Strategie allerdings sowohl im Basis-, aber auch im Klimawandelszenario, hinsichtlich ihrer Auswirkung auf die Versorgungssicherheit von Energieholz als gering bis mäßig wirksam. Wobei zu beachten ist, dass dies zum Teil auf die aggregierte Struktur des Modells und die kumulierte Auswertungsmethodik zurückzuführen ist. Für einzelne Energieversorger können die simulierten Maßnahmen situationsbedingt von größerem Nutzen sein, als dies das aggregierte Gesamtbild vermuten lässt. Jedenfalls sind solche zentralen Sicherheitsbestände ein geeignetes Instrument zur gezielten Kompensation von

Versorgungsengpässen an Energieholz, wobei die Lenkung der Effekte unter anderem durch die jeweils zum Einsatz gelangende Lagerentnahmestrategie mitbestimmt wird.

Hinsichtlich der Strategie „Trocknung des Brennstoffs“ konnte v.a. für die künstliche Trocknung ein hoher Einfluss auf die Versorgungssicherheit nachgewiesen werden wobei die Eintrittswahrscheinlichkeit einer gefährdeten Versorgungssituation (gelber Bereich) um ca. 3%, die Eintrittswahrscheinlichkeit einer Unterversorgung (roter Bereich) um ca. 4% verringert werden kann. Auch die Kombination aus natürlicher und künstlicher Trocknung reduziert die Eintrittswahrscheinlichkeit einer gefährdeten Versorgung bzw. Unterversorgung wesentlich.

Sowohl im Basis- als auch im Klimawandelszenario kommt es bei der Simulation der Mobilisierungsmaßnahmen im Kleinwald zu einer eindeutigen Verbesserung der Versorgungssituation aller Rohholzmengen, insbesondere Energieholz und Industrieholz. Je nach Szenario kann für die Eintrittswahrscheinlichkeit einer gefährdeten Versorgungssituation eine theoretische Verbesserung von bis zu -6% (im Basisszenario mit 100%iger Potentialausschöpfung), sowie für die Eintrittswahrscheinlichkeit einer Unterversorgung eine theoretische Verbesserung von bis zu -9% (im Klimawandelszenario mit 100%iger Potentialausschöpfung) erzielt werden. Aber bereits die niedriger angesetzten Varianten bringen deutliche Verbesserungen der Versorgungssituation an Energieholz. So wird die Eintrittswahrscheinlichkeit von Unterversorgung im Klimawandelszenario bei einer Potentialausschöpfung von 1/3 um -3%, bei einer Potentialausschöpfung von 2/3 um -6% reduziert.

Um zu einer Abschätzung des vorhandenen Verbesserungspotentials durch die Fülle von vorhandenen Strategien zu gelangen, wurden auch Kombinationen aus den vorherigen Strategien unter den Rahmenbedingungen des Basis- und Klimawandelszenarios simuliert. Dabei wurde die Kombination aus natürlicher und künstlicher Trocknung sowohl mit dem Industrieholzlager der Energiewirtschaft und der Mobilisierung Kleinwald, sowie die Gesamtkombination aller drei Optionen simuliert. Für das Industrieholzlager der Energiewirtschaft wurde die mittlere Variante mit einer Lagerkapazität von 20% der Jahresnachfrage an Energieholz herangezogen, für die Mobilisierung Kleinwald wurde die Variante unter Ausschöpfung von 2/3 der möglichen Potentialsteigerung gewählt, um einer realistischen Betrachtung Rechnung zu tragen.

Unter dem Zusammenwirken von angebots- und nachfrageseitigen positiven Effekten sowie dem Erschließen alternativer Rohholzmärkte besteht bei der kombinierten Simulation eindeutig großes Potential zur Verbesserung der gesamten Versorgungssituation für Energieholz. Je nach Referenzszenario lässt sich die Eintrittswahrscheinlichkeit für eine gefährdete Versorgungssituation um bis zu -8% (im Basisszenario), die Eintrittswahrscheinlichkeit einer Unterversorgung sogar um bis zu -10% (im Klimawandelszenario) reduzieren. Insbesondere der Effekt durch das Industrieholzlager der Energiewirtschaft wird im Klimawandelszenario durch die vermehrt verfügbaren Mengen an Industrieholz sowie durch die Mobilisierungsmaßnahmen im Kleinwald verstärkt, bei gleichzeitiger Reduktion des dabei induzierten Konkurrenzdruckes der stofflichen Industrie durch die Energiewirtschaft.

