

Fürstentum Liechtenstein
Amt für Wald, Natur und Landschaft
Dr. Felix Näscher
Dr. Grass-Strasse
FL 9490 Vaduz

**Wald, Holz und CO₂ im
Fürstentum Liechten-
stein**

**Optimierung von Waldwachstum,
Holznutzung und Holzverwendung
bezüglich CO₂-Senken- und
CO₂-Substitutionswirkung**

Schlussbericht

Zürich, 28. Februar 2006

Bericht

Projektleitung: Peter Hofer (GEO Partner AG, Zürich)
Sachbearbeitung: Ruedi Taverna (GEO Partner AG, Zürich)
Dr. Frank Werner (Umwelt und Entwicklung, Zürich)
Edgar Kaufmann (WSL, Birmensdorf)

INHALTSVERZEICHNIS

0.	Zusammenfassung.....	4
1.	Einleitung	6
1.1	Problemstellung	6
1.2	Ziel der Untersuchung.....	6
1.3	Berichtsgrundlagen	6
2.	Berechnungsgrundlagen.....	7
2.1	Wald (-Boden) –Modell	7
2.2	Modell Holzwirtschaft	7
2.3	Substitutionswirkungen	9
2.4	Abgrenzungen zwischen inländischen und ausländischen Effekten	11
3.	Szenarien künftiger Nutzungs-, Verwendungs- und Verarbeitungspolitik	13
3.1	Allgemeines.....	13
3.2	Szenario <i>Baseline</i>	14
3.3	Szenario <i>Minimale Waldpflege</i>	15
3.4	Szenario <i>Starkholzabbau</i>	16
3.5	Szenario <i>Zuwachs optimiert</i>	17
4.	Heutige Lager und Flüsse der Wald- und Holzwirtschaft im Fürstentum Liechtenstein	18
4.1	Waldlager im Fürstentum Liechtenstein.....	18
4.2	Heutige Holzflüsse und Lager.....	18
5.	CO ₂ -Effekte im Fürstentum Liechtenstein aufgrund von Entwicklungen gemäss Szenarien.....	20
5.1	Gesamteffekte aus Wald- und Holzwirtschaft.....	20
5.2	Wald	22
5.3	Zivilisationskreislauf	24
6.	CO ₂ -Effekte im Ausland aufgrund von Entwicklungen gemäss Szenarien.....	26
6.1	Gesamteffekte aus Wald- und Holzwirtschaft.....	26
6.2	Wald	28
6.3	Zivilisationskreislauf	29
7.	Globale CO ₂ -Effekte aufgrund von Entwicklungen gemäss Szenarien	34
8.	Schlussfolgerungen.....	36
9.	Literatur	37
9.1	Statistisches Quellenwerk	37
9.2	Literaturnachweis	37
10.	Anhang: Simbox-Darstellungen	39
10.1	Szenario <i>Baseline</i>	39
10.2	Szenario <i>Minimale Waldpflege</i>	41
10.3	Szenario <i>Starkholzabbau</i>	43
10.4	Szenario <i>Zuwachs optimiert</i>	45

0. Zusammenfassung

Methodische Grundlagen

In Analogie zu einer schweizerischen Studie im Auftrage des Bundesamtes für Umwelt BAFU werden in der Studie „Wald, Holz und CO₂ im Fürstentum Liechtenstein“ die Effekte unterschiedlicher Strategien der Wald- und Holznutzung auf die CO₂-Bilanz untersucht. Mit Hilfe von wirklichkeitsnahen Szenarien mit unterschiedlichen Nutzungs- und Eingriffskonzepten im Wald, nach Holzverwendung und Produktionsstruktur im Inland und nach Außenhandelsströmen wird nach griffigen Politiken im Dienste der Klimapolitik gesucht.

Der Szenarienrechnung liegen für den Wald auf Basis der Landesforstinventare das Waldbewirtschaftungsmodell MASSIMO und das Bodenmodell YASSO zugrunde. Die Holzwirtschaft wurde in Anlehnung an das Modell Xyloikos auf Basis der Software SIMBOX dargestellt. Grundlage bildeten hier langjährige Zeitreihen des Holzverbrauchs ebenso wie aktuelle Studien zum Holzverbrauch in der Schweiz. Die Substitutionswirkungen der Verwendung von Holz anstelle alternativer Materialien wurden anhand ökologischer Datenbanken ermittelt. Es wurde ferner ein Modell zur Abgrenzung der Emissionen, bzw. der entsprechenden Substitutionseffekte im In- und Ausland entwickelt.

Szenarienbildung

Die vier untersuchten Szenarien zeigen die folgenden Charakteristiken:

<i>Baseline:</i>	Die Nutzung ist gegenüber dem heutigen Zustand konstant, ca. 20% unter derjenigen der Periode 1988-1998 aber 30% über der Situation 2000, gleich bleibender Holzvorrat im Wald, leicht gesteigerter Verbrauch, geschwächte Holzindustrie.
Minimale Waldpflege:	Die Nutzung ist stark verringert, praktisch konstanter Verbrauch, geschwächte Holzindustrie, stark verminderte Rohholzexporte, erhöhte Importe von Holzprodukten.
Starkholzabbau:	Stark erhöhte, auf den Abbau der Starkholzvorräte gerichtete Nutzung; leicht gesteigerter Verbrauch, geschwächte Holzindustrie, sehr hohe Rohholzexporte.
Zuwachs optimiert:	Der Wald wird im Hinblick auf einen nachhaltig hohen Zuwachs bewirtschaftet. Dieser wird laufend abgeschöpft. Stark gesteigerter Verbrauch und starke Holzindustrie.

Untersucht werden zunächst die inländischen Emissionseffekte, ferner diejenigen im Ausland und schließlich als Summe von in- und ausländischer Wirkung die globalen Effekte. Im Ausland werden einander zwei Fälle gegenübergestellt. Zum einen interessiert die Wirkung, wenn liechtensteinisches Holz im Ausland ausländisches Holz, zum anderen wenn es andere Materialien ersetzt. Es kann angenommen werden, dass sich die Wirklichkeit beim exportierten Holz zwischen diesen Polen bewegt. In der Betrachtung wird der globale Effekt als der wichtigste angesehen.

Aufgrund des langsamen Waldwachstums und der langen Verweildauer in den Lagern des Zivilisationskreislaufes sind die Szenarien sehr langfristig angelegt. Die Waldmodellrechnungen betreffen einen Zeitraum von 100 Jahren, diejenigen des Holzmodells sogar 150 Jahre. Die Zusammenführung beschränkt sich auf die 100 Jahre aus dem Waldmodell.

Ergebnisse

Inländische Betrachtung

Bei einer rein inländischen Betrachtung der kumulierten Wirkung erweist sich das Szenario *Minimale Waldpflege* mit dem Aufbau von großen stehenden Holzvorräten als das beste Szenario bezüglich

CO₂-Einsparungen. Nach rund 80 Jahren stagniert allerdings die Entwicklung. Die Vorräte im Walde nehmen von diesem Zeitpunkt an nämlich wieder ab. Nicht abzubilden vermag das Modell das Risiko früher Instabilität der nicht oder kaum mehr bewirtschafteten Waldungen. Die Vorräte könnten sich bereits zu einem früheren Zeitpunkt zurückbilden. Zweitbestes Szenario bei der inländischen Betrachtung ist *Zuwachs optimiert*. Es liegt im Jahr 2100 zwar deutlich zurück, aber mit unverändert positivem CO₂-Effekt. Dabei zeigt dieses Szenario eine sehr positive Wirkung im Zivilisationskreislauf. Die Szenarien *Baseline* und *Starkholzabbau* schneiden deutlich schlechter ab. Bei beiden Szenarien setzen die negativen Effekte bereits früh ein, etwa 2050 bei *Baseline*, und 2070 bei *Starkholzabbau*.

Ausländische Betrachtung

Bei der ausländischen Betrachtung schneidet sowohl im Fall „Holz ersetzt Holz“ als auch im Fall „Holz ersetzt konventionelle Materialien“ das Szenario *Minimale Waldpflege* am schlechtesten ab. Die vermehrte ausländische Waldnutzung durch höhere Holzimporte in Liechtenstein und die Produktionsmissionen im Ausland kumulieren sich zum schlechten Ergebnis. Im Falle „Holz ersetzt konventionelle Materialien“ liegt das Szenario *Zuwachs minimiert* mit erheblichen Emissionseinsparungen an erster Stelle. Im Falle „Holz ersetzt Holz“ ist es das Szenario *Starkholzabbau*, allerdings nur mit einem kleinen Vorsprung auf *Zuwachs optimiert*. In beiden Fällen liegt das Szenario *Baseline* nahe der Nulllinie, d.h. es gibt nur einen kleinen Unterschied zu der heutigen Situation. Im Ausland vermögen die positiven Effekte im Zivilisationskreislauf von *Zuwachs optimiert* und *Starkholzabbau* die negativen Effekte im ausländischen Wald deutlich zu kompensieren.

Globale Betrachtung

Bei der globalen Betrachtung zeigen die beiden Fälle „Holz ersetzt Holz im Ausland“ und „Holz ersetzt konventionelle Materialien im Ausland“ ein sehr ähnliches Bild. Das Szenario *Zuwachs optimiert* erzielt über einen Betrachtungszeitraum von rund 100 Jahren das beste Resultat. Dabei schneidet „Holz ersetzt konventionelle Materialien“ etwas besser ab. Während *Minimale Waldpflege* ab etwa 2070 einen negativen Verlauf nimmt - die CO₂-Emissionen nehmen zu und die C-Lager bauen sich ab - erweist sich *Zuwachs optimiert* als fortlaufend nachhaltig. Interessant ist die Feststellung, dass sich *Minimale Waldpflege* und *Zuwachs optimiert* bis zur Trendwende 2070 nicht sehr stark unterscheiden. Global gesehen repräsentiert *Zuwachs optimiert* ab Beginn einen valablen Strategiemix. Dies gilt vor allem auch angesichts der kleineren Risiken im einheimischen Walde. Dieses Szenario weist im Inland eine relativ hohe Beschäftigungswirkung auf. Diese wird allerdings nicht weiter untersucht.

Am schlechtesten schneidet im Rahmen der Betrachtung das Szenario *Baseline* ab. Die Summenkurve der CO₂-Effekte bewegt sich bereits ab 2050 in die falsche Richtung, dürfte aber ab 2100 stabiler verlaufen als die *Minimale Waldpflege*. Als etwas weniger positiv als *Zuwachs optimiert*, aber durchaus nachhaltig stellt sich in der globalen Betrachtung der Strategiemix *Starkholzabbau* heraus.

Empfehlung

Die Unterstützung der Klimapolitik durch geeignete Maßnahmen in der Wald- und Holzwirtschaft erweist sich anhand dieser Untersuchung als möglich. Um die, bezüglich des Klimas relevanten globalen CO₂-Emissionen zu reduzieren, wird empfohlen, einen Strategiemix zu wählen, welcher sich nahe dem Szenario *Zuwachs optimiert* bewegt. Im Rahmen der Waldwirtschaft wird auf eine dauernd hohe Zuwachsleistung hingearbeitet. Der optimierte Zuwachs geht mit relativ hohen stehenden Holzvorräten einher. Die Holzverwendung wird namentlich im Baubereich favorisiert, ebenso die energetische Holznutzung anstelle von fossilen Energieträgern. Die einheimische Holzverarbeitung wird nicht nur gegenüber der Substitutions- sondern auch gegenüber der Importkonkurrenz gestärkt. Die Emissionseffekte der Substitution erweisen sich langfristig als deutlich wirksamer als die Lagereffekte.

1. Einleitung

1.1 Problemstellung

In praktisch allen Ländern Europas wird aufgrund der Kyoto-Verpflichtungen nach Möglichkeiten zur Verringerung der Emission von Treibhausgasen gesucht.

Der Wald ebenso wie die im Zivilisationskreislauf in Gebrauch befindlichen Holzprodukte stellen bedeutende Kohlenstoff-Speicher dar. Produktion und Verwendung von Holzprodukten leisten durch verschiedene Substitutionseffekte einen Beitrag zur Verminderung von CO₂-Emissionen. Durch den gezielten Einsatz von Nutzungs-, Verarbeitungs- und Verwendungsstrategien ließe sich der Beitrag von Wald und Holz im Kontext der Treibhausgasproblematik optimieren. Dazu fehlen aber bis heute Unterlagen, welche es erlauben, die Beiträge unterschiedlicher Strategien auch zu quantifizieren.

Im Rahmen einer für die Schweiz durchgeführten Untersuchung werden die Effekte unterschiedlicher Strategien bezüglich Holznutzung im Walde, Holzverarbeitung, Holzverwendung und Austausch über die Grenze geklärt. Gesucht wird nach der Kombination von Strategien mit dem höchsten Reduktionsbeitrag bezüglich CO₂. Die Schweiz hat damit in Kürze ein Instrument in der Hand, um die Auswirkungen ihrer Handlungsalternativen zu klären. Die für die Schweiz angestellten Untersuchungen lassen sich auf das Fürstentum Liechtenstein übertragen.

1.2 Ziel der Untersuchung

Das Projekt liefert Grundlagen für die Formulierung einer kombinierten Strategie bezüglich Holznutzung im Wald, Holzverarbeitung und Holzverwendung unter dem Aspekt der Optimierung der nationalen Treibhausgasbilanz. Es werden sowohl die Emissionswirkungen der Substitution wie die Senkeneffekte in die Betrachtung einbezogen. Dabei wird die Landesgrenze berücksichtigt.

1.3 Berichtsgrundlagen

Die Studie stützt sich einerseits ab auf die Inventur der Wälder des Fürstentums Liechtenstein, wie sie die Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL im Rahmen des Schweizerischen Landesforstinventars erhoben hat. Sie benützt ferner Stofffluss-Modelle zur Wald- und Holzwirtschaft sowie ein Modell für die Material- und Energiesubstitution, wie sie im Rahmen verschiedener Untersuchungen zum CO₂-Haushalt der Schweiz entwickelt worden sind. Sie wurden auf die Verhältnisse des Fürstentums Liechtenstein angepasst. Auch die für die Schweiz entwickelten Szenarien wurden sinngemäß übertragen.

2. Berechnungsgrundlagen

2.1 Wald (-Boden) –Modell

Die Modellierung der Waldbewirtschaftungs- und Vorratsverhältnisse im Walde basiert auf dem Waldbewirtschaftungsmodell MASSIMO (Management Scenario Simulation Model) [15 – 18] sowie auf dem Bodenmodell YASSO [19, 20].

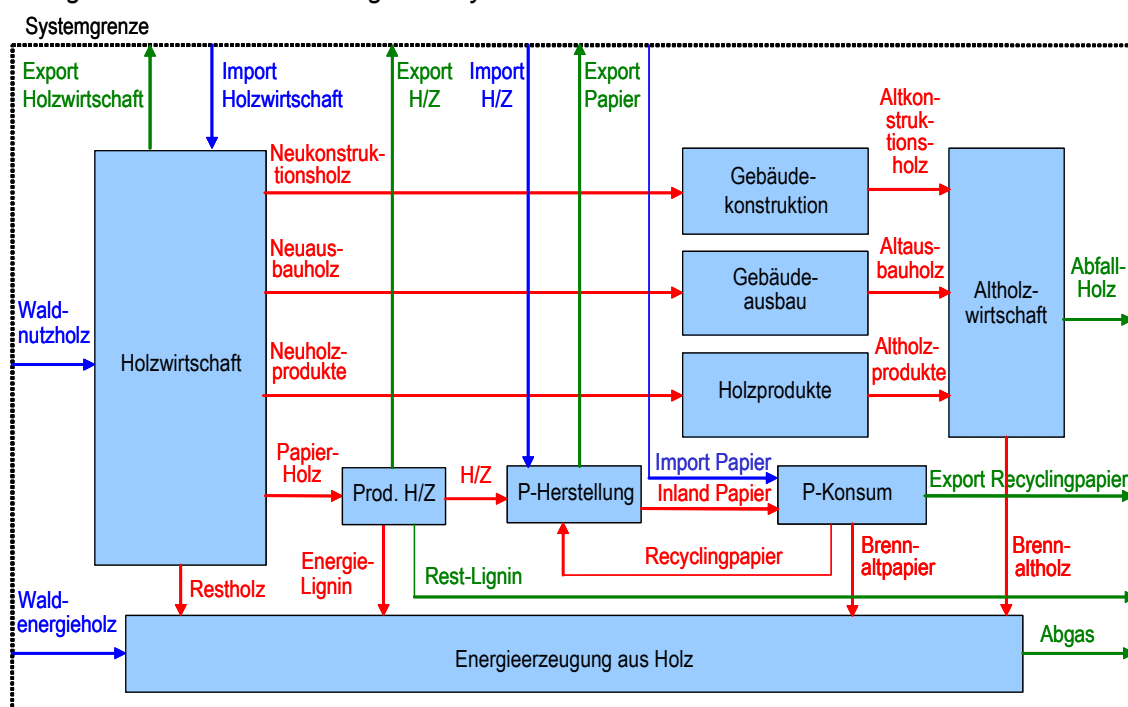
Zielgrößen von MASSIMO sind die Entwicklung des Waldaufbaus sowie der Anfall an lebender und toter Baumbiomasse. Das Modell wurde empirisch hergeleitet aus den Daten der ersten beiden Landesforstinventaren [8, 9]. Es handelt sich um ein stochastisches Modell, in welchem die Wahrscheinlichkeiten für Ereignisse definiert werden. Das Modell arbeitet dynamisch in Zehnjahresschritten. Nach jeder Dekade werden die Einflussgrößen (Bestandeskennziffern) für die verschiedenen Funktionen, die das Modell enthält, aktualisiert. Damit hängt ein Endzustand nicht direkt von einem Anfangszustand ab. Wichtigste Komponenten sind die Verjüngung, die Einwuchsraten, das Waldwachstum, die Mortalität sowie die Holzernte.

Zielgrößen von YASSO sind die Abbauraten in Abhängigkeit von Klimafaktoren sowie der organische Eintrag im Boden. Es modelliert den Übergang der Einträge von Laub, Nadeln und Feinwurzeln, Ästen und Grobwurzeln, sowie von Stammholz in lösliche Komponenten, in Zellulose, Lignin sowie Humus und schließlich in Emissionen von CO₂.

2.2 Modell Holzwirtschaft

Um die Auswirkungen von Verbrauchsänderungen aufzeigen zu können, wurde ein einfaches Modell der Holzwirtschaft im Zivilisationskreislauf erarbeitet. Dieses basiert auf dem Modell Xyloikos, welches im Rahmen einer Dissertation an der ETH Zürich erstellt [1] und für die hier interessierenden Fragestellungen umgebaut wurde. Das gleiche Modell fand für die schweizerische Untersuchung Verwendung.

Abbildung 1: Modellbeschreibung: Das System Holzwirtschaft



Das System-Modell besteht aus 9 Prozessen (Kasten) und 26 Flüssen (Pfeile). Fünf Input- und Sieben Outputflüsse überschreiten die Systemgrenzen, während die übrigen Flüsse die einzelnen Prozesse verbinden. Für jeden Prozess ist eine mittlere Verweildauer der Produkte festgelegt. Sie schwankt zwischen 0 Jahren (= keine Lagerbildung bei der Papierherstellung) und 80 +/- 20 Jahren bei der Gebäudekonstruktion.

Das Modell umfasst sämtliche Holzverwendungen im Zivilisationskreislauf. Im Fürstentum Liechtenstein gibt es mehrere nicht existierende Prozesse, etwa Holzschliff-/Zellstoff- und Papierproduktion. Dies wurde berücksichtigt, indem die zuführenden Materialflüsse auf den Wert Null gestellt wurden.

Die Inputs in das System setzen sich wie folgt zusammen:

- Wald-Nutzholz (Stamm- und Industrieholz) aus dem Fürstentum Liechtenstein.
- Waldenergieholz (samt energetisch genutzten Feldgehölzen) aus dem Fürstentum Liechtenstein.
- Importen der Holzwirtschaft: Halb- und Dreiviertelfabrikate sowie Möbel und vorgefertigte Häuser; Rund- und Restholz wird keines importiert.
- Papierimporte für den Endverbrauch.
- Die Importe von Holzschliff und Zellstoff wurden auf Null gesetzt.

Die sieben Outputflüsse umfassen folgendes:

- Exporte der Holzwirtschaft; sie umfassen wie bei den Importen Rund- und Restholz, Halb- und Dreiviertelfabrikate sowie Möbel und vorgefertigte Häuser.
- Exporte an Holz- und Zellstoffen (im Falle des Fürstentums auf Null gesetzt)
- Papierexporte (im Falle des Fürstentums auf Null gesetzt)
- Abgas aus der Verbrennung von Holz als mengenmäßig wichtigster Output aus dem System. Feste Rückstände werden aufgrund ihrer geringen Bedeutung (ca. 2%) nicht berücksichtigt.
- Altholz (= Abfallholz), welches nicht in Altholzfeuerungen verbrannt wird. Es verlässt entweder das Fürstentum Liechtenstein zur Verwendung im Ausland (etwa als Spanplatte) oder wird deponiert, allenfalls auch illegal verbrannt.
- Abfallpapier, welches über die Kanalisation, im Kompost oder anderweitig entsorgt wird.
- Der Export von Recyclingpapier wird konstant mit einer Sammelquote von 64% berechnet.

Das System ist verbrauchsgesteuert modelliert. Durch die Vorgabe der Holzverbräuche und der Außenhandelsmengen der in Tabelle 1 aufgeführten Parameter (linke Spalten) werden die restlichen Holzflüsse und –lager zeitlich variabel (dynamisch) berechnet. Damit wird z.B. das Waldnutzholz aufgrund der nachfolgenden Holzverbräuche modelliert (quasi „angesogen“), wohingegen das Waldenergieholz vorgegeben wird. In Tabelle 1 sind die Verbrauchs- und ausgewählte Anteilswerte für das Jahr 2000 angegeben.

Tabelle 1: Festgelegte Parametergrößen im Jahr 2000

Verbrauchs- / Import- / Export-Größen	[m ³]	[kg TS/E*a]	Weiterer Parameter	Konstant über die gesamte Berechnungsdauer
Neukonstruktionsholz	4'216	62	Restholzanteil Rundholz	40% des Neuholzes
Neuausbauholz	4'216	62	Restholzanteil ½-Fabrikate	30% des Neuholzes
Neuholzprodukte	3'672	54	Restholzanteil ¾-Fabrikate	20% des Neuholzes
Papierverbrauch*	19'159	245	Recyclingpapier	64% des Papierverbrauchs
Waldenergieholz	6'800	100	Zuschlagstoffe im Papier	11% der Papiermenge
Import Holzwirtschaft	11'700	172	Anteil Abfallpapier	14% des Papierverbrauchs
Export Holzwirtschaft	7'540	116	Anteil Brennholz	60% der die Altholzwirtschaft verlassenden Menge
Import Papier	17'050	218		

* Der Papierverbrauch basiert vollständig auf importiertem Papier, darin sind auch die Zuschlagstoffe enthalten.

Quelle: Verbrauchswerte festgelegt auf Basis einer Studie für die Schweiz [2, 7].

Die in den verschiedenen Verwendungsbereichen eingesetzten Verbrauchsmengen wurden aus einer schweizerischen Studie übernommen. Sie wurden dort aufgrund der heutigen Statistiken und spezieller Untersuchungen hergeleitet [2, 7]. Die Verbrauchsmengen wurden auf Kilogramm Trockensubstanz pro Einwohner und Jahr (kg TS / E * a) umgerechnet. Vereinfachend wurde angenommen, dass 1 m³ Holz 500 kg TS wiegt und zu 50% aus Kohlenstoff besteht. Die Einwohnerzahl des Fürstentums Liechtenstein wurde durchgehend mit 34'000 beziffert.

Die Lager werden über die vorangehenden Verbrauchswerte mittels der dynamischen Modellierung berechnet. Lager von Produkten mit kurzer Verweildauer im System, wie Papier oder Brennholz, weisen dabei eine kurze Reaktionszeit auf, während das Konstruktionsholz- und das Ausbauholzlager viel träger reagieren. Der Konstruktionsholzverbrauch aus dem Jahr 1950 wirkt sich beispielsweise aufgrund der angenommenen Lebensdauer der Produkte von bis zu 100 Jahren bis ins Jahr 2050 aus. Um die Auswirkungen des heutigen oder eines zukünftigen Holzverbrauches ausweisen zu können, müssen deshalb die Lagerentwicklungen während mindestens 100 Jahren über die letzte Änderung hinaus betrachtet werden. Um die Auswirkungen einer Verbrauchsänderung ab dem Jahr 2000 angeben zu können, musste mit der Modellierung im Jahr 1900 begonnen werden. Die Zahlen dazu lieferten diverse Archivuntersuchungen [2] aber auch Schätzungen.

2.3 Substitutionswirkungen

Unter Substitution wird der alternative Einsatz von Holzprodukten anstelle von konventionellen (massiven) Bau- oder anderer Materialien sowie fossilen Energieträgern verstanden. Dabei wird davon ausgegangen, dass sämtliches Rest- und Altholz thermisch in entsprechenden Anlagen genutzt wird.

Für die Bestimmung der Produkte, die durch einen vermehrten oder verminderten Holzverbrauch betroffen sind, müssen Annahmen zu einem Substitutionsmechanismus getroffen werden. Dabei sind verschiedene Substitutionsmechanismen denkbar. Bei der Festlegung der Konkurrenzprodukte wird von den Resultaten einer umfangreichen Befragung von Bauherren, Architekten und Ingenieuren ausgegangen [3 - 5]. Tabelle 2 gibt eine Übersicht über die miteinander verglichenen Konkurrenzprodukte im Bereich Bau. In der vergleichenden Ökobilanzierung werden alle Lebensphasen der einzelnen

Konkurrenzprodukte von der Rohstoffgewinnung, der Produktherstellung bis zur Bauteilnutzung und den Entsorgungsemissionen inkl. der Transporte einbezogen.

Tabelle 2: Übersicht über die betrachteten Bauteile aus Holz und ihre Konkurrenzprodukte

Anwendung	Bauteil aus Holz	Konkurrenzprodukt
<i>Konstruktion</i>		
(Außen-) Wände	Blockholzplatte	Backsteinzweischalenmauerwerk
Stützen	Brettschichtholzstütze	Stahlstütze
Geschossdecken	Holzbalkendecke	Stahlbetondecke
Dämmung	Holzfaserdämmplatte ¹⁾	Steinwolle ²⁾
Dächer	Sichtbalkenkonstruktion	Porenbeton-Steildach
Tiefbau	Holzpalisade	Betonpalisade
<i>Ausbau</i>		
Wand- / Deckenverkleidung	Fichtentäfer	Verputz innen
Treppen	Holztreppe Eiche	Betonfertigtreppe
Bodenbeläge	3-Schicht Parkett	Keramikfliesen glasiert
Fassaden	Holzschalung sägerau mit Lattung ¹⁾	Verputz außen ²⁾
Ausstattung	Holzwerkstoffzarge	Stahlzarge
Möbel	Möbel	Stahlmöbel

Legende: ¹⁾ in Blockholzplatten-Konstruktion

²⁾ in Backsteinzweischalenmauerwerk

Für die Produktkategorie Holzwaren wurden funktional gleichwertige Produktpaare für Verpackungen/ Holzwaren, Bauhilfsstoffe und Do-it-yourself definiert und die Emissionsfaktoren bestimmt (Tabelle 3).

Tabelle 3: Übersicht über die betrachteten Bauteile aus Holz und ihre Konkurrenzprodukte

Anwendung	Holzware	Konkurrenzprodukt
Verpackungen	Holzschalung sägerau inkl. Lattung	Plastik (Polypropylen) gleichen Volumens
Holzprodukte	Holzschalung sägerau inkl. Lattung	Plastik (Polypropylen) gleichen Volumens
Bauhilfsstoffe	Schaltafeln (3-Schicht Fichtenplatte)	Aluminiumschalung
Do-it-yourself	Fichtentäfer	Verputz innen

Unabhängig vom Baustoff wird für Exporte des Fürstentums Liechtenstein ein Transportaufwand von 2000 km in einem LKW 40 t zugerechnet; bei Importen wird dieser Transportaufwand dem Ausland zugerechnet. Der Effekt der Bauteilsubstitution wird in CO₂-Äquivalent angegeben. Dies bedeutet, dass alle treibhausrelevanten Emissionen gewichtet nach ihrem Treibhausgaspotential auf die Wirkung von CO₂ bezogen addiert werden [6].

Bei den Bauteilen aus Holz bleibt das durch Photosynthese gebundene CO₂ gespeichert. Dieses CO₂ wird bei der Verbrennung (oder Verrottung) des Holzes wieder freigesetzt.

Es wird angenommen, dass die Produktion und Verwendung eines Substitutionsproduktes ersetzt und dafür ein Holzprodukt verwendet wird (- Substitutionsprodukt + Holzprodukt). Ein negatives Vorzeichen bedeutet, dass die Emission von CO₂ vermieden wird, wohingegen ein positives Zeichen anzeigt, dass eine CO₂-Emission erzeugt wird.

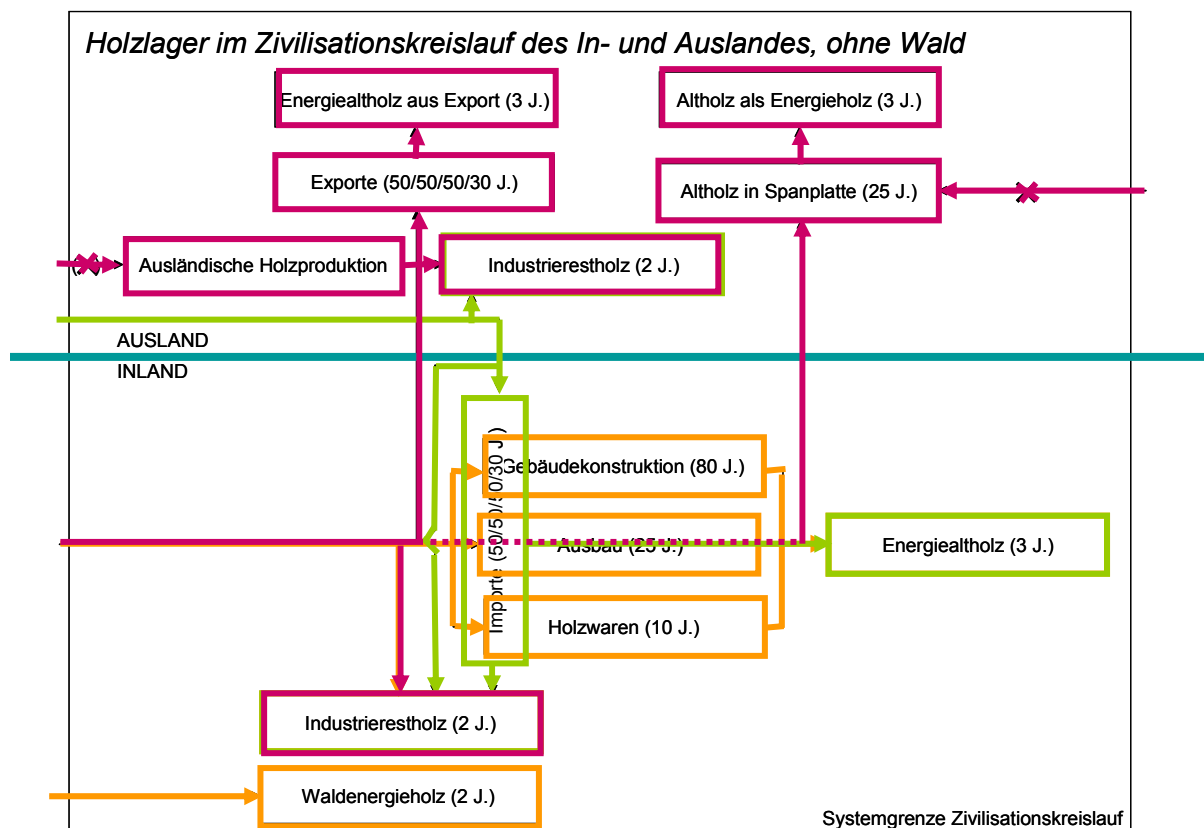
Einschränkend muss festgehalten werden, dass die hier vorliegenden Substitutionsberechnungen sensitiv auf die ausgewählten Konkurrenzprodukte reagieren. Es wurde allerdings darauf geachtet,

dass die verglichenen Produkte funktionsäquivalent sind, d.h. vergleichbare Gebrauchseigenschaften aufweisen.

2.4 Abgrenzungen zwischen inländischen und ausländischen Effekten

Zwischen dem Fürstentum Liechtenstein und dem Ausland findet ein reger Warenaustausch auch im Bereich Holz statt. Dieser betrifft Holzprodukte von unterschiedlichem Fertigungsgrad, vom Rundholz bis zum fertigen Produkt. Um die Emissionen aus Produktion, Transport, energetischer Nutzung und Entsorgung dem Fürstentum und dem Ausland zuweisen zu können, sind ebenfalls Modellüberlegungen nötig [13]. Dabei ist zu berücksichtigen, dass etwa durch die Substitution konventioneller Materialien ausländischer Provenienz durch inländisches Holz Emissionen im Ausland durch solche im Inland abgelöst werden.

Abbildung 2: Holzströme über die Grenze und Zuordnung der CO₂-Emissionen



Quelle: Modellierte Holzlager im Zivilisationskreislauf im In- und Ausland, ohne Wald. [13]

Da der Verwendungszweck bei den über die Grenze gehandelten Produkten nicht ohne weiteres festzustellen ist, muss je nach Verarbeitungsstufe des exportierten Produktes mit etwas anderen Lagerdauern gerechnet werden. Da der Verwendungszweck im Einzelnen nicht bekannt ist, wird bei exportierten und importierten Häusern und Möbeln, bei Dreiviertel-Fabrikaten und Halbfabrikaten mit einer mittleren Lagerdauer von 50 Jahren gerechnet, bei über die Grenze gehandeltem Rundholz dagegen nur mit 30 Jahren. Im Einzelnen gelten die folgenden Werte (vgl. auch Abbildung 2):

Exportierte Holzprodukte	50/50/50/30
Industrierestholz aus exportierten Holzprodukten	2 Jahre
Energiealtholz aus exportierten Holzprodukten	3 Jahre
Exportiertes Altholz in Spanplatte	25 Jahre
Exportiertes Altholz als Energieholz	3 Jahre

Importierte Holzprodukte	50/50/50/30
Industrierestholz aus importierten Holzprodukten	2 Jahre
Energiealtholz aus importierten Holzprodukten	3 Jahre
Energiealtholz aus importierten Holzprodukten	3 Jahre

3. Szenarien künftiger Nutzungs-, Verwendungs- und Verarbeitungspolitik

3.1 Allgemeines

Um die Auswirkungen möglicher Wald- und Holznutzungspolitiken aufzuzeigen, wurden vier Szenarien erarbeitet. Sie alle könnten Ausfluss einer bewussten Strategie im Dienste der Klimapolitik des Landes sein. Die Szenarien unterscheiden sich nach Nutzungsmenge und Eingriffskonzepten im Wald, nach Holzverwendung und Produktionsmenge im Inland, bzw. dem Außenhandel. Da im Bereich Papier und Karton eine nur unbedeutende Lagerbildung stattfindet und für diese Produkte keine Substitutionsprodukte existieren, wurden die Produktions- und Verbrauchsmengen, ebenso wie die Verhältnisse im Außenhandel gegenüber der Situation 2000 nur marginal angepasst und anschließend konstant gehalten.

Die Szenarien bauen auf:

- auf den Daten des Schweizerischen Landesforstinventars und den daraus entwickelten Modellen gemäss Kapitel 2.1 [2, 9],
- auf den heutigen Verbrauchszahlen von Holzprodukten und deren Entwicklungspotenzial, wobei neuere Holzverbrauchserhebungen [10, 16] hierzu die Grundlage bildeten,
- auf Modellrechnungen zu Material- und C-Flüssen sowie von Lagern im Zivilisationskreislauf gemäss Kapitel 2.2 [1, 2, 7, 11],
- auf Berechnungen der Wirkung der Material-Substitution im In- und Ausland, in den verschiedensten Verwendungsbereichen des Bauwesens, anderer Holzanwendungen und der Energie gemäss Kapitel 2.3 [12, 13].

Es wurde angenommen, dass die jeweiligen Nutzungs-, Verbrauchs- und Produktionsveränderungen zwischen 2000 und 2030 stattfinden. Die entsprechenden Werte wurden in den Berechnungen ab 2030 konstant belassen. Aufgrund des lang andauernden Lageraufbaus im Zivilisationskreislauf bei langlebigen Holzprodukten sowie der langfristigen Prozesse im Walde wurde die Entwicklung der verschiedenen Speicher im Zivilisationskreislauf über 130 Jahre, im Wald über 100 Jahre beobachtet. Die Extrapolation der Ergebnisse des schweizerischen Landesforstinventars 2 von 1998 um 100 Jahre führte zum Endjahr der kombinierten Betrachtung Wald und Holz 2098.

Bei der Beurteilung der CO₂-Effekte wurden die nationalen Effekte betrachtet sowie solche im Ausland. Sie wurden addiert zum totalen (globalen) Effekt. Unterschieden wurden:

- Lagerveränderungen im Wald, inkl. Wirkung von verbleibendem Abraum und natürlichen Abgängen,
- Lagerveränderungen im Zivilisationskreislauf mit Zugängen/Abgängen von langlebigen Holzprodukten,
- Wirkungen der Materialsubstitution durch den Einsatz von Holz anstelle anderer Materialien,
- Wirkungen der energetischen Substitution durch die Verwendung von Holz anstelle fossiler Energieträger.

Bei den exportierten Holzprodukten wurden zwei Varianten betrachtet:

1. Alle liechtensteinischen Holzprodukte ersetzen ausländische Holzprodukte (Holz ersetzt Holz),
2. Alle liechtensteinischen Holzprodukte lösen Produkte aus anderen Materialien ab (Holz ersetzt andere Materialien)

Die Wirklichkeit dürfte sich zwischen diesen Polen bewegen.

3.2 Szenario *Baseline*

Kurzcharakteristik dieses Szenarios:

Nutzung konstant, ca. 20% unter derjenigen der Periode 1988-1998 aber 30% über der Situation 2000, gleich bleibender Holzvorrat im Wald, leicht gesteigerter Verbrauch, geschwächte Holzindustrie.

Das Szenario *Baseline* entspricht für den Bereich Wald im Wesentlichen der Fortführung der zwischen 1988 und 1998 beobachteten Trends. Dabei wurde die Holznutzungsmenge so angesetzt, dass der Vorrat im Wald langfristig konstant bleibt. Im Zivilisationskreislauf wird ein leicht ansteigender Holzverbrauch weitergeführt, bewusst oder nicht bewusst gesetzte Rahmenbedingungen bleiben weiter wirksam.

Der Inlandverbrauch steigt im Gebäudepark und bei den übrigen Holzprodukten um 10% an. Beim Energieholz beträgt die Steigerung 20%. Die Holznutzung steigt gegenüber der Situation 2000 um rund 30%. Der Export an verarbeiteten Holzprodukten nimmt infolge Schließung der größten Sägerei ab und der Export an Rohholz dagegen deutlich zu. Die Importe bleiben praktisch auf dem alten Niveau.

Tabelle 4: Vergleich des Szenarios *Baseline* mit der Situation 2000.

	Situation 2000 (ohne Lothareffekte) Die Nutzung beträgt nach FL-Angaben 17'000m ³ . Der Pro Kopf-Verbrauch entspricht dem der Schweiz (ausser Energieholz). Für den Aussenhandel sind Annahmen aufgrund der Angaben von F. Näscher getroffen worden.			Szenario B (Baseline) Leicht erhöhter Inlandverbrauch (K+A+H) Stark erhöhter Waldenergieholzverbrauch Stark erhöhte RH-Restholzexporte Stark verringerte Holzwarenexporte (K+A+H) Praktisch konstante Holzwarenimporte (K+A+H)		
Verbrauchszahlen FL			kg/E*a			kg/E*a
Konstruktion (K)	4'216	m ³	62	4'760	m ³	70
Ausbau (A)	4'216	m ³	62	4'760	m ³	70
Holzprodukte (H)	3'672	m ³	54	3'740	m ³	55
Papier und Karton (inkl. Zuschlagstoffe)	19'159	m ³	245	19'159	m ³	245
Waldenergieholz (inkl. Feldgehölze)	6'800	m ³	100	8'160	m ³	120
Summe Holzverbrauch	38'063	m ³	523	40'579	m ³	560
Export	nur RH		kg/E*a	nur RH		kg/E*a
Export Rundholz, Restholz	6'800	m ³	105.3	9'000	m ³	140.4
Export Halbfabrikate (ohne Zellstoff)	700	m ³	10.3	500	m ³	7.4
Export 3/4: Verpackung, Baumaterial, Holzwaren	10	t	0.3	20	t	0.6
Export Möbel / Häuser	10	t	0.3	20	t	0.6
Export Zellstoff	-	t	-	-	t	-
Export Holzschliff	-	t	-	-	t	-
Export Papier und Karton	-	t	-	-	t	-
Export (K+A+H)	740	m ³	10.9	580	m ³	8.5
Restholzanfall aus Export (K+A+H)	286	m ³	4.2	230	m ³	3.4
Import			kg/E*a			kg/E*a
Import Rundholz, Restholz	-	m ³	-	50	m ³	3.6
Import Restholz	-	m ³	-	-	m ³	-
Import Rundholz	-	m ³	-	50	m ³	3.6
Import Halbfabrikate (ohne Zellstoff)	6'300	m ³	92.6	6'700	m ³	98.5
Import 3/4: Verpackung, Baumaterial, Holzwaren	1'200	t	35.3	1'000	t	29.4
Import Möbel, Häuser	1'500	t	44.1	1'300	t	38.2
Import Zellstoff	-	t	-	-	t	-
Import Holzschliff	-	t	-	-	t	-
Import Papier und Karton (Holzanteil)	-	t	218.0	-	t	213.1
Summe Import (K+A+H)	11'700	m ³	172.1	11'300	m ³	169.7
Als Produkt (K+A+H) in FL verwertbar	10'566	m ³	155.4	10'301	m ³	151.5
Restholzanfall in FL aus Import (K+A+H)	1'134	m ³	16.7	1'241	m ³	18.3
Holzverbrauch aus FL-Wald	kg/E*a	m ³		kg/E*a	m ³	
Produktion (K+A+H)	33	2'278		52	3'539	
Restholzanfall für energetische Nutzung	11	769		19	1311	
Produktion Holz-, Zellstoff	0	-		-	-	
Waldenergieholz	100	6'800		120	8'160	
Export Rund- und Restholz	105	7'163		140	9'546	
Total	250	17'009		332	22'556	

Tabelle 4 zeigt den Vergleich der Situation 2000 mit dem Szenario *Baseline*. Dabei markieren die blau hinterlegten Zahlen die Eingabewerte mit denen der angestrebte Holzverbrauch (orange hinterlegt) erreicht wird.