Die praxisnahe Synthese der Ergebnisse der strategischen Analysen sowie der holistischen Strategieevaluerungen erfolgte in der Formulierung von Richtlinien für

ein robustes Risikomanagement zur Erhöhung der Versorgungssicherheit von Biomasseheiz(kraft)werken in Österreich. Diese Richtlinien beschreiben knapp zusammenfassend die besten und als robust bewerteten Strategien als Grundlage für die Implementierung durch die Praxis.

Ausblick und Empfehlungen

Im Rahmen des vorliegenden Projektes wurden innovative Strategien zur Bewältigung der bestehenden und zu erwartenden Versorgungsschwierigkeiten entwickelt und holistisch evaluiert, um die Wettbewerbsfähigkeit der energetischen Nutzung des erneuerbaren Energieträgers Holz zu erhöhen. Die Implementierung der als robust evaluierten Strategien wird durch deren praxisgerechte Aufbereitung in den „Richtlinien zum Risikomanagement in der Versorgungskette Holzbiomasse“ maßgeblich unterstützt.

Die Zielgruppe der „Richtlinien zum Risikomanagement in der Versorgungskette Holzbiomasse“ umfasst all Stakeholder des Versorgungsnetzwerkes Holzbiomasse: primär aber die direkt Betroffenen wie Forstbetriebe, KleinwaldbesitzerInnen, forstliche Entrepreneurs, Transportunternehmen und Bioenergieproduzenten. Aber auch alle mit Bioenergie in politischer, sozialer, ökonomischer oder ökologischer Hinsicht befassten Stakeholder erhalten eine solide Basis für politische Entscheidungsprozesse oder ökonomische Investitionsentscheidungen. Die „Richtlinien zum Risikomanagement in der Versorgungskette Holzbiomasse“ werden unentgeltlich zur Verfügung gestellt, das ökonomische Potential ihrer Implementierung ist allerdings vielversprechend.

Die Ergebnisse der Studie stellen neben einer fundierten Bewertung der Versorgungsrisiken auch robuste Strategien und Maßnahmen zur Erhöhung der Versorgungssicherheit dar. Die erzielten robusten Ergebnisse zeigen, dass die entwickelten und getesteten Vorsorgestrategien, etwa in Phasen einer Holzknaptheit, die Ressourcen- und Energieeffizienz der Versorgung von Biomasseheiz(kraft)werken wesentlich verbessern können. Die entsprechende Verbreitung und Veröffentlichung der Ergebnisse, allem voran aber der entwickelten Richtlinien, ist daher von vorrangiger Bedeutung. Gemeinsam mit den Stakeholdern sollte hier ein Konzept, das die breite Bekanntmachung der Ergebnisse sowie deren Implementierung in der Praxis unterstützt, entwickelt und umgesetzt werden.

Das profunde Wissen um die wahrscheinlichen Auswirkungen von Risiken sowie robuster Vorsorgestrategien dient auch als Ausgangspunkt für anknüpfende Fragestellungen. Etwa ob und inwieweit Risiken verschiedene Regionen in Österreich unterschiedlich gefährden, wobei regionale Spezifika wie etwa naturräumlicher Biomassepotentiale, konkrete Importoptionen, Verfügbarkeit von verschiedenen Transportmodi, Brennstoffanforderungen oder spezifische Konkurrenzfaktoren zu beachten wären, kann aufbauend auf die Projektergebnisse vertiefend bearbeitet werden.