3.3 Szenario *Minimale Waldpflege*

Kurzcharakteristik dieses Szenarios:

Stark verringerte Nutzung, praktisch konstanter Verbrauch, geschwächte Holzindustrie, stark verminderte Rohholzexporte, erhöhte Importe von Holzprodukten.

Beim Szenario *Minimale Waldpflege* beschränken sich die Eingriffe auf minimale Durchforstungen im Schutzwald. Es wird ein maximaler Holzvorrat im Wald und damit eine maximale Senkenleistung des Waldes angestrebt.

Tabelle 5: Vergleich des Szenarios *Minimale Waldpflege* mit der Situation 2000.

	Situation 2000 (ohne Lothareffekte) Die Nutzung beträgt nach FL-Angaben 17'000m ³ . Der Pro Kopf-Verbrauch entspricht dem der Schweiz (ausser Energieholz). Für den Aussenhandel sind Annahmen aufgrund der An- gaben von F. Näscher getroffen worden.			Szenario D (Minimale Waldpflege) Konstanter Inlandverbrauch (K+A+H) Leicht gesunkener Waldenergieholzanteil Sehr stark gesunkene RH-, Restholzexporte Stark gesunkene Holzwarenexporte (K+A+H) Gestiegene Holzwarenimporte				
Verbrauchszahlen FL	kg/E*a			kg/E*a				
Konstruktion (K)	4'216	m3	62	4'216	m3	62		
Ausbau (A)	4'216	m3	62	4'216	m3	62		
Holzprodukte (H)	3'672	m3	54	3'672	m3	54		
Papier und Karton (inkl. Zuschlagstoffe)	19'159	m3	245	19'159	m3	245		
Waldenergieholz (inkl. Feldgehölze)	6'800	m3	100	6'120	m3	90		
Summe Holzverbrauch	38'063	m3	523	37'383	m3	513		
Export	nur RH kg/E*a			nur RH kg/E*a				
Export Rundholz, Restholz	6'800	m3	105.3	2'500	m3	38.9		
Export Halbfabrikate (ohne Zellstoff)	700	m3	10.3	500	m3	7.4		
Export 3/4: Verpackung, Baumaterial, Holzwaren	10	t	0.3	10	t	0.3		
Export Möbel / Häuser	10	t	0.3	10	t	0.3		
Export Zellstoff	-	t	-	-	t	-		
Export Holzschliff	-	t	-	-	t	-		
Export Papier und Karton	-	t	-	-	t	-		
Export (K+A+H)	740	m3	10.9	540	m3	7.9		
Restholzanfall aus Export (K+A+H)	286	m3	4.2	210	m3	3.1		
Import	kg/E*a			kg/E*a				
Import Rundholz, Restholz	-	m3	-	-	m3	-		
Import Restholz	-	m3	-	-	m3	-		
Import Rundholz	-	m3	-	-	m3	-		
Import Halbfabrikate (ohne Zellstoff)	6'300	m3	92.6	6'600	m3	97.1		
Import 3/4: Verpackung, Baumaterial, Holzwaren	1'200	t	35.3	1'400	t	41.2		
Import Möbel, Häuser	1'500	t	44.1	1'800	t	52.9		
Import Zellstoff	-	t	-	-	t	-		
Import Holzschliff	-	t	-	-	t	-		
Import Papier und Karton (Holzanteil)	-	t	218.0	-	t	213.1		
Summe Import (K+A+H)	11'700	m3	172.1	13'000	m3	191.2		
Als Produkt (K+A+H) in FL verwertbar	10'566	m3	155.4	11'786	m3	173.3		
Restholzanfall in FL aus Import (K+A+H)	1'134	m3	16.7	1'214	m3	17.8		
Holzverbrauch aus FL-Wald	kg/E*a		m3		kg/E*a		m3	
Produktion (K+A+H)	33		2'278		13		858	
Restholzanfall für energetische Nutzung	11		769		4		241	
Produktion Holz-, Zellstoff	0		-		-		-	
Waldenergieholz	100		6'800		90		6'120	
Export Rund- und Restholz	105		7'163		39		2'644	
Total	250		17'009		145		9'862	

Der Inlandverbrauch bleibt im Gebäudepark und bei den Holzprodukten konstant. Beim Energieholz beträgt der Rückgang 10%. Die Holznutzung sinkt gegenüber der Situation 2000 um mehr als 40%. Der Export an verarbeiteten Holzprodukten nimmt infolge Schließung der größten Sägerei ab. Der

Export an Rohholz geht gegenüber der Situation 2000 um über 60% zurück. Die Importe nehmen um rund 10% zu. Tabelle 5 zeigt den Vergleich der Situation 2000 mit dem Szenario *Minimale Waldpflege*.

3.4 Szenario Starkholzabbau

Kurzcharakteristik dieses Szenarios:

Stark erhöhte auf den Abbau der Starkholzvorräte gerichtete Nutzung; leicht gesteigerter Verbrauch, geschwächte Holzindustrie, sehr hohe Rohholzexporte.

Im Szenario *Starkholzabbau* sind die Holznutzungen und die Rohholzexporte deutlich höher als im Szenario *Baseline*, die Holznutzungen sind vermehrt auf Starkholz konzentriert. Im Übrigen entsprechen sich die beiden Szenarien.

Tabelle 6: Vergleich des Szenarios *Starkholzabbau* mit der Situation 2000.

	Situation 2000 (ohne Lothareffekte) Die Nutzung beträgt nach FL-Angaben 17'000m ³ . Der Pro Kopf-Verbrauch entspricht dem der Schweiz (ausser Energieholz). Für den Aussenhandel sind Annahmen aufgrund der Angaben von F. Näscher getroffen worden.			Szenario C (Starkholzabbau) Leicht erhöhter Inlandverbrauch (K+A+H) Stark erhöhter Waldenergieholzverbrauch Sehr stark erhöhter RH-, Resthollexport Stark verringerter Holzwarenexport (K+A+H) Praktisch konstanter Holzwarenimport		
Verbrauchszahlen FL			kg/E*a			kg/E*a
Konstruktion (K)	4'216	m3	62	4'760	m3	70
Ausbau (A)	4'216	m3	62	4'760	m3	70
Holzprodukte (H)	3'672	m3	54	3'740	m3	55
Papier und Karton (inkl. Zuschlagstoffe)	19'159	m3	245	19'159	m3	245
Waldenergieholz (inkl. Feldgehölze)	6'800	m3	100	8'160	m3	120
Summe Holzverbrauch	38'063	m3	523	40'579	m3	560
Export	nur RH		kg/E*a	nur RH		kg/E*a
Export Rundholz, Restholz	6'800	m3	105.3	13'000	m3	199.2
Export Halbfabrikate (ohne Zellstoff)	700	m3	10.3	500	m3	7.4
Export 3/4: Verpackung, Baumaterial, Holzwaren	10	t	0.3	20	t	0.6
Export Möbel / Häuser	10	t	0.3	20	t	0.6
Export Zellstoff	-	t	-	-	t	-
Export Holzschliff	-	t	-	-	t	-
Export Papier und Karton	-	t	-	-	t	-
Export (K+A+H)	740	m3	10.9	580	m3	8.5
Restholzanfall aus Export (K+A+H)	286	m3	4.2	47	m3	3.4
Import			kg/E*a			kg/E*a
Import Rundholz, Restholz	-	m3	-	50	m3	3.6
Import Restholz	-	m3	-	-	m3	-
Import Rundholz	-	m3	-	50	m3	3.6
Import Halbfabrikate (ohne Zellstoff)	6'300	m3	92.6	6'700	m3	98.5
Import 3/4: Verpackung, Baumaterial, Holzwaren	1'200	t	35.3	1'000	t	29.4
Import Möbel, Häuser	1'500	t	44.1	1'300	t	38.2
Import Zellstoff	-	t	-	-	t	-
Import Holzschliff	-	t	-	-	t	-
Import Papier und Karton (Holzanteil)	-	t	218.0	-	t	213.1
Summe Import (K+A+H)	11'700	m3	172.1	11'300	m3	169.7
Als Produkt (K+A+H) in FL verwertbar	10'566	m3	155.4	10'301	m3	151.5
Restholzanfall in FL aus Import (K+A+H)	1'134	m3	16.7	1'241	m3	18.3
Holzverbrauch aus FL-Wald	kg/E*a	m3		kg/E*a	m3	
Produktion (K+A+H)	33	2'278		52	3'539	
Restholzanfall für energetische Nutzung	11	769		19	1311	
Produktion Holz-, Zellstoff	0	-		-	-	
Waldenergieholz	100	6'800		120	8'160	
Export Rund- und Restholz	105	7'163		199	13'546	
Total	250	17'009		391	26'556	

Der Inlandverbrauch steigt im Gebäudepark und bei den übrigen Holzprodukten um 10%, beim Energieholz um 20% an. Die Holznutzung steigt gegenüber der Situation 2000 um rund 30%. Der Export an verarbeiteten Holzprodukten nimmt infolge Schließung der größten Sägerei ab. Der Export an Rohholz nimmt gegenüber der Situation 2000 um über 90% zu. Die Importe bleiben praktisch auf dem alten Niveau. Tabelle 6 zeigt den Vergleich der Situation 2000 mit dem Szenario *Starkholzabbau*.

3.5 Szenario Zuwachs optimiert

Kurzcharakteristik dieses Szenarios:

Der Wald wird im Hinblick auf einen nachhaltig hohen Zuwachs bewirtschaftet. Dieser wird laufend abgeschöpft. Stark gesteigerter Verbrauch und starke Holzindustrie.

Im Szenario *Zuwachs optimiert* wird ein möglichst großer Zuwachs im Wald und dessen vollständige Nutzung angestrebt. Der Holzverbrauch wird bei den Holzprodukten gegenüber heute um 35% und beim Energieholz um 85% erhöht. Das zusätzlich gewonnene Holz wird hauptsächlich zur Deckung des gesteigerten Inlandverbrauchs verwendet. Daneben werden aber auch die Exporte von verarbeitetem Holz erhöht, resp. die Holzwarenimporte verringert; dies allerdings auf einem eher tiefen Niveau. Ebenfalls verringert werden die Rohholzexporte. Um dieses Szenario verwirklichen zu können, muss eine starke liechtensteinische Holzwirtschaft erst aufgebaut werden. Tabelle 7 zeigt die Verbrauchs-, resp. Außenhandelszahlen des Szenarios *Zuwachs optimiert* im Vergleich zur Situation 2000.

Tabelle 7: Vergleich des Szenarios *Zuwachs optimiert* mit der Situation 2000.

	Situation 2000 (ohne Lothareffekte) Die Nutzung beträgt nach FL-Angaben 17'000m ³ . Der Pro Kopf-Verbrauch entspricht dem der Schweiz (ausser Energieholz). Für den Aussenhandel sind Annahmen aufgrund der Angaben von F. Näscher getroffen worden.			Szenario A (Zuwachs optimiert) Stark erhöhter Verbrauch (K+A+H) Sehr stark erhöhter Waldenergieholzverbrauch Stark verringerter RH, Restholzexport Sehr stark erhöhte Holzwarenexporte (ger. Effekt) Stark verringerter Holzwarenimporte		
Verbrauchszahlen FL	kg/E*a			kg/E*a		
Konstruktion (K)	4'216	m ³	62	6'800	m ³	100
Ausbau (A)	4'216	m ³	62	5'440	m ³	80
Holzprodukte (H)	3'672	m ³	54	4'080	m ³	60
Papier und Karton (inkl. Zuschlagstoffe)	19'159	m ³	245	19'159	m ³	245
Waldenergieholz (inkl. Feldgehölze)	6'800	m ³	100	12'580	m ³	185
Summe Holzverbrauch	38'063	m ³	523	48'059	m ³	670
Export	nur RH kg/E*a			nur RH kg/E*a		
Export Rundholz, Restholz	6'800	m ³	105.3	5'000	m ³	95.3
Export Halbfabrikate (ohne Zellstoff)	700	m ³	10.3	1'000	m ³	14.7
Export 3/4: Verpackung, Baumaterial, Holzwaren	10	t	0.3	50	t	1.5
Export Möbel / Häuser	10	t	0.3	50	t	1.5
Export Zellstoff	-	t	-	-	t	-
Export Holzschliff	-	t	-	-	t	-
Export Papier und Karton	-	t	-	-	t	-
Export (K+A+H)	740	m ³	10.9	1'200	m ³	17.6
Restholzanfall aus Export (K+A+H)	286	m ³	4.2	480	m ³	7.1
Import	kg/E*a			kg/E*a		
Import Rundholz, Restholz	-	m ³	-	-	m ³	-
Import Restholz	-	m ³	-	-	m ³	-
Import Rundholz	-	m ³	-	-	m ³	-
Import Halbfabrikate (ohne Zellstoff)	6'300	m ³	92.6	4'500	m ³	66.2
Import 3/4: Verpackung, Baumaterial, Holzwaren	1'200	t	35.3	1'000	t	29.4
Import Möbel, Häuser	1'500	t	44.1	1'100	t	32.4
Import Zellstoff	-	t	-	-	t	-
Import Holzschliff	-	t	-	-	t	-
Import Papier und Karton (Holzanteil)	-	t	218.0	-	t	213.1
Summe Import (K+A+H)	11'700	m ³	172.1	8'700	m ³	127.9
Als Produkt (K+A+H) in FL verwertbar	10'566	m ³	155.4	7'864	m ³	115.7
Restholzanfall in FL aus Import (K+A+H)	1'134	m ³	16.7	836	m ³	12.3
Holzverbrauch aus FL-Wald	kg/E*a	m ³		kg/E*a	m ³	
Produktion (K+A+H)	33	2'278		142	9'656	
Restholzanfall für energetische Nutzung	11	769		54	3652	
Produktion Holz-, Zellstoff	0	-		-	-	
Waldenergieholz	100	6'800		185	12'580	
Export Rund- und Restholz	105	7'163		95	6'478	
Total	250	17'009		476	32'366	

4. Heutige Lager und Flüsse der Wald- und Holzwirtschaft im Fürstentum Liechtenstein

4.1 Waldlager im Fürstentum Liechtenstein

Der stehende Vorrat im Jahr 2000 im Wald des Fürstentums Liechtenstein wird aufgrund des Landesforstinventars mit 1.553 Mio. m³ (Schaftholz in Rinde) angegeben. Dies entspricht einer lebenden Baumbiomasse von 1.165 Mio. t feste Holzmasse, bzw. 0.582 Mio. t C. Dies entspricht 34'265 kg TS / Einwohner, bzw. 17'130 kg C/Einwohner. Zum gleichen Zeitpunkt wird die Kohlenstoffmenge auf und im Boden mit 0.516 Mio. t angegeben, entsprechend 15'185 kg C / Einwohner. Der C-Gehalt im stehenden Vorrat ist somit größer als derjenige im und auf dem Waldboden.

4.2 Heutige Holzflüsse und Lager

Die Werte der heutigen Holzflüsse und -lager wurden in Analogie zur Schweizer Untersuchung festgelegt. Dort waren auf der Basis von Statistiken die Verbrauchsentwicklungen von 1900 bis 2000 ermittelt worden. Durch Simulation der Verbrauchsentwicklung über diese Periode hinweg wurde der Vorrat der verschiedenen Produktgruppen im Zivilisationskreislauf errechnet. Die so errechneten Mengen wurden mit Schätzungen der aktuellen Vorräte verglichen. Es konnte eine relativ hohe Übereinstimmung festgestellt werden. Da die Verbrauchsentwicklungen in kg Trockensubstanz pro Einwohner und Jahr ermittelt worden war, konnte die Rechnung analog auch für das Fürstentum durchgeführt werden. Die Holzflüsse (Tabelle 8) und Holzlager (Tabelle 9) im Jahr 2000 präsentieren sich wie folgt.

Tabelle 8: Holzflüsse im Zivilisationskreislauf im Jahr 2000 im Fürstentum Liechtenstein

Verbrauchszahlen FL	kg TS/E	m ³ Holz	Abgeleitete Flüsse FL	kg TS/E	m ³ Holz
Gebäudekonstruktion	62	4'216	Restholz	28	1'907
Gebäudeausbau	62	4'216	Brennaltpapier	77	5'213
Holzprodukte	54	3'672	Brennaltholz	78	5'300
Papier u. Karton	245	19'159	Altholzprodukte	52	3'544
Waldenergieholz	100	6'800	Altausbauholz	52	3'517
Summe Holzverbrauch	523	38'063	Altkonstruktionsholz	27	1'855
			Waldnutzholz	148	10'071
			Export Recyclingpapier	136	9'267
			Abfallholz	52	3'533
			Abgas	281	19'087

Holzexporte FL		Rundholz	Holzimporte FL		Rundholz
Rundholz, Restholz	105.3	6'800	Rundholz, Restholz	0	0
Halbfabrikate (o. Zellstoff)	10.3	700	Halbfabrikate	92.6	3'600
¾-Fabrik: Verpackung, etc.	0.3	20	¾-Fabrik: Verpackung,	35.3	2'400
Möbel / Häuser	0.3	20	Möbel / Häuser	44.1	3'000
Zellstoff	0	0	Zellstoff	0	0
Holzschliff	0	0	Holzschliff	0	0
Papier u. Karton	0	0	Papier u. Karton (Holz)	218	14'824

Quelle: Eigene Berechnungen mit der Software SIMBOX

Die Flüsse, welche den Holzverbrauch und den Außenhandel anzeigen, sind unabhängige Variablen. Sie werden aufgrund von erwarteten Entwicklungen oder bekannten Größen, z.B. den Außenhandels-

zahlen, festgelegt. Die abhängigen Variablen oder abgeleiteten Flüsse werden vom Modell errechnet, ebenso die Lagergrößen 2000. Diese sind das Resultat der Verbrauchsentwicklung seit dem Jahr 1900. Zum Zeitpunkt 2000 befindet sich das Modell nicht im Gleichgewicht. Aufgrund erheblicher Verbrauchssteigerungen in den letzten Jahren ist vor allem das Lager für Gebäudekonstruktionen noch im Aufbau begriffen. Entsprechend ist der Output aus dem System heute kleiner als der Input. Die Summe der Holzlager im Zivilisationskreislauf beträgt mit 7'700 kg TS/Einwohner etwa ein Drittel des stehenden Holzvorrates im Walde.

Tabelle 9: Holzlager im Zivilisationskreislauf im Jahr 2000 im Fürstentum Liechtenstein

Lagergrößen FL	kg TS/E	m ³ Holz	%-Anteil
Holzwirtschaft	406	27'583	5,3
Energieerzeugung	563	38'297	7,3
Gebäudekonstruktion	3'706	252'018	48,2
Gebäudeausbau	1'741	118'382	22,6
Holzprodukte	526	35'795	6,8
Papierherstellung	0	0	0,0
Papierkonsum	621	42'211	8,1
Altholzwirtschaft	130	8'868	1,7
Summe Holzlager	7'700	523'154	100,0

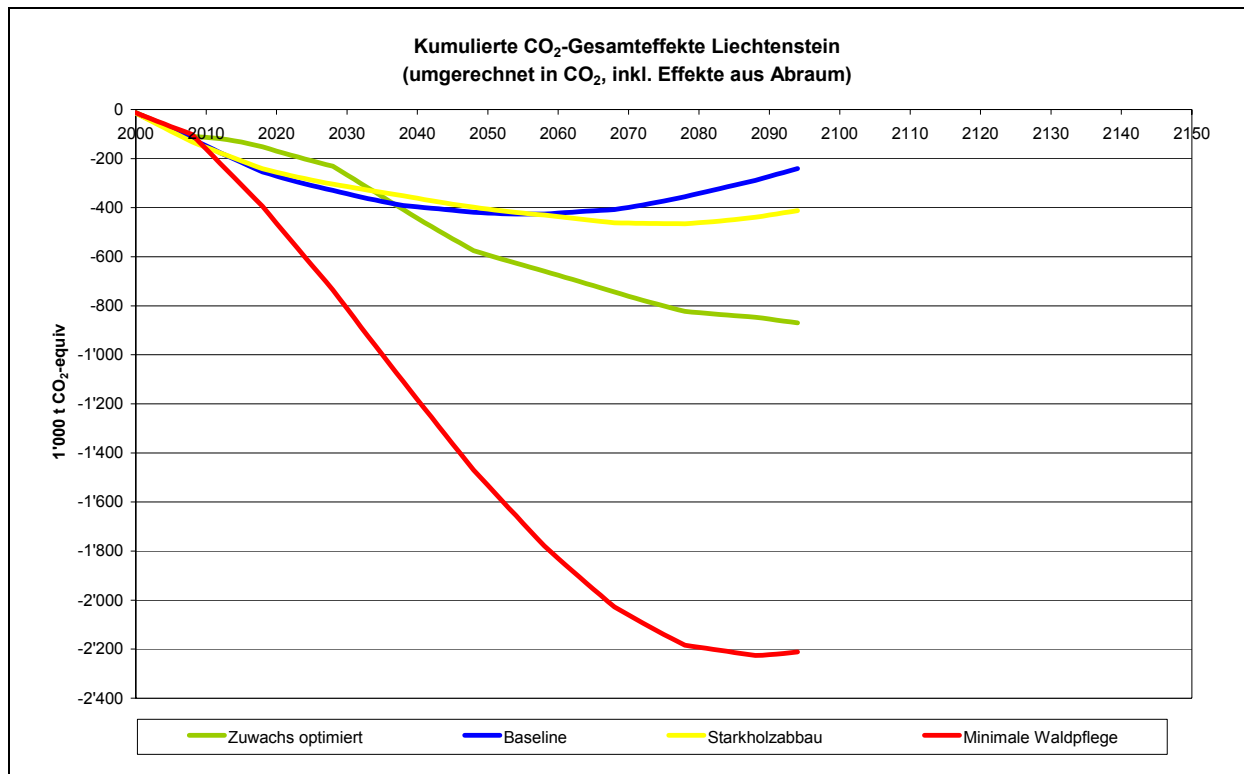
Quelle: Eigene Berechnungen mit der Software SIMBOX