6 Literaturverzeichnis

- Ananda, J., Herath, G. (2003): The use of Analytic Hierarchy Process to incorporate stakeholder references into regional forest planning. *Forest Policy and Economics* 5(1), S. 13–26. Elsevier.
- Ananda, J., Herath, G. (2009): A critical review of multi-criteria decision making methods with special reference to forest management and planning. *Ecological Economics* 68(10), S. 2535–2548. Elsevier.
- Barlas, Y. 1996. "Formal Aspects of Model Validity and Validation in System Dynamics".
- Bartol K., Martin D. (1998): *Management*. 3rd Ed., Irwin McGraw-Hill, Boston, Massachusetts (u.a.), 223–226.
- Belton, V., Stewart, T. J. (2002): *Multiple Criteria Decision Analysis: An Integrated Approach*. 2. Auflage 2003. Kluwer Academic Publishers.
- BFW (2009): BFW Praxisinformationen, Nr.18.
- BMLFUW (2006): *Nationaler Biomasseaktionsplan für Österreich*. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Begutachtungsentwurf. Wien.
- Chang, C.-W., Wu, C.-R., Lin, C.-T., Chen, H.-C. (2007): An application of AHP and sensitivity analysis for selecting the best slicing machine. *Computers & Industrial Engineering* 52(2), S. 296–307. Elsevier.
- Forman, E., Peniwati, K. (1998): Aggregating individual judgments and priorities with the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research* 108(1), S. 165–169. Elsevier.
- Forrester, J. W. (1961): *Industrial dynamics*. MIT Press, Cambridge, MA.
- Gronalt M., Häuslmayer H., Kaipel M., Mittendorfer M., Rauch P. (2009): *BioShip. Potentiale und Sicherstellung der Versorgung und Distribution des Bio-Energie Sektors in Österreich unter Nutzung der Binnenschifffahrt in Logistikketten*. *Energiesysteme der Zukunft*.
- Gronalt M., Rauch P. (2007): Designing a regional forest fuel network. *Biomass & Bioenergy* 31(6), S. 393–402. Elsevier.
- Gronalt M., Rauch P. (2008): *BioLog II - Überregionales Logistik- und Versorgungsnetzwerk für Holz-Biomasse*. Endbericht. FFG Projekt 812774. *Energiesysteme der Zukunft*. bmvit. 107.
- Haas W., Weisz U., Balas M., McCallum S., Lexer W., Pazdernik K., Prutsch A., Radunsky K., Formayer H., Kromp-Kolb H., Schwarzl I. (2008): *Identifikation von Handlungsempfehlungen zur Anpassung an den Klimawandel in Österreich: 1. Phase, 2008*. Bericht im Auftrag des Lebensministeriums.
- Hagenson, N. (1990): *System Dynamics Combined with Monte Carlo Simulation*. The 8th International Conference of the System Dynamics Society 1990. Chestnut Hill, Massachusetts, USA.
- Hardaker J., Huirne R., Anderson J., Lien G. (2004): *Coping with Risk in Agriculture*. 2. ed., CABI Publ., Wallingford.
- Hasani-Marzooni, M., Hosseini, S. H., (2011): Dynamic model for marked-based capacity investment decision considering stochastic characteristic of wind power. *Renewable Energy* 36, 2205–2219.
- Ho, W. (2008): Integrated analytical hierarchy process and its applications – A literature review. *European Journal of Operational Research* 186(1), S. 211–228. Elsevier.
- Hogl K., Pregernig M., Weiß G. (2005): What is New about New Forest Owners? A Typology of Private Forest Ownership in Austria. *Small -scale forest economics, management and policy* (4): 3, 325–342.
- Jonas A. (2003): Potenzialabschätzung Waldhackgut. In StreiBelberger et al.: *Potenziele für biogene Rohstoffe zur energetischen Nutzung*
- Jonas A., Haneder H. (2001): *Energie aus Holz*. 8. Aufl., NÖ-LWK, St. Pölten.
- Jonsson, Ragnar (2010): *MODELLING AND PROJECTIONS OF WOOD PRODUCTS DEMAND, SUPPLY AND TRADE IN EUROPE – Market modelling approach for EFSOS II*; unpublished draft, Alnarp.

- Jüttner U.; Peck H.; Christopher M. (2003): Supply Chain Risk Management: Outlining an Agenda for Future Research, *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 6(4): 197-210.
- Kangas, J. (1992): Multiple-use planning of forest resources by using the analytical hierarchy process. *Scandinavian Journal of Forest Research* 7(1-4), S. 259–268. Taylor & Francis.
- Kangas, J., Kangas A. (2005): Multiple criteria decision support in forest management – the approach, methods applied, and experience gained. *Forest Ecology and Management* 207(1-2), S. 133–143. Elsevier.
- Kersten W., Hohrath P., Böger M., Späth H. (2006): Supply Chain Risk Management: Development of a Theoretical and Empirical Framework; Managing Risks in Supply Chains. *Proceedings of the First Hamburg International Conference of Logistics*, September 2006.
- Kleijnen, J. P.C. (1995): Verification and validation of simulation models. *European Journal of Operational Research* 82, 145–162.
- Lobriser R., Abplanalp P.A. (1998): Strategisches Management. Visionen entwickeln. Strategien umsetzen. Erfolgspotentiale aufbauen. Versus, Zürich, 468.
- Margles, S. W., Masozera, M., Rugyerinyange, L., Kaplin, B. A. (2010): Participatory Planning: Using SWOT-AHP Analysis in Buffer Zone Management Planning. *Journal of Sustainable Forestry* 29(6-8), S. 613–637. Taylor & Francis.
- Meixner, O., Haas, R. (2009): Wissensmanagement und Entscheidungsunterstützung. 2., vollst. Überarb. Aufl., – Wien: Eigenverlag Institut für Marketing und Innovation, Univ. f. Bodenkultur Wien.
- Ossadnik, W., Lange, O. (1999): AHP-based evaluation of AHP-Software. *European Journal of Operational Research* 18(3), S. 578–588. Elsevier.
- Porter M. E. (1980): *Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors*. The Free Press, New York.
- Proctor, W. (2000): Towards sustainable forest management: an application of multi-criteria analysis to Australian forest policy. *Third International Conference of the European Society for Ecological Economics*, Mai 3-6, Wien, Österreich.
- Qi C, Chang N.-B. (2011): System dynamics modeling for municipal water demand estimation in an urban region under uncertain economic impacts. *Journal of Environmental Management* 92, 1628–1641.
- Rauch P. (2009): Including Forest Damages and Supply Shortage Periods in Forest Fuel Procurement Decisions Using Monte Carlo Simulation. *Proceedings of the European Biomass Conference*
- Rauch P. (2010): Bestimmung des Einsparungspotentials einer kooperativen Holzbiomassebeschaffung für Kraftwärmekopplungsanlagen anhand konkreter Beispielskooperationen. *Allgemeine Forst- u. Jagdzeitung*, 181. Jg., Heft 7/8, Seite 156-160).
- Rauch P., Gronalt M. (2008): BioLog II - Überregionales Logistik- und Versorgungsnetzwerk für Holz-Biomasse. *bmvit*, 112.
- Rauch P., Gronalt M., Häuslmayer H. (2007): "Überregionales Logistik- und Versorgungsnetzwerk für Holz-Biomasse". *Schriftenreihe "Berichte aus Energie- und Umweltforschung"* 51, *bmvit*, 89.
- Rauch P., Hahn H., Gronalt M., Schwarzbauer P. (2011): System Dynamics Modell des Versorgungsnetzwerks Holzbiomasse. In: Eric Sucky, Björn Asdecker, Alexander Dobhan, Sabine Haas, Jonas Wiese (Hrsg.): *Proceedings of LM 11. Logistikmanagement. Herausforderungen, Chancen & Lösungen*. *Schriftenreihe Logistik und Supply Chain Management*. University of Bamberg Press. 131-132.
- Rauch, P., Hahn, H., Schwarzbauer, P., Gronalt, M. (2011): Risk Assessment in the Wood Supply Network – a System Dynamics Approach. In: Weintraub et al., *14th Symposium for Systems Analysis in Forest Resources, SSAFR* 8-11 März, 2011.
- Saaty, T. L. (1977): A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology* 15(3), S. 234–281. Elsevier.