5. CO₂-Effekte im Fürstentum Liechtenstein aufgrund von Entwicklungen gemäss Szenarien

5.1 Gesamteffekte aus Wald- und Holzwirtschaft

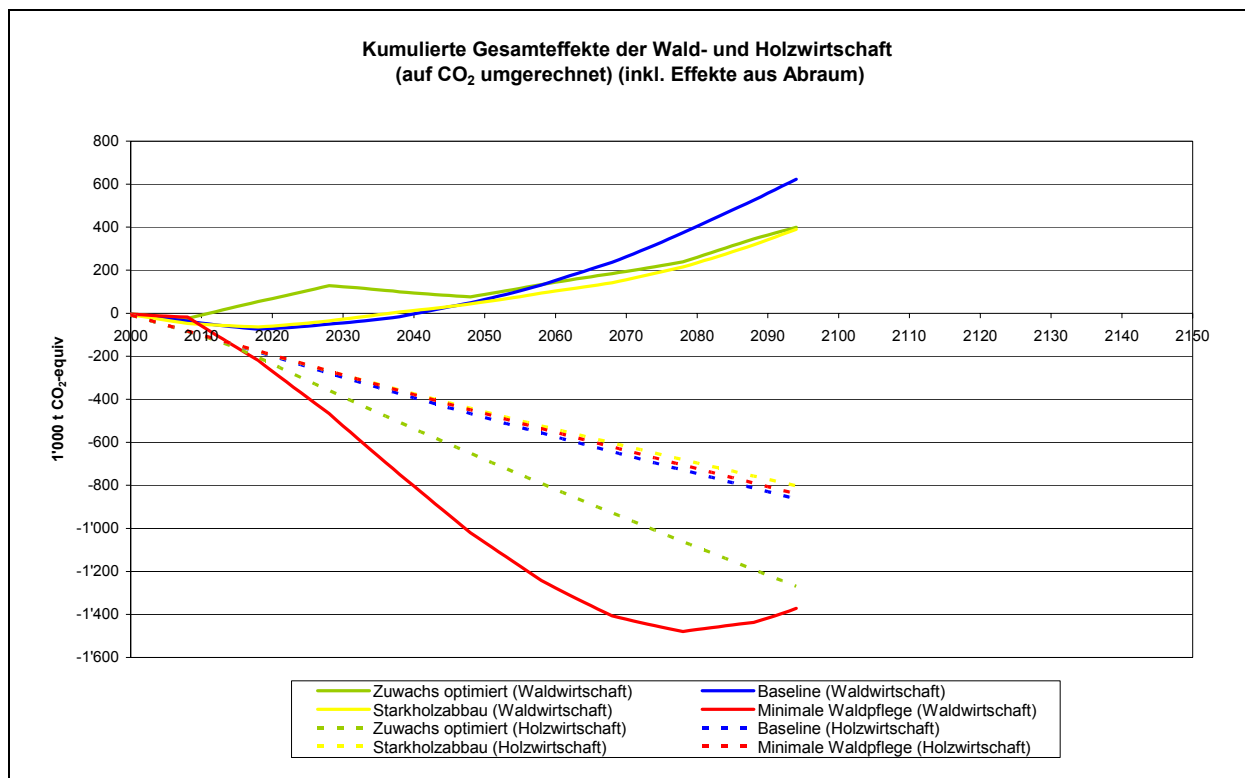
Vorbemerkung: Negative Werte bezeichnen negative CO₂-Flüsse, also Senkenleistungen oder Einsparungen an CO₂-Emissionen. Je negativer die Werte sind, desto größer sind also die Senken- oder die Substitutionswirkungen.

Abbildung 3: Kumulierte CO₂-Gesamteffekte der Wald- und Holzwirtschaft in Liechtenstein



Bezogen auf die inländischen Effekte hat das Szenario *Minimale Waldpflege* mit 2.2 Mio. t CO₂-Einsparungen bis ins Jahr 2090 deutlich die größte Kohlenstoff-Reduktionsleistung. An zweiter Stelle liegt das Szenario *Zuwachs optimiert*. Das Szenario *Starkholzabbau* und in noch stärkerem Ausmaß das Szenario *Baseline* führen in fernerer Zukunft (ab 2055, resp. ab 2075) wieder zu leicht höheren CO₂-Emissionen. Der rein inländischen Betrachtung müssen die ausländischen Effekte gegenübergestellt werden, um die globalen (also umweltmäßig relevanten) CO₂-Effekte zu erhalten.

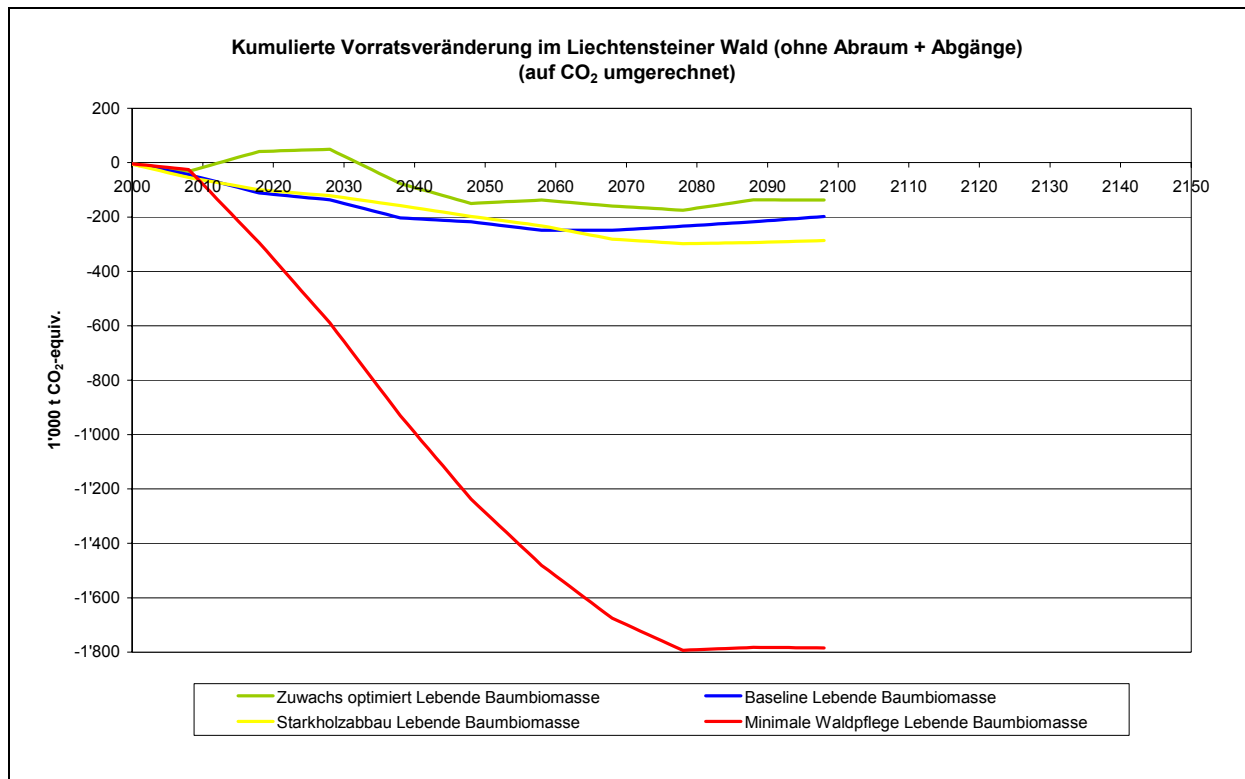
Abbildung 4: Kumulierte Gesamteffekte der Wald- und Holzwirtschaft in Liechtenstein



Der Vergleich der Wirkungen der Wald- und Holzwirtschaft zeigt, dass einzig beim Szenario *Minimale Waldpflege* dem Wald die größere Bedeutung zukommt als dem Zivilisationskreislauf. Hier wird die hauptsächliche Kohlenstoff-Senke im Wald angelegt, bei den andern drei Szenarien im Holz, das aus dem Wald entfernt wird. Bei diesen hat der Wald selbst keine Senkenwirkung, die Waldwirtschaft hat hier jedoch volkswirtschaftlich eine viel größere Bedeutung als im Szenario *Minimale Waldpflege*.

5.2 Wald

Abbildung 5: Kumulierte Vorratsveränderung im Liechtensteiner Wald ohne Effekte aus Abraum und natürlichen Abgängen



Die stark verringerte Nutzung beim Szenario *Minimale Waldpflege* führt anfänglich zu einem starken Vorratsaufbau, welcher aber ca. 2075 endet. Die deutliche Abflachung der Kurve stammt von der zunehmenden Mortalität und dem allmählichen Zuwachsrückgang im weniger genutzten Wald. Bei den anderen drei Szenarien bleiben die Vorräte im Wald auf hohem Niveau in etwa konstant. Die Schwankungen zu Beginn der betrachteten Periode beim Szenario *Zuwachs optimiert* sind auf die von Anfang an konsequente Verjüngungsstrategie im Hinblick auf eine gleichmäßige Altersklassenverteilung zurückzuführen.

Die folgende Abbildung 6 zeigt mit den punktierten Linien zusätzlich zur kumulierten Vorratsveränderung an lebender Baubiomasse die Veränderung des C-Gehaltes in und auf dem Waldboden an (auf CO₂ umgerechnet). Sie spiegeln in etwa den Verlauf bei der lebenden Baubiomasse. Die strichpunktierten Linien zeigen den kumulierten Effekt der Ausgasung des liegen gelassenen Holzes (Verrottung aus Abraum und aus den natürlichen Abgängen). Hier wird deutlich, dass beim Szenario *Baseline* am meisten Holz im Wald liegen bleibt und beim Szenario *Zuwachs optimiert* am wenigsten.

Abbildung 6: Kumulierte Vorratsveränderung im Liechtensteiner Wald und Effekte aus Abraum und natürlichen Abgängen

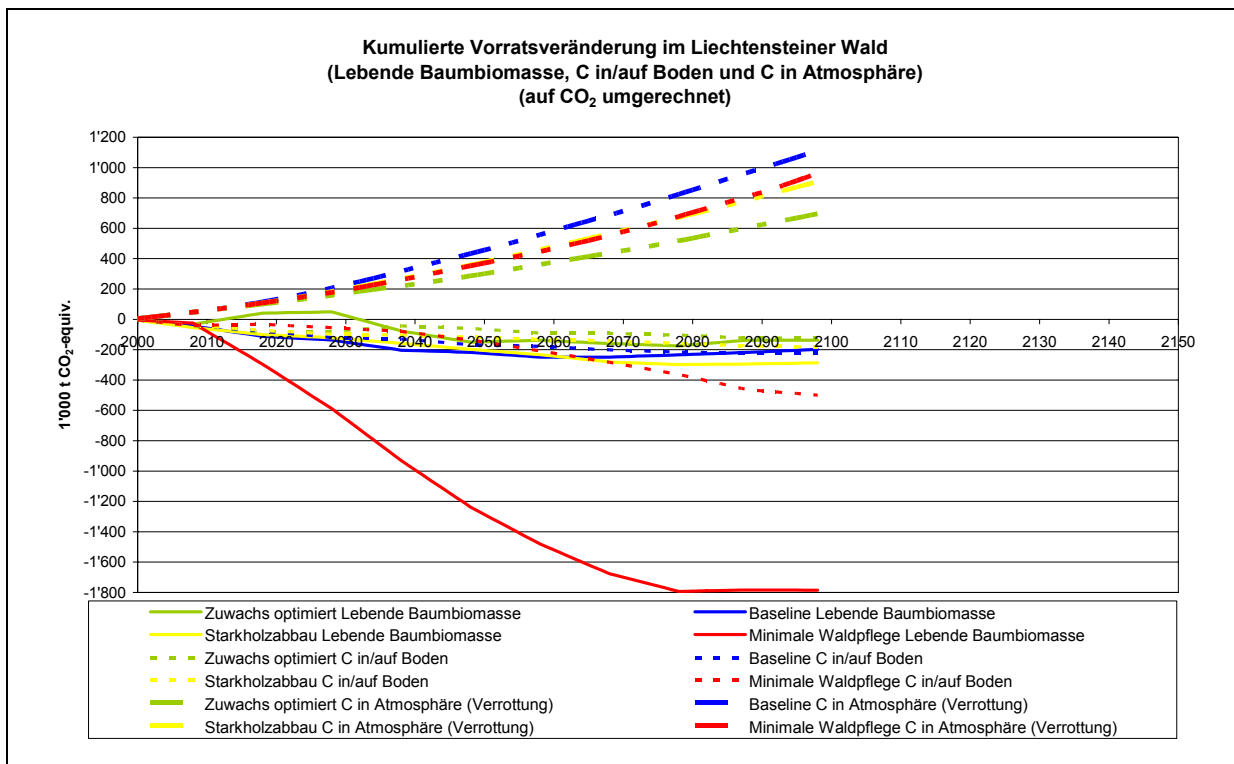
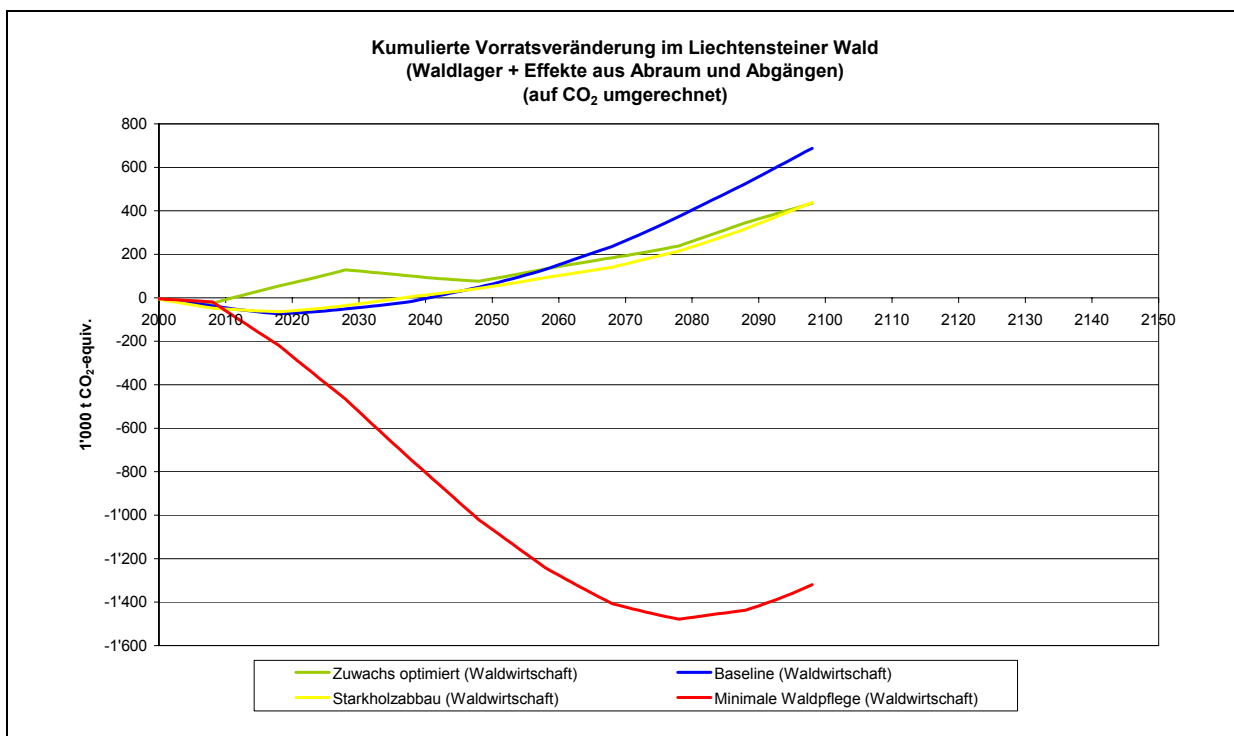


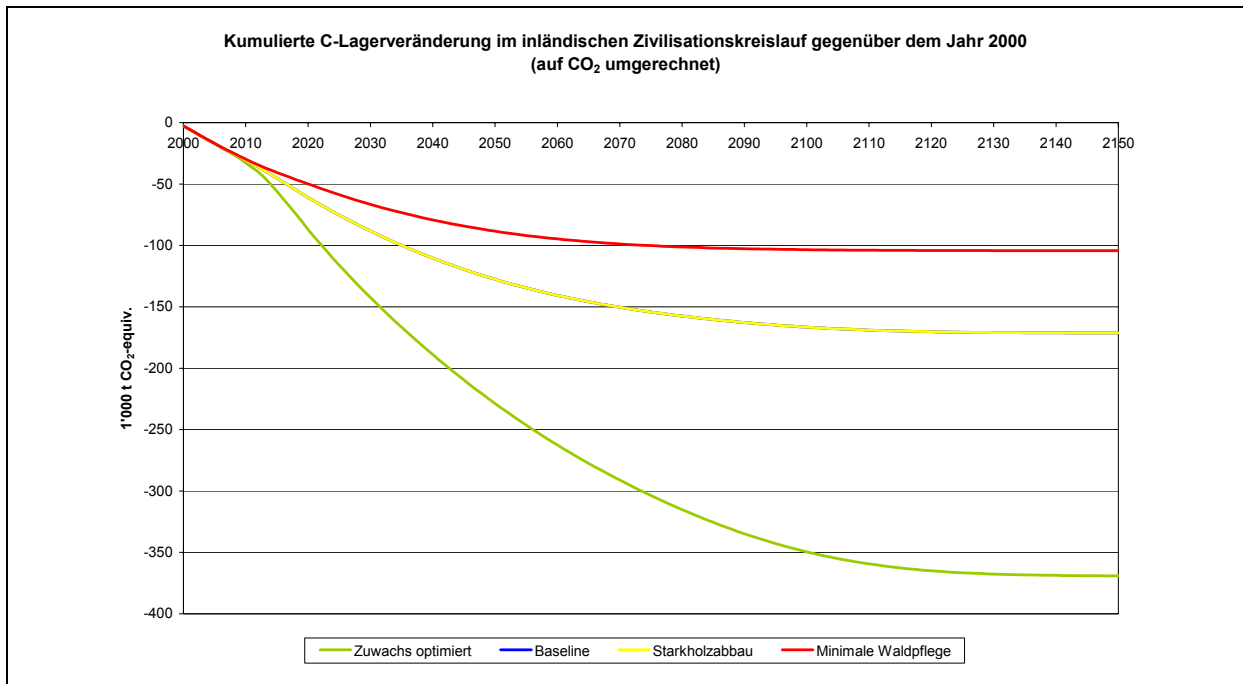
Abbildung 7 zeigt die CO₂-Bilanzen des Liechtensteiner Waldes (Summe der Kurven aus Abbildung 6). Trotz der nachhaltigen Waldbewirtschaftung bei den Szenarien *Zuwachs optimiert*, *Baseline* und *Starkholzabbau* werden diese im Liechtensteiner Wald „negativ“. Allerdings zeigt auch die Kurve des Szenarios *Minimale Waldpflege* ab 2080 deutlich nach oben, was ebenfalls einer CO₂-Emission entspricht.

Abbildung 7: Totale kumulierte CO₂-Vorratsveränderung im Liechtensteiner Wald



5.3 Zivilisationskreislauf

Abbildung 8: Kumulierte CO₂-Mengen im Holzlager des Liechtensteinischen Zivilisationskreislaufes



Bei den drei Szenarien *Baseline*, *Starkholzabbau* und *Zuwachs optimiert* können die C-Vorräte im Holzlager wesentlich stärker erhöht werden als diejenigen im Wald (vgl. Abbildung 5).

Das Szenario *Minimale Waldpflege* schneidet bei der Materialsubstitution am besten ab. Das ist plausibel, weil hier die meisten Materialien eingeführt werden und somit die Herstellungsemissionen im Ausland anfallen. Demgegenüber werden z.B. beim Szenario *Zuwachs optimiert* viele Produkte neu in Liechtenstein aus Holz produziert, was im Inland zu Herstellungsemissionen führt. Das Szenario *Starkholzabbau* schneidet am schlechtesten ab, weil hier aufgrund der Exporte die größten Transportemissionen anfallen.

Abbildung 9: Kumulierter Effekt aus der Materialsubstitution in Liechtenstein

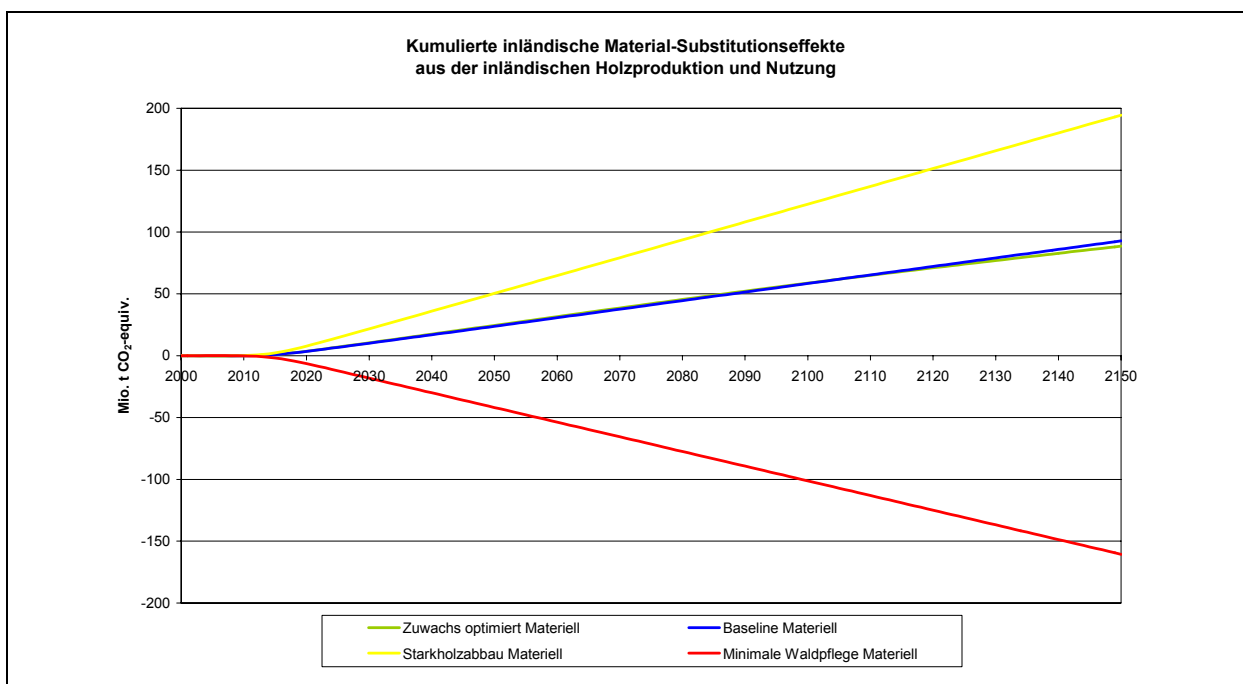
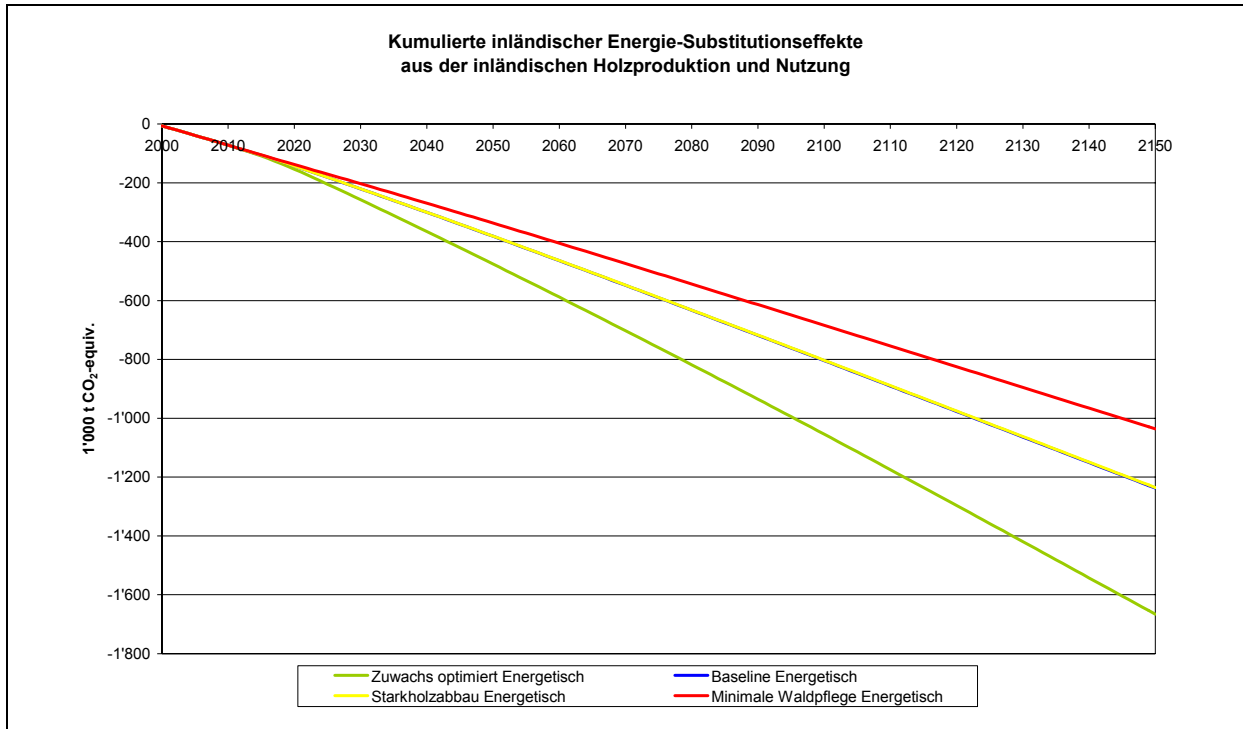
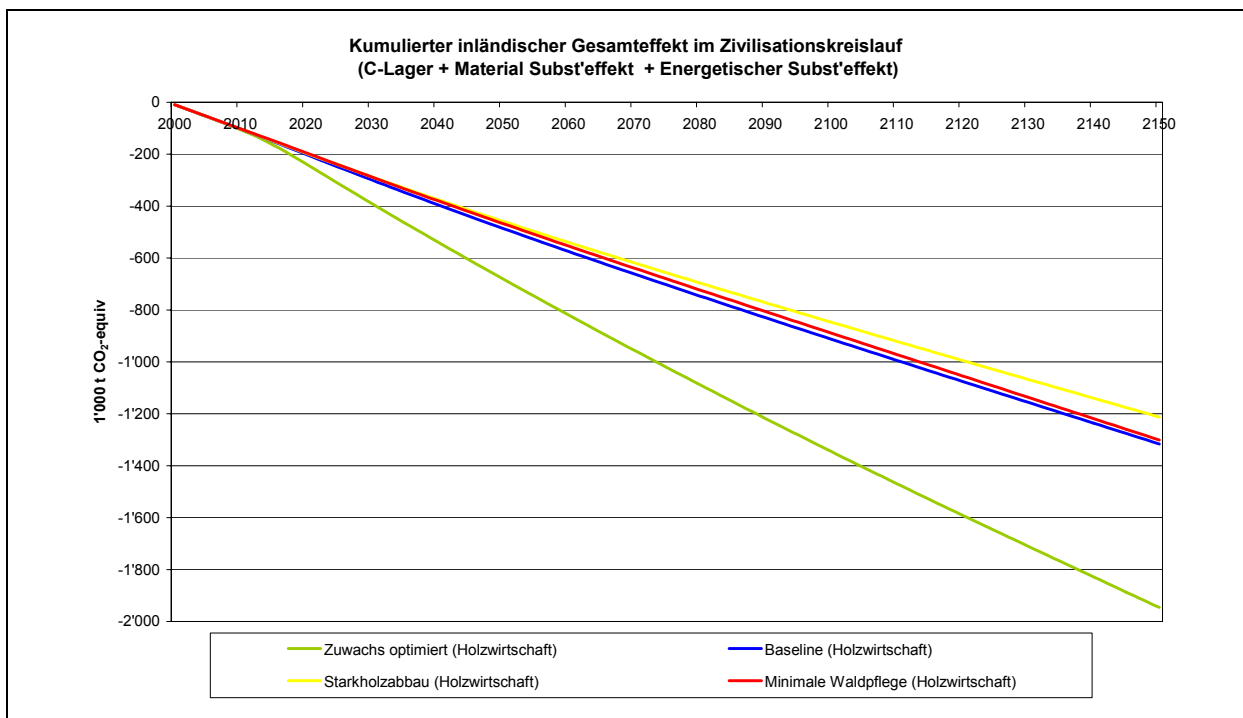


Abbildung 10: Kumulierte Energie-Substitutionseffekte in Liechtenstein



Das Szenario *Zuwachs optimiert* erzielt im Bereich der energetischen Substitution mit Abstand die besten Ergebnisse, dies aufgrund der höheren Menge an Waldbrennholz sowie an anfallendem Restholz aus der Produktion, welches thermisch genutzt wird und so fossile Energieträger substituiert.

Abbildung 11: Kumulierte Gesamteffekte im Zivilisationskreislauf in Liechtenstein

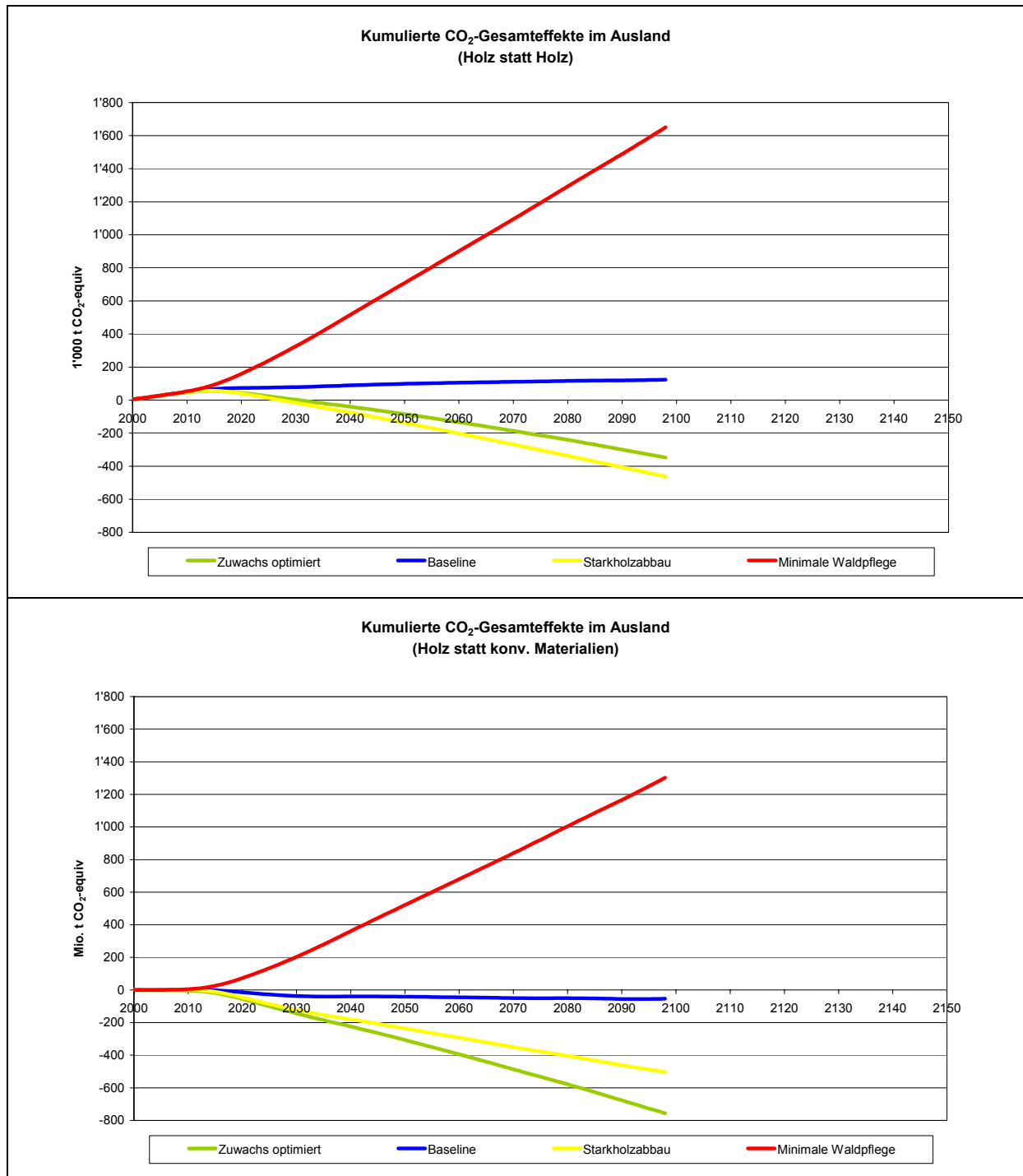


Das Szenario *Zuwachs optimiert* ergibt trotz der schlechten Werte im materiellen Substitutionsbereich mit Abstand die größte CO₂-Einsparung im inländischen Zivilisationsbereich. Die restlichen drei Szenarien liegen sehr nahe bei einander. Es zeigt sich, dass es wichtig ist, die einzelnen Effekte getrennt auszuweisen, um ihren Einfluss verstehen zu können.

6. CO₂-Effekte im Ausland aufgrund von Entwicklungen gemäss Szenarien

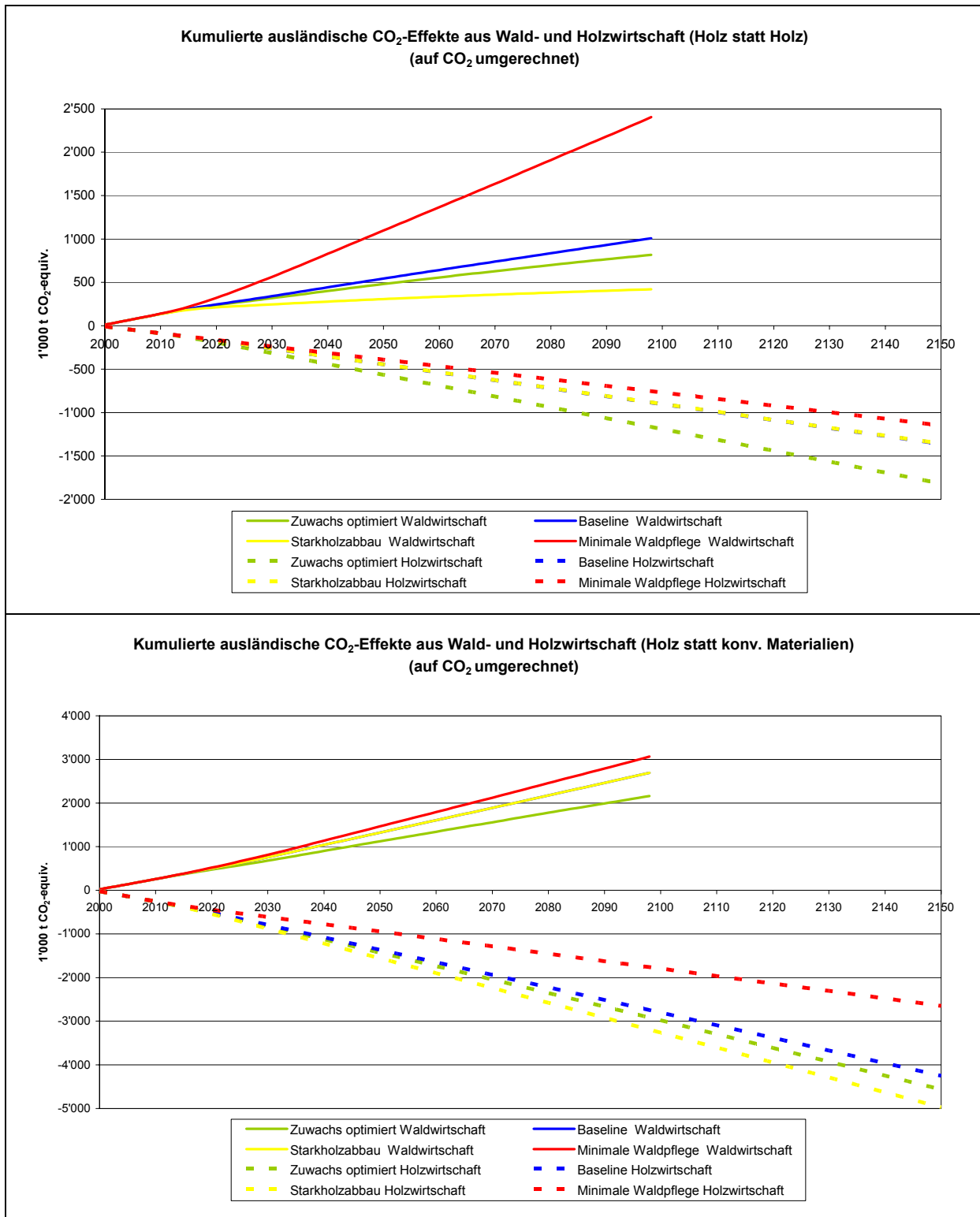
6.1 Gesamteffekte aus Wald- und Holzwirtschaft

Abbildung 12: Kumulierte ausl. Gesamteffekte der Wald- und Holzwirtschaft (‚Holz statt Holz‘)



Bei beiden Varianten (‚Holz statt Holz‘ und ‚Holz statt konv. Materialien‘) zeigt das Szenario *Minimale Waldpflege* stark zunehmende CO₂-Emissionen im Ausland. Bei der Variante ‚Holz statt Holz‘ hat auch das *Baseline* -Szenario eine - allerdings relativ schwache - „negative“ Bilanz, in Variante ‚Holz statt konv. Materialien‘ ist es neutral. Die beiden andern Szenarien haben eine deutlich „positive“ Bilanz, wobei das Szenario *Zuwachs optimiert* in Variante ‚Holz statt konv. Materialien‘ besser abschneidet als das Szenario *Starkholzabbau*.

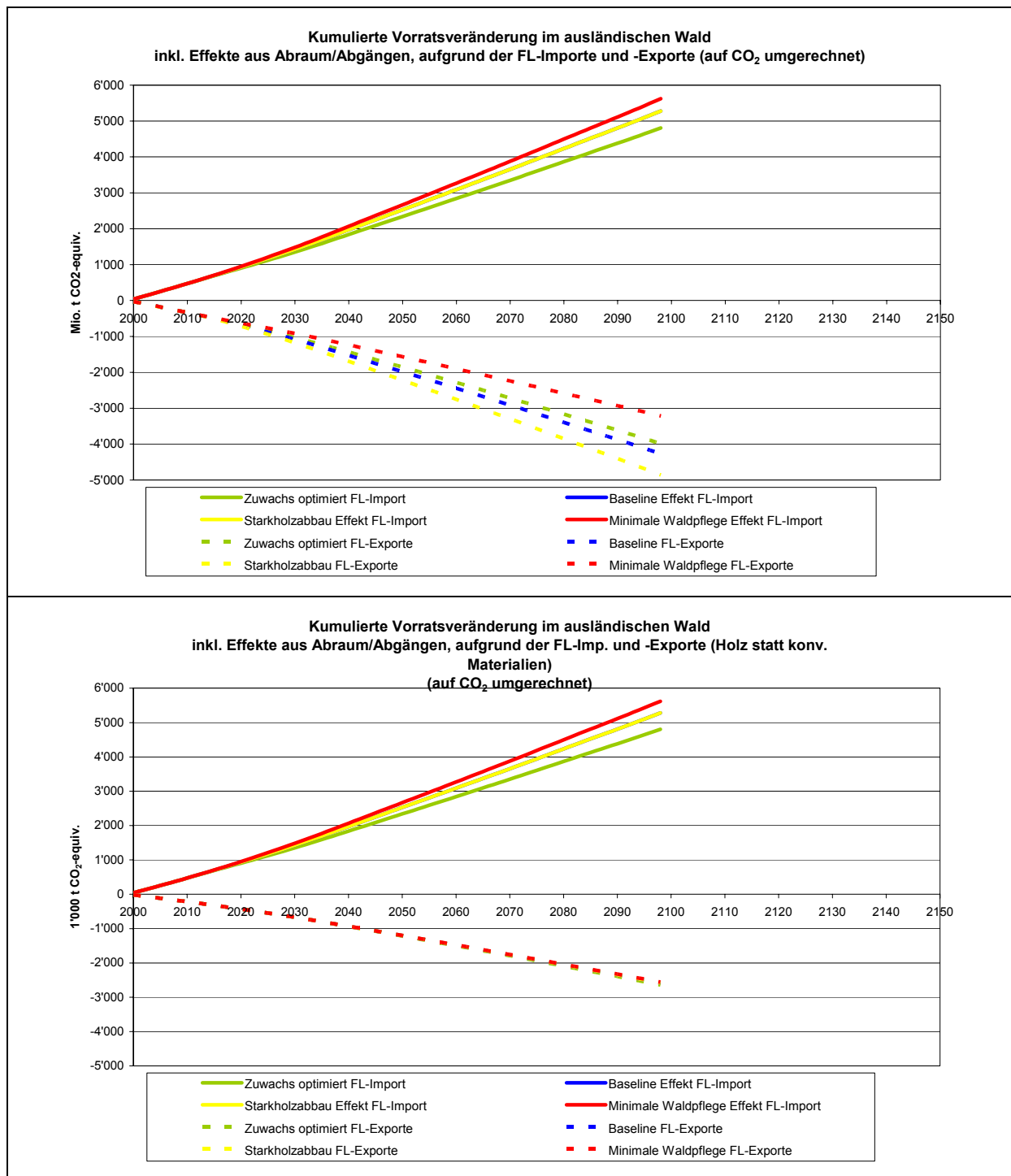
Abbildung 13: Kumulierte ausl. Gesamteffekte der Wald- und Holzwirtschaft („Holz statt Holz“)



Der „negative“ Waldeffekt (d.h. negative CO₂-Bilanz) des Szenarios *Minimale Waldpflege* ist bei beiden Varianten („Holz statt Holz“ und „Holz statt konv. Materialien“) deutlich größer als der „positive“ Holzwirtschaftseffekt. Dies ist auch beim Szenario *Baseline* der Fall, allerdings viel weniger ausgeprägt. Bei diesen Szenarien tritt eine verstärkte CO₂-Emission im Ausland auf. Bei den beiden Szenarien *Zuwachs optimiert* und *Starkholzabbau* hingegen ist der holzwirtschaftliche Effekt größer. Die ausländischen Effekte führen hier insgesamt zu einer CO₂-Emissionseinsparung.

6.2 Wald

Abbildung 14: Kumulierte Vorratsveränderung im ausländischen Wald



Der Bezug von ausländischem Holz in Form von Holzprodukten wie Rundholz, verarbeiteten Produkten (oder auch Papier) bewirkt eine verringerte Zunahme der ausländischen Waldvorräte. Demgegenüber bewirken die FL-Exporte von Holz resp. Holzprodukten unter Umständen eine „Schonung“ des ausländischen Waldes und damit eine verstärkte Vorratszunahme.

Die Variante ‚Holz statt Holz‘ führt im Gegensatz zur Variante ‚Holz statt konventionellen Materialien‘ zu einer Schonung des ausländischen Waldes. Falls konventionelle Materialien substituiert werden, dürfen nur diejenigen Exportprodukte verrechnet werden, die trotzdem Waldholz substituieren, nämlich das Altholz und das Altpapier.

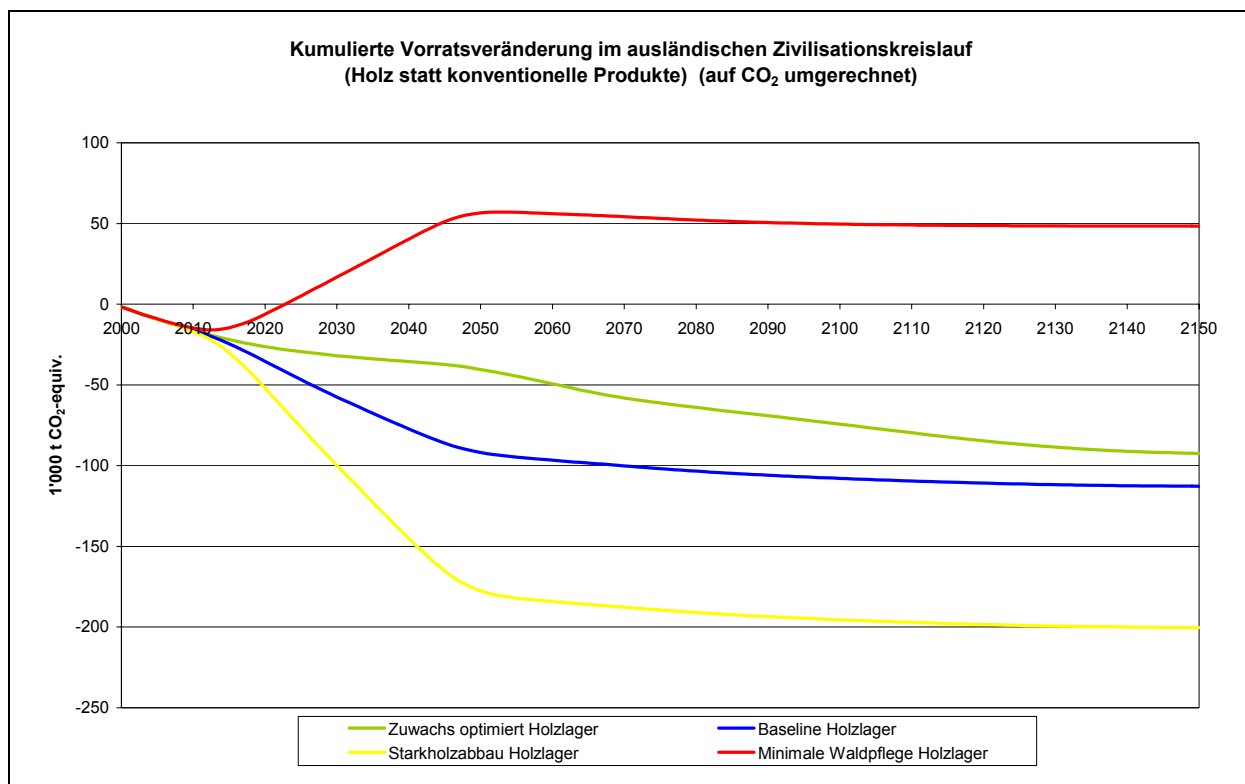
6.3 Zivilisationskreislauf

Um die Auswirkungen der Liechtensteiner Holzexporte im Ausland berechnen zu können, müssen wie schon in Kapitel 3.1 beschrieben zwei Fälle unterschieden werden:

1. Liechtensteiner Holz ersetzt im Ausland konventionelle Produkte wie Aluminium, Beton, Fliesen etc. oder
2. Im Ausland werden ausländische Holzprodukte ersetzt. Bei unseren Berechnungen geben wir jeweils die beiden Extreme an.

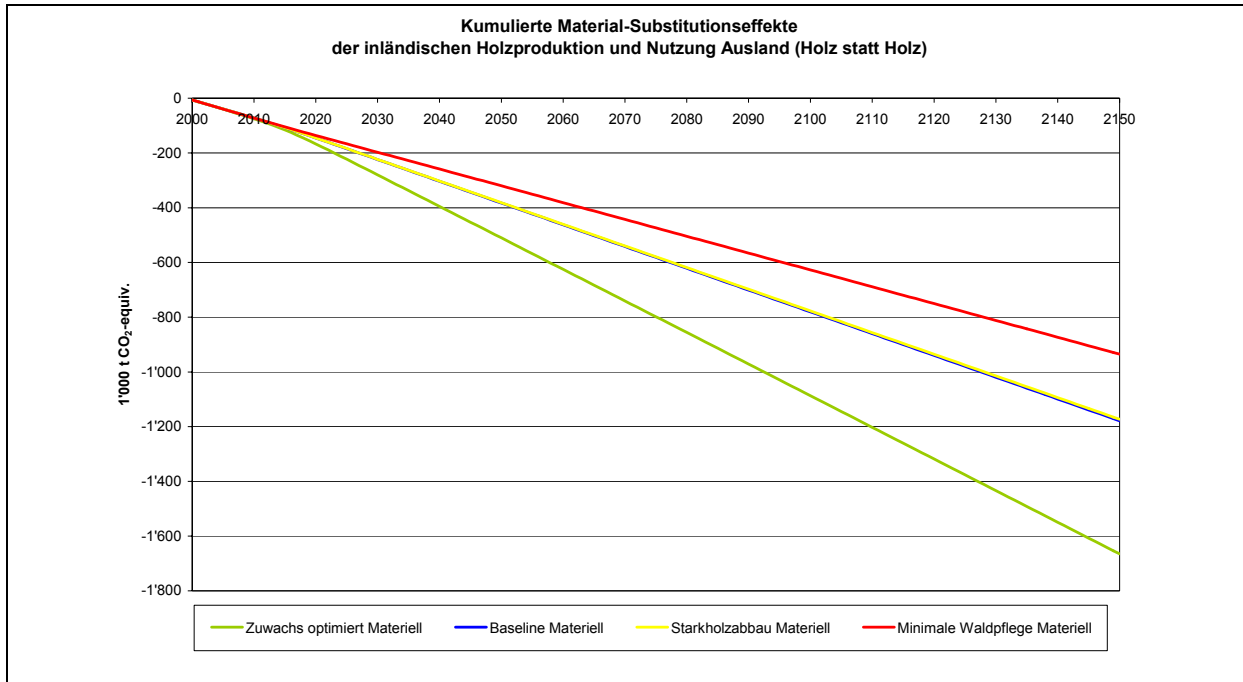
Falls im Ausland ausländische Holzprodukte durch Liechtensteiner Holzprodukte ersetzt werden, ergibt sich netto praktisch keine Vorratsveränderung. Eine minimale Lagerveränderung ergibt sich aus dem anfallenden Restholz aus der Produktion von Holzprodukten, die für den Export nach Liechtenstein hergestellt werden. Da dieser Effekt aber sehr klein ist, wird er hier vernachlässigt und bei den Effekten der thermischen Substitution verrechnet. Es wird angenommen, dass die aus Liechtenstein exportierten Altholz- und Recyclingpapiermengen schon bestehende Holzlager ersetzen und deshalb keine Lagereffekte im Ausland haben.

Abbildung 15: Kumulierte Holzlager im Ausland aus Liechtensteiner Holz („Holz statt konventionelle Produkte“)



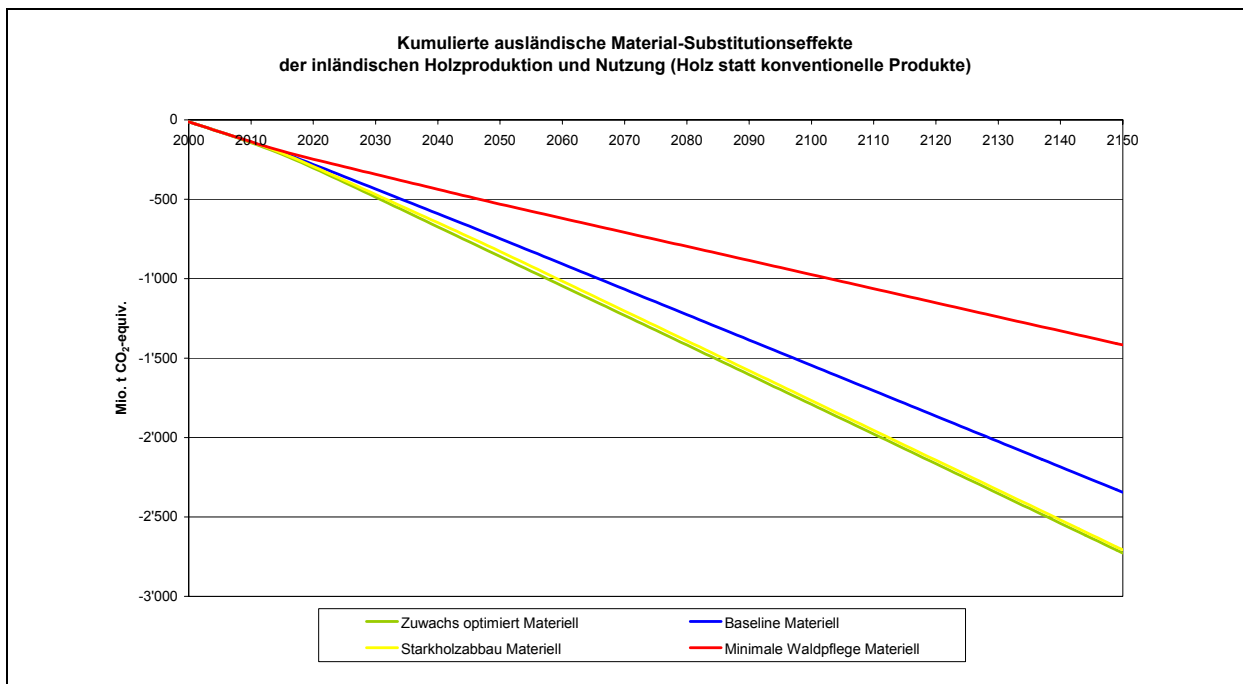
Aufgrund der sehr hohen Rohholzexporte im Szenario *Starkholzabbau* liefert dieses Szenario die größte Vorratszunahme im Ausland. Die hohen Rohholzexporte im Szenario *Baseline* werden durch die ansteigenden Altholzexporte im Szenario *Zuwachs optimiert* mit der Zeit beinahe erreicht.

Abbildung 16: Kumulierte ausländische Effekte der Materialsubstitution (‚Holz statt Holz‘)



Das Ausland spart beim Szenario *Zuwachs optimiert* aufgrund der größten inländischen Produktion von Holzprodukten (Einsparung ausländischer Produktionsemissionen für den Export nach Liechtenstein) und den höchsten Exporten von Holzprodukten (Einsparung von Produktionsemissionen für Produkte, welche das Ausland benötigt) am meisten Produktionsemissionen ein. Dementsprechend finden hier die größten positiven CO₂-Effekte statt. Analog zu diesen Überlegungen schneidet das Szenario *Minimale Waldpflege* mit den geringsten Exporten am schlechtesten ab.

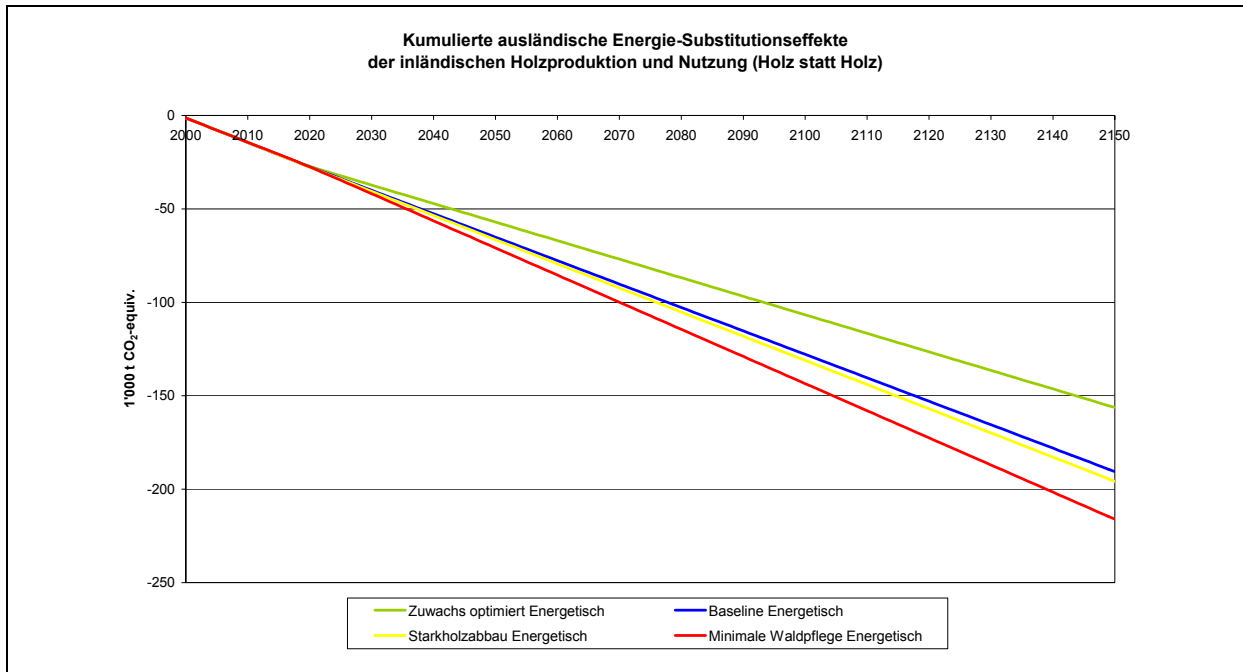
Abbildung 17: Kumulierte Effekte der ausländische Material-Substitution (‚Holz statt konv. Produkte‘)



Wie Abbildung 17 zeigt, sind die Substitutionseffekte beim Ersatz von konventionellen Produkten größer, als wenn ausländische Holzprodukte ersetzt werden (größere Produktionsemissionen bei den konventionellen Produkten). Der Grund, weshalb hier nun die Szenarien *Zuwachs optimiert* und *Stark-*

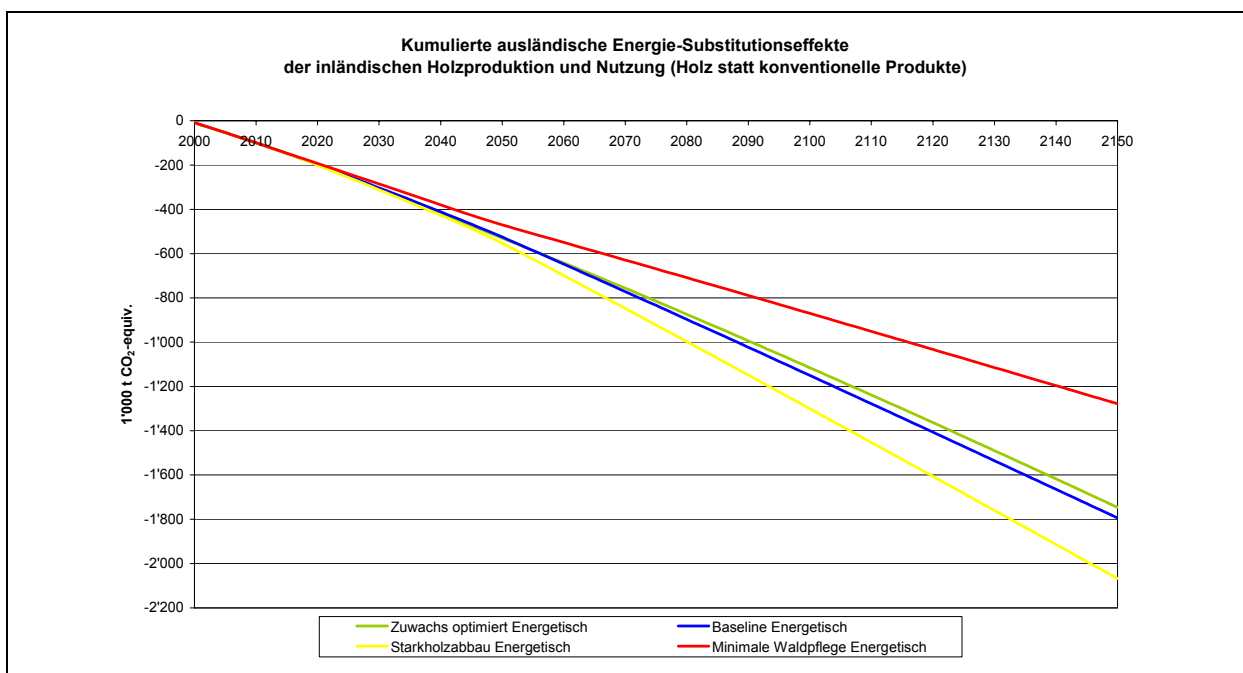
holzabbau so nahe bei einander liegen ist der, dass die Substitutionseffekte der Produktion der Holzprodukte im Ausland hier stärker ins Gewicht fallen als bei der Variante ‚Holz statt Holz‘. Deshalb wird das schlechtere Abschneiden des Szenarios *Starkholzabbau* bei den Substitutionseffekten der inländischen Produktion im Ausland gegenüber dem Szenario *Zuwachs optimiert* beinahe kompensiert.

Abbildung 18: Kumulierte ausländische Effekte der energetischen Substitution (‚Holz statt Holz‘)



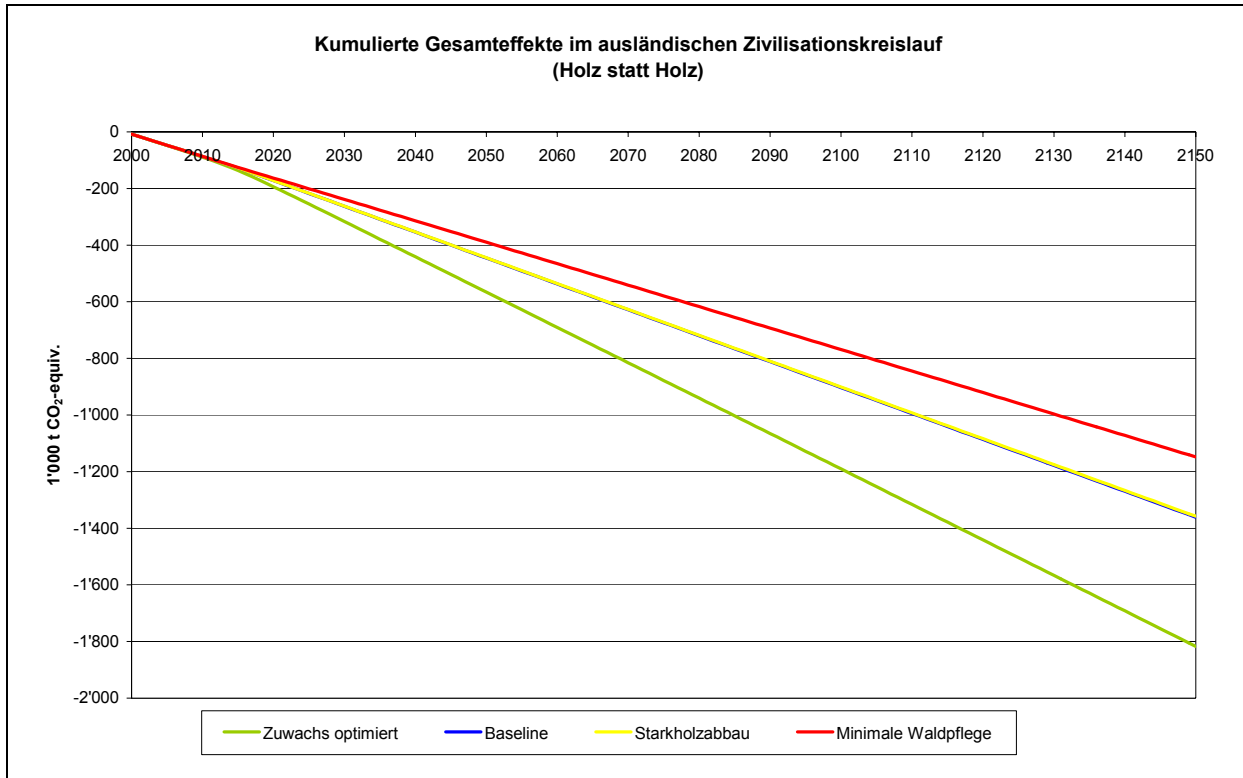
Die energetischen Substitutionseffekte im Ausland im Fall ‚Holz ersetzt Holz‘ sind klein im Verhältnis zur Variante ‚Holz ersetzt konventionelle Produkte‘, weil ja nicht zusätzliche Holzprodukte anfallen, die energetisch genutzt werden können. Die Effekte stammen aus der thermischen Nutzung des Restholzes, welches bei der Produktion von Produkten anfällt, die nach Liechtenstein exportiert werden. Die Rangreihenfolge entspricht deshalb der exportierten Menge an Holzprodukten.

Abbildung 19: Kumulierte ausl. Effekte der energetischen Substitution (‚Holz statt konv. Produkte‘)



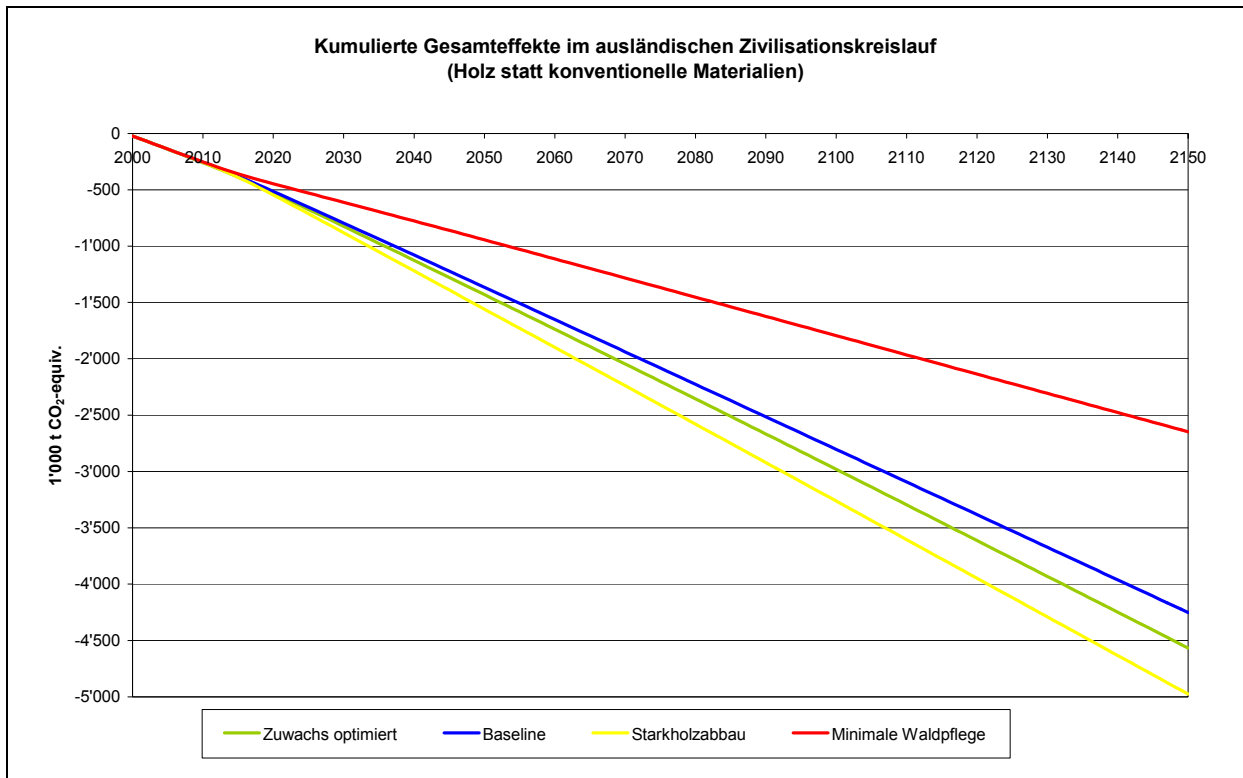
Im Gegensatz zur Variante ‚Holz statt Holz‘ spielt hier (Abbildung 19) bei der energetischen Substitutionsleistung im Ausland die absolute Menge des aus Liechtenstein exportierten Holzes die Hauptrolle. Deshalb liefern hier die beiden Szenarien *Starkholzabbau* und *Baseline* die besten Resultate. Das Szenario *Minimale Waldpflege* liegt deutlich auf dem letzten Rang.

Abbildung 20: Kumulierte Gesamteffekte im ausländischen Zivilisationskreislauf (‚Holz statt Holz‘)



Die kumulierten Gesamteffekte im ausländischen Zivilisationskreislauf entsprechen im Wesentlichen den Effekten aus der materiellen Substitution, weil hier die ausländischen Holzlager infolge der Liechtensteiner Holzexporte praktisch nicht anwachsen und die energetische Substitution einen kleinen Einfluss hat. Das Szenario *Zuwachs optimiert* schneidet hier am Besten ab.

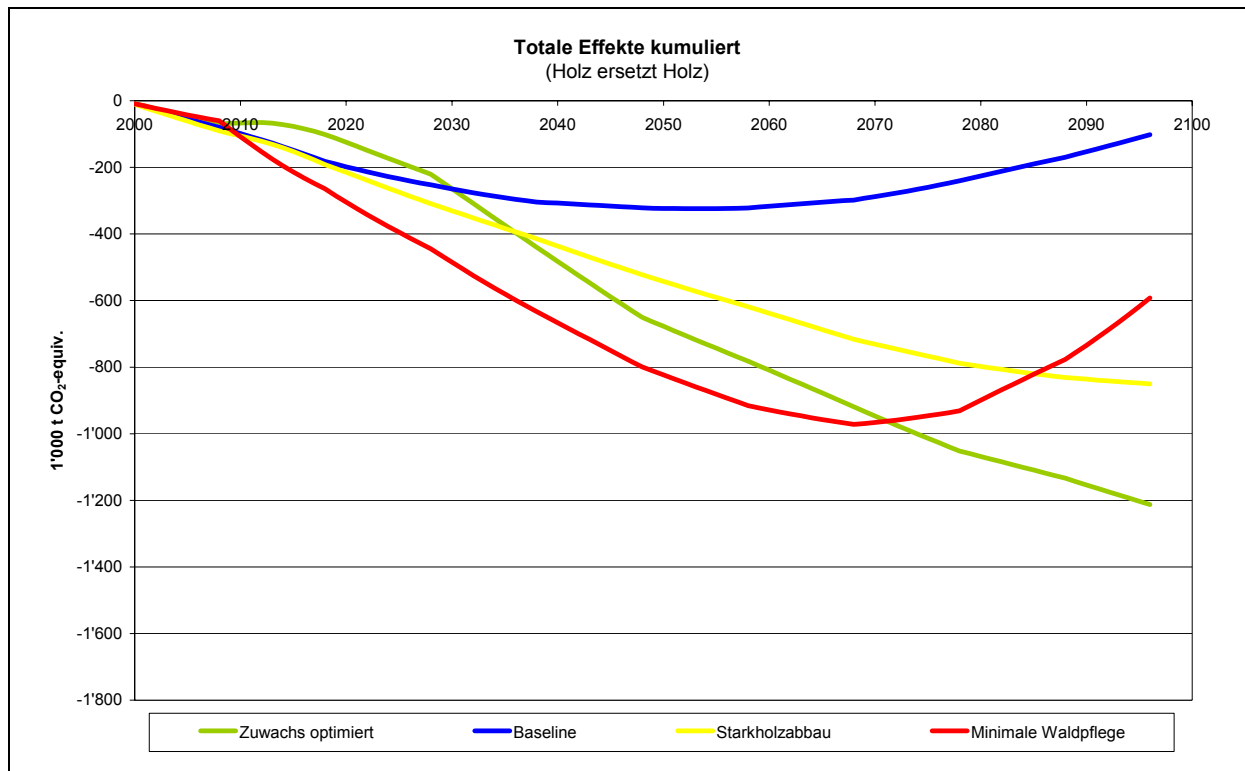
Abbildung 21: Kumulierte Gesamteffekte im ausländischen Zivilisationskreislauf (‘Holz statt konventionelle Produkte’)



Dank der energetischen Substitution und den ausländischen Lagereffekten schneidet im Fall ‚Holz statt konv. Materialien‘ das Szenario *Starkholzabbau* am Besten ab. Wie auch beim Fall ‚Holz statt Holz‘ schneidet auch hier das Szenario *Minimale Waldpflege* deutlich am schlechtesten ab.

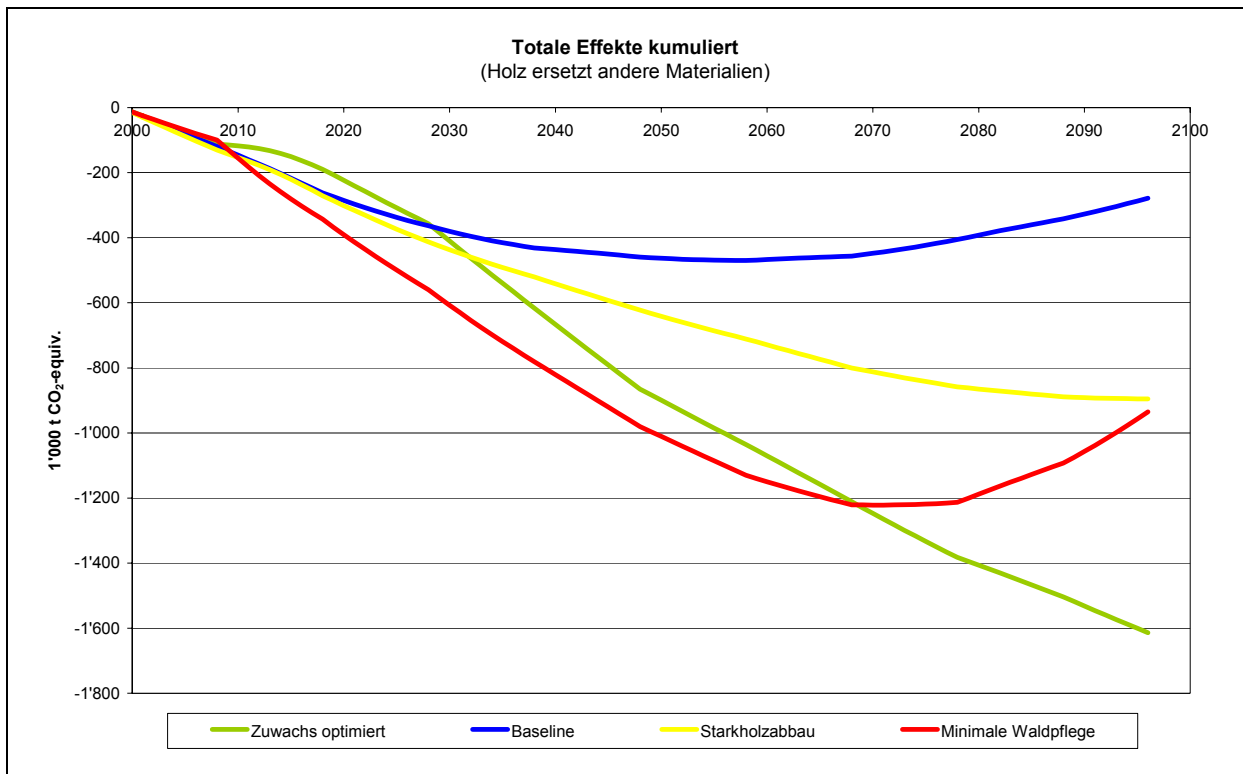
7. Globale CO₂-Effekte aufgrund von Entwicklungen gemäss Szenarien

Abbildung 22: Globale Effekte („Holz statt Holz“)



Die beiden Szenarien *Zuwachs optimiert* und *Starkholzabbau* zeigen eine nachhaltigere Entwicklung als die anderen beiden Szenarien, da hier der CO₂-Effekt in der betrachteten Zeitperiode nicht umkehrt. Das Szenario *Minimale Waldpflege* liefert bis ca. 2070 die besten CO₂-Effekte, führt aber dann zu deutlichen CO₂-Emissionen, während die CO₂-einsparende Wirkung z.B. des Szenarios *Zuwachs optimiert* weiter anhält.

Abbildung 23: Globale Effekte („Holz ersetzt andere Materialien“)



Der Vergleich zwischen den Szenarien führt bei der Variante ‚Holz ersetzt andere Materialien‘ zu denselben Schlüssen wie in der Variante ‚Holz statt Holz‘. Die beiden Szenarien *Zuwachs optimiert* und *Starkholzabbau* zeigen einen ‚nachhaltigeren‘ Kurvenverlauf als die anderen beiden Szenarien. Ab ca. 2070 liefert auch hier das Szenario *Zuwachs optimiert* die besten Resultate.

8. Schlussfolgerungen

Das Szenario *Zuwachs optimiert* liefert auf lange Sicht die besten Ergebnisse, gefolgt vom Szenario *Starkholzabbau*. Das Szenario *Minimale Waldpflege* weist zwar bei beiden Varianten bis ca. 2070 die größten CO₂-Einsparungen auf, führt danach aber zu deutlich schlechteren Ergebnissen als das Szenario *Zuwachs optimiert* und bei der Variante ‚Holz statt Holz‘ auch als das Szenario *Starkholzabbau*. Im Übrigen führen die beiden Varianten ‚Holz statt Holz‘ und ‚Holz statt konventionelle Produkte‘ im Wesentlichen zu den gleichen Ergebnissen. Die schlechtesten Resultate liefert bei beiden Varianten das Szenario *Baseline*. Eine Beibehaltung der bisherigen Nutzungsstrategie ist also unter dem Gesichtspunkt der Kohlenstoffspeicherung nicht vorteilhaft.

Bei diesen Ergebnissen muss der Tatsache Rechnung getragen werden, dass das Szenario *Minimale Waldpflege* aufgrund der hohen Holzvorräte im Wald mit größeren Risiken verbunden ist als die anderen Szenarien mit stabileren Waldstrukturen.

Die bewusste Unterstützung der Klimapolitik durch geeignete Maßnahmen in der Wald- und Holzwirtschaft erweist sich anhand dieser Untersuchung als möglich. Es wird empfohlen, einen Strategiemix zu wählen, welcher sich nahe dem Szenario *Zuwachs optimiert* bewegt. Im Rahmen der Waldwirtschaft wird auf eine dauernd hohe Zuwachsleistung hingearbeitet. Der optimierte Zuwachs geht mit relativ hohen stehenden Holzvorräten einher. Die Holzverwendung wird namentlich im Baubereich favorisiert, ebenso die energetische Holznutzung anstelle von fossilen Energieträgern. Die einheimische Holzverarbeitung wird nicht nur gegenüber der Substitutions- sondern auch gegenüber der Importkonkurrenz gestärkt. Die Emissionseffekte der Substitution erweisen sich langfristig als deutlich wirksamer als die Lagereffekte.

Im Rahmen dieser Untersuchung wurde die Beschäftigungswirkung der verschiedenen Szenarien nicht weiter untersucht. Im Rahmen der Schweizer Studie wurde errechnet, dass das ähnlich angelegte Szenario *Zuwachs optimiert* eine Zunahme der Arbeitsplätze im Inland bewirkt, das Szenario *Minimale Waldpflege* dagegen mit Arbeitsplatzverlusten verbunden ist. Auch wenn die entsprechenden Berechnungen hier nicht angestellt wurden, trifft diese Feststellung sicherlich auch im Falle des Fürstentums Liechtenstein zu.

Folgende Modellannahmen sind aber bei der Interpretation der Resultate zu berücksichtigen. Es wird bei der Modellierung der Substitutionseffekte davon ausgegangen, dass:

- anfallendes Restholz und Altholz in Liechtenstein in entsprechenden Feuerungen verbrannt wird.
- Produktionskapazitäten für die Herstellung von Spanplatten, Faserplatten, Parkett und anderen Holzprodukten in Liechtenstein aufgebaut werden (v.a. Szenario *Zuwachs optimiert*).
- sich die Produktionskapazitäten für konventionelle Baustoffe im Liechtenstein nicht wesentlich verändern.

Die hier vorgestellten Resultate sind zunächst unabhängig von den gewählten Ansätzen zur Anrechenbarkeit der CO₂-Flüsse und –Lager. Bis heute können die Holzlager im Zivilisationskreislauf nicht angerechnet werden. Die aktuelle Bilanzierung berücksichtigt ausschließlich die inländischen Effekte.

9. Literatur

9.1 Statistisches Quellenwerk

- Schweizerische Forststatistik: 2. Lieferung. Statistik des Holzverkehrs der Schweiz mit dem Auslande in den Jahren 1885 bis 1907. Zürich, 1910
- Eidg. Inspektion für Forstwesen: Produktion und Verbrauch von Nutzholz. A. Einleitung: Einige statistische Angaben über die forstlichen Verhältnisse der Schweiz. Zürich, 1912
- Eidg. Statistisches Amt: Schweizer Forststatistik. Jahre 1922 bis 1974 (Entsprechende Jahre aus der Graphik S.14). Statistische Quellenwerke der Schweiz; diverse Hefte
- Eidg. Statistisches Amt: Rundholzverbrauch in der Schweiz. Erhebung 1930. Statistische Quellenwerke der Schweiz. Heft 21
- FAO: European Timber Statistics 1913-1950, Geneva 1953, 82 Seiten
- FAO: Consommation, Production et commerce du bois en europe, Genève 1953, 342 Seiten
- FAO: Consommation, Production et commerce du bois en europe, evolutions et perspectives. Nouvelle étude 1950-1975, New York, 1964, 250 Seiten

9.2 Literaturnachweis

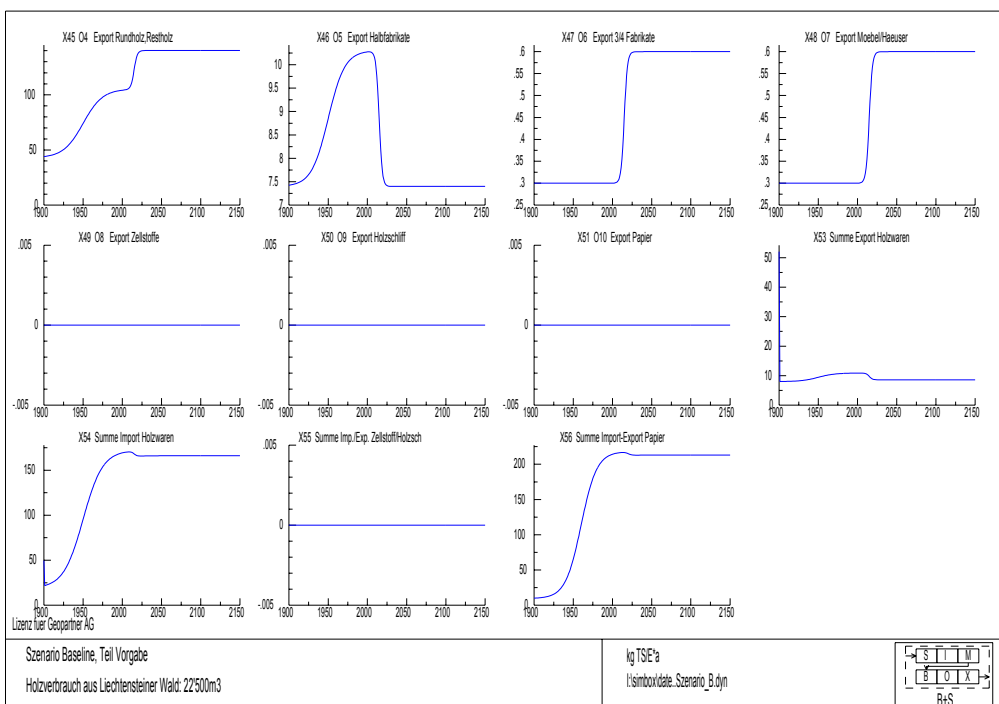
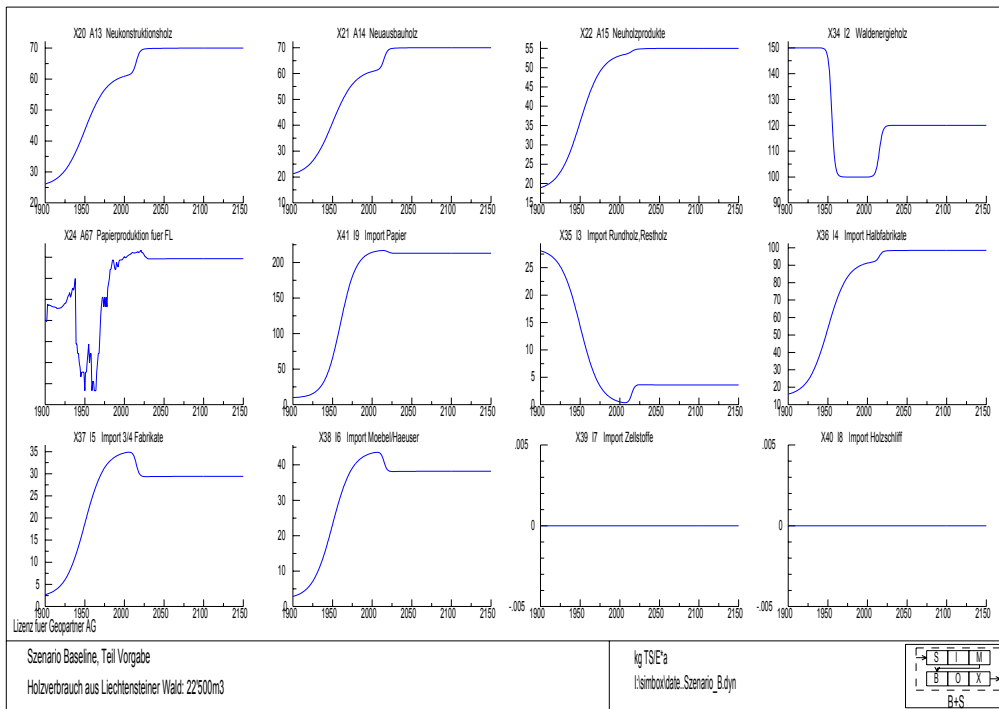
- [1] Müller, D. (1998): Modellierung, Simulation und Bewertung des regionalen Holzhaushaltes. Untersuchung zur Wald- und Holzwirtschaft in einer nachhaltigen Regionalentwicklung. Diss. ETH Nr. 12990
- [2] Hofer, P., L. Morf, R. Taverna und K. Richter (2001): Speicherung von CO₂ in Holzlagern im Zivilisationskreislauf und Emissionseffekte der Substitution bei gesteigerter Holzverwendung. GEO Partner AG, Zürich; Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA), Dübendorf
- [3] Quetting, M., J. Wiegand und J. Sell (1999): Tiefenerhebung zu Entscheidungsmotiven und zum Image von Holz im Hochbau in der Schweiz. Forschungs- und Arbeitsberichte 115/40, Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA), Dübendorf
- [4] Wiegand, J. und M. Quetting (1999a): Ergebnisse im Hochbau; Untersuchung über Entscheidungsmotive und Kenntnisse zu Holz. In: *SAH Bulletin CSRB*, 3(1999): 13-29
- [5] Wiegand, J. und M. Quetting (1999b): Ergebnisse im übrigen Bauwesen und im Bereich Möbel; Untersuchung über Entscheidungsmotive und Kenntnisse zu Holz. In: *SAH Bulletin CSRB*, 3(1999): 30-35
- [6] Houghton, J.T., L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg und K. Maskell (eds.) (1996): *Climate Change 1995; The Science of Climate Change*. Cambridge University Press, published for the International Panel on Climate Change (IPCC), Cambridge
- [7] Hofer P., Taverna R., Richter K. und Werner F. (2002): Gebäudepark als Holzlager. GEO Partner AG, Zürich; Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA), Dübendorf
- [8] Brassel, P., Brändli, U.-B. (Red.) (1999): Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der Zweitaufnahme 1993-1995. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft. Bern, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. Bern, Stuttgart, Wien
- [9] BUWAL (1999): Der Schweizer Wald - eine Bilanz. Waldpolitische Interpretation zum zweiten Landesforstinventar. Hrsg.: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 72 Seiten
- [10] Planconsult (1998): Studie über den Endverbrauch des Holzes in der Schweiz im Jahre 1996, Basel
- [11] Hofer P., Taverna R., Richter K. und Werner F. (2002): Senkenleistung und Materialsubstitution beim Schweizer Gebäudepark im Hinblick auf die nationale Treibhausgasbilanz. GEO Partner AG, Zürich; Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA), Dübendorf

- [12] Werner, F., Richter, K. (2005): Treibhauseffekte der Substitution der Brennstoffe Heizöl und Erdgas durch Holz. Umwelt und Entwicklung. Unveröffentlicht, erstellt im Auftrag des BUWAL, Zürich Januar 2005.
- [13] Werner, F. (2006): Modellbeschreibung für die Berechnung klimarelevanter Lager- und Substitutionseffekte verschiedener Holzverwendungsszenarien im Zivilisationskreislauf im Fürstentum Liechtenstein. Umwelt und Entwicklung. Unveröffentlicht, Zürich Februar 2006.
- [14] Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, BUWAL (Hrsg.) (2004): Branchenprofil der Wald- und Holzwirtschaft 2001; Umwelt-Materialien Nr. 187, Wald und Holz; Bern 2004, 192 Seiten.
- [15] Kaufmann, E. (2000): "Estimation of standing timber, growth and cut", in: Brassel, P. and Lischke, H. (eds.): Swiss National Forest Inventory: Methods and Models of the second Assessment. WSL Birmensdorf, 162-196
- [16] Kaufmann, E. (2000): "Prognosis and management scenarios", in: Brassel, P. and Lischke, H. (eds.): Swiss National Forest Inventory: Methods and Models of the second Assessment. WSL Birmensdorf, 197-206
- [17] Kaufmann, E.: "CO₂-Bilanzen im Schweizer Wald. Langfristige Szenarien", Schweiz. Zeitschr. f. Forstwes., in Vorb.
- [18] Thürig, E. (2005): "Carbon budget of Swiss forests: evaluation and application of empirical models for assessing future management impacts", Diss. ETH No. 15872
- [19] Liski, J.; Nissinen, A.; Erhard, M.; Taskinen, O. (2003): "Climatic effects on litter decomposition from arctic tundra to tropical rain forest." *Global Change Biology* 9: 575-584
- [20] Liski, J.; Palosuo, T.; Peltoniemi, M.; Sievänen, R. (2005): "Carbon and decomposition model YASSO for forest soils." Submitted to *Ecological Modelling*.

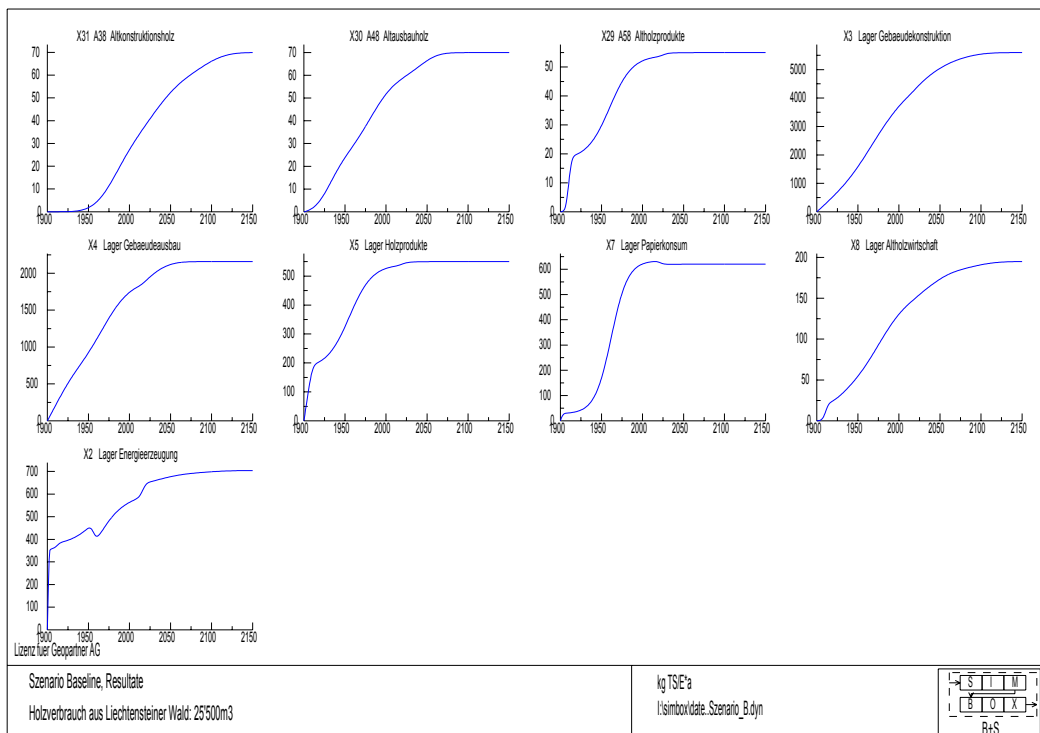
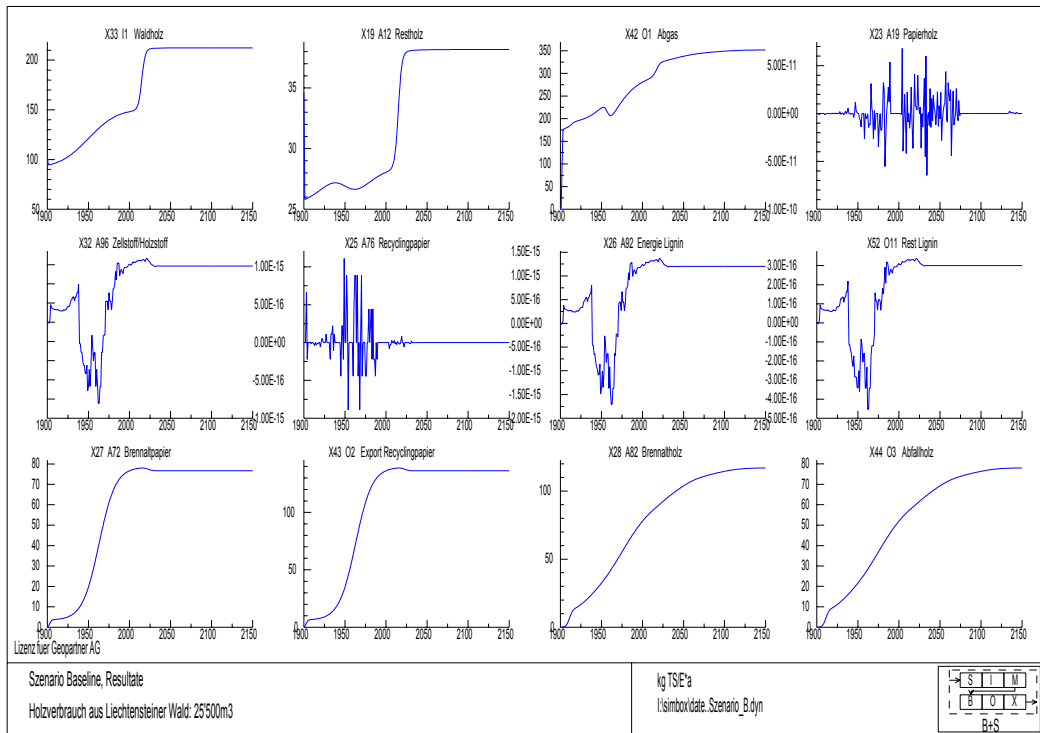
10. Anhang: Simbox-Darstellungen

10.1 Szenario *Baseline*

Szenario-Vorgaben:

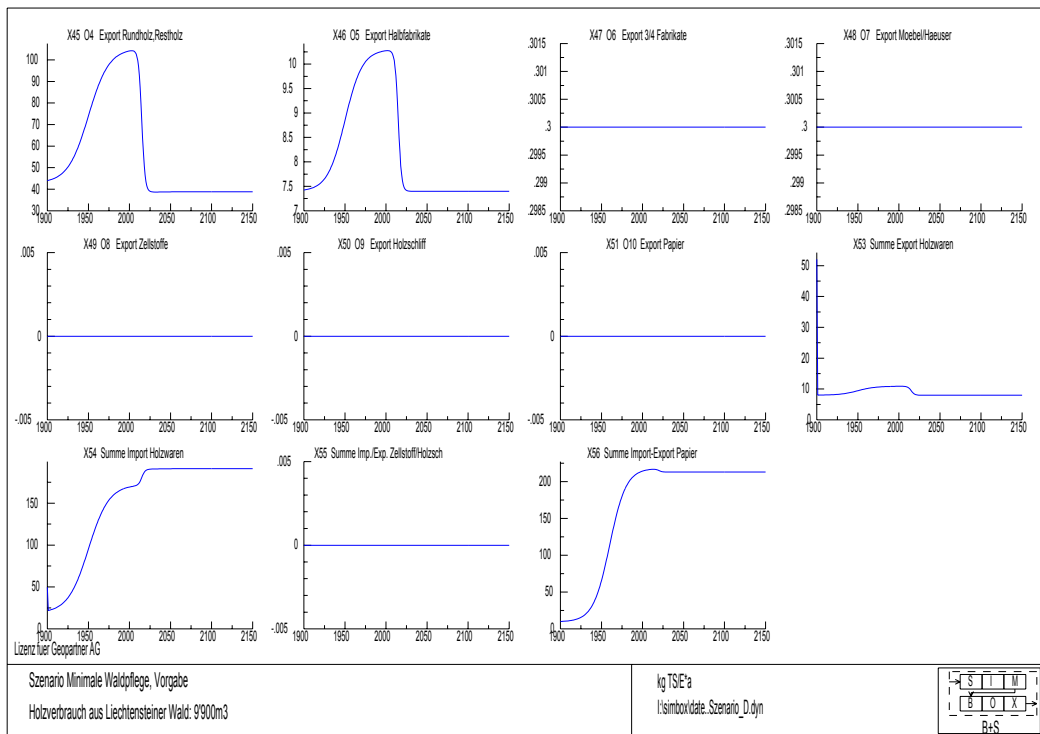
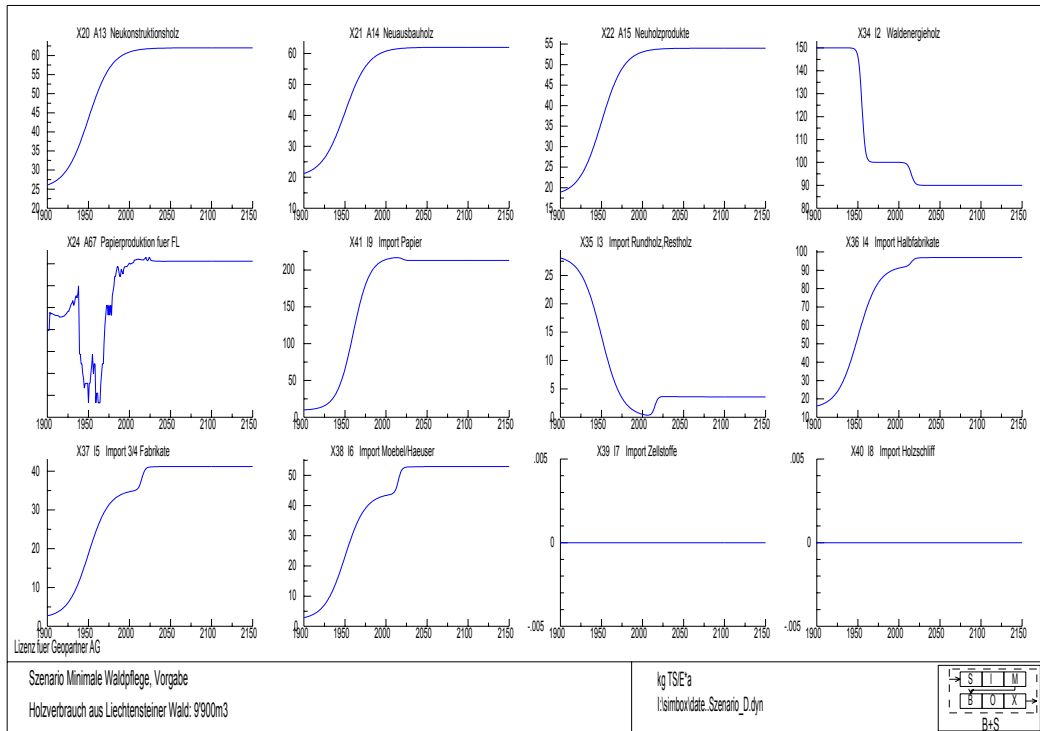


Szenario-Resultate:

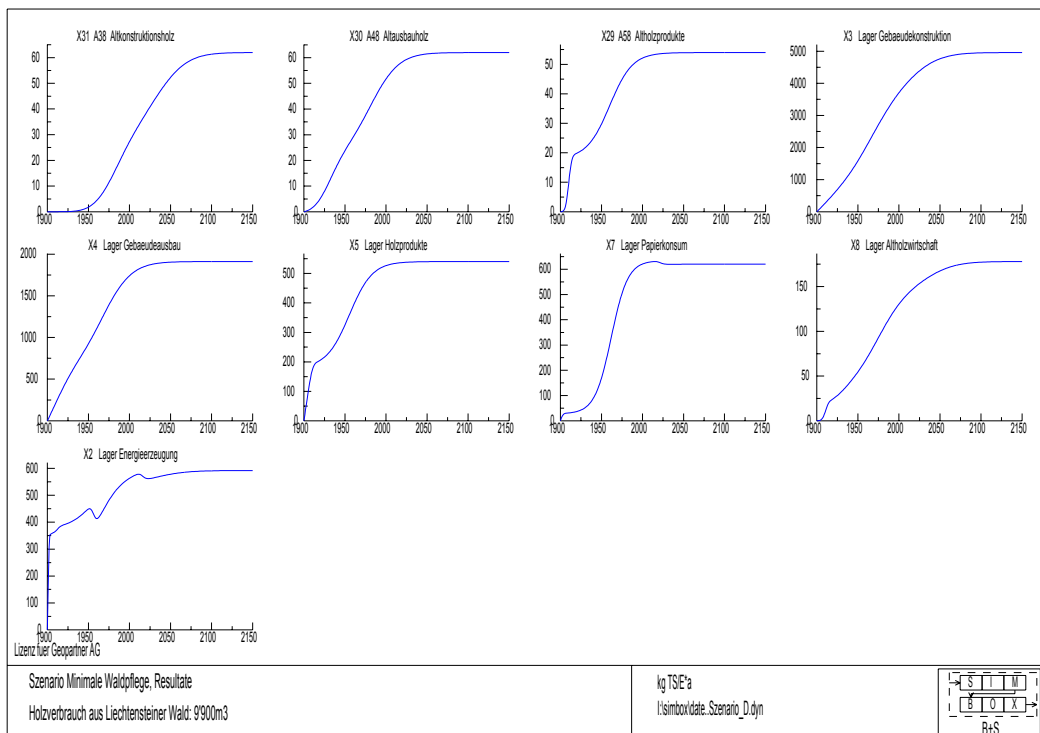
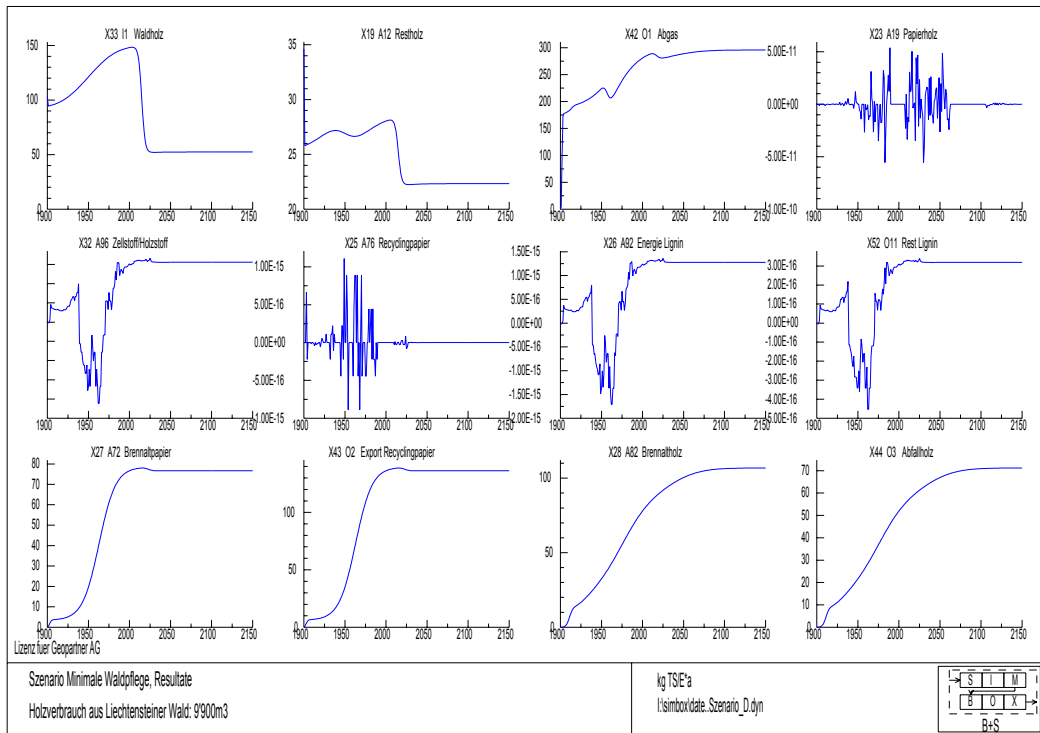


10.2 Szenario *Minimale Waldpflege*

Szenario-Vorgaben:

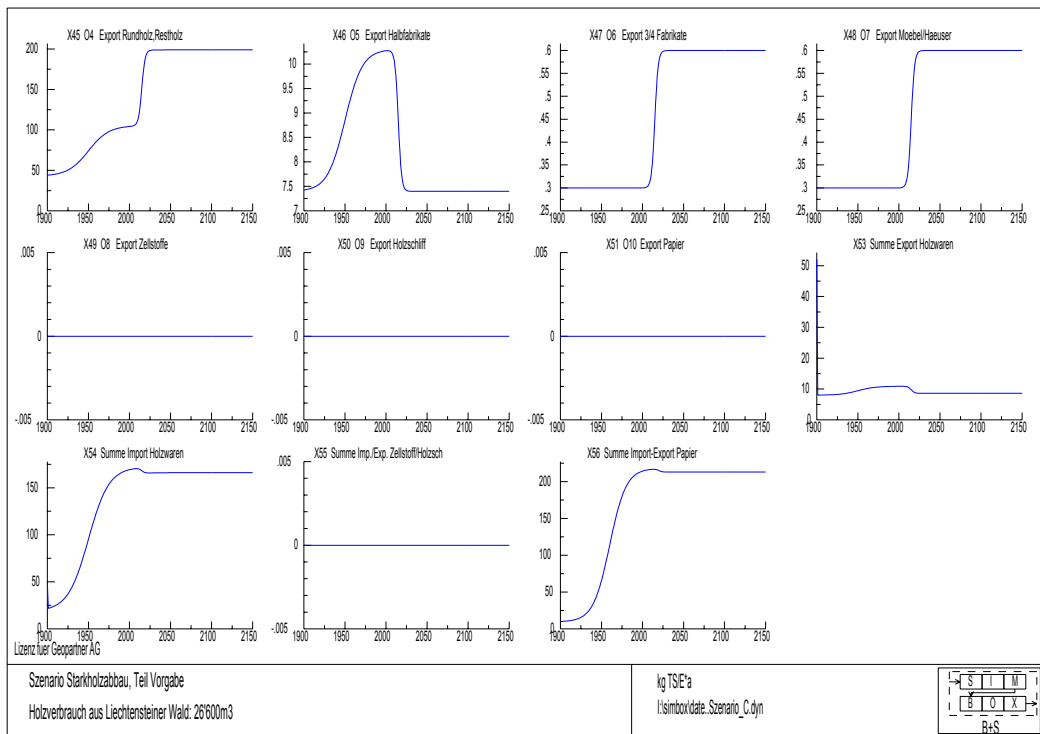