- Saaty, T. L. (1990): How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research* 48(1), S. 9–26. Elsevier.
- Schneeweiß, C. (1991): Planung: Systemanalytische und entscheidungstheoretische Grundlagen. Springer-Verlag.
- Schwarzbauer, P. (2007): Einflüsse von Schadholzmengen auf Rohholzpreise. Eine quantitativ-statistische Analyse am Beispiel Österreichs. *Allg. Forst- u. J.Ztg.*, 187. Jg. Heft 1, S. 1–8. Frankfurt a.M.: J.D. Sauerländer's Verlag.
- Schwarzbauer, P., Huber, W., Stern, T. (2009): Das Angebotsverhalten der österreichischen Forstwirtschaft – Ökonometrische Schätzungen von Angebotsfunktionen. In: Meixner, O., Schiebel, W. (Hrsg.): *Schriftenreihe des Instituts für Marketing & Innovation*, Band 3. Eigenverlag. Universität für Bodenkultur (BOKU), Wien.
- Schwarzbauer, P., Huber, W., Stern, T. (2009): Das Angebotsverhalten der österreichischen Forstwirtschaft – Ökonometrische Schätzungen von Angebotsfunktionen. In: Meixner, O., Schiebel, W. (Hrsg.): *Schriftenreihe des Instituts für Marketing & Innovation*, Band 3. Eigenverlag. Universität für Bodenkultur (BOKU), Wien.
- Schwarzbauer, P., Rametsteiner, E. (2001): The impact of SFM-certification on forest product markets in Western Europe – an analysis using a forest sector simulation model. *Forest Policy and Economics* 2, 241–256.
- Schwarzbauer, P., Stern, T. (2010): Energy vs. material: Economic impacts of a “wood-for-energy scenario” on the forest-based sector in Austria – A simulation approach. *Forest Policy and Economics* 12(1), S. 31–38.
- Stampfer K, Friedl K., Gronalt M. et. al (2011): Modellentwicklung für ökoeffiziente Versorgungslogistik am Beispiel der Waldbiomasse. Endbericht FFG Projekt 819015. *Neue Energien* 2020. 218.
- Sterman, J. D. (2000): *Business Dynamic. Systems Thinking and Modelling for a Complex World*. Irwin McGraw-Hill, Boston, MA.
- Tomiczek, C., Cech, T. L., Fürst, A., Hoyer-Tomiczek, U., Krehan, H., Perny, B., Steyrer, G. (2008): Forstschutzsituation 2007 in Österreich. *Forstschutz Aktuell* 42, 3–7.
- Toppinen, A., Kuuluvainen, J. (2010): Forest sector modelling in Europe – the state of the art and future research directions. *Forest Policy and Economics* 12, 2–8.
- Tritschler N. (2001). *Risikomanagementsysteme – eine empirische Studie zum aktuellen Stand der Integration in deutschen und internationalen Unternehmen*. Pforzheim: Masterarbeit. Fachhochschule Pforzheim, Hochschule für Gestaltung, Technik und Wirtschaft
- Vaidya, O. S., Kumar, S. (2006): Analytic hierarchy process: An overview of applications. *European Journal of Operational Research* 169(1), S. 1–29. Elsevier.
- Wagner S. M., Bode C. (2006): An Empirical Investigation into Supply Chain Vulnerability Experienced by German Firms. In: Kersten W., Blecker T. (eds.): *Managing Risks in Supply Chains: How to Build Reliable Collaboration in Logistics*. Erich Schmidt Verlag, Berlin. 79–96
- Zeng A. Z., Berger P. D., Gerstenfeld A. (2005): Managing the Supply-Side Risks in Supply Chains: Taxonomies, Processes and Examples of Decision-Making Modelling. *Applied Optimization Series* (92): 141–160.

IMPRESSUM

Verfasser

Rauch & Partner KG Forest Based Industry
Consulting
Ottakringerstraße 127/7, 1160 Wien

Autoren

- Peter Rauch
- Hermann Hahn
- Manfred Gronalt

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber

Klima- und Energiefonds
Gumpendorfer Straße 5/22
1060 Wien
E-Mail: office@klimafonds.gv.at
Web: www.klimafonds.gv.at

Disclaimer

Die Autoren tragen die alleinige Verantwortung für den Inhalt dieses Berichts. Er spiegelt nicht notwendigerweise die Meinung des Klima- und Energiefonds wider.

Weder der Klima- und Energiefonds noch die Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) sind für die Weiternutzung der hier enthaltenen Informationen verantwortlich.

Gestaltung des Deckblattes

ZS communication + art GmbH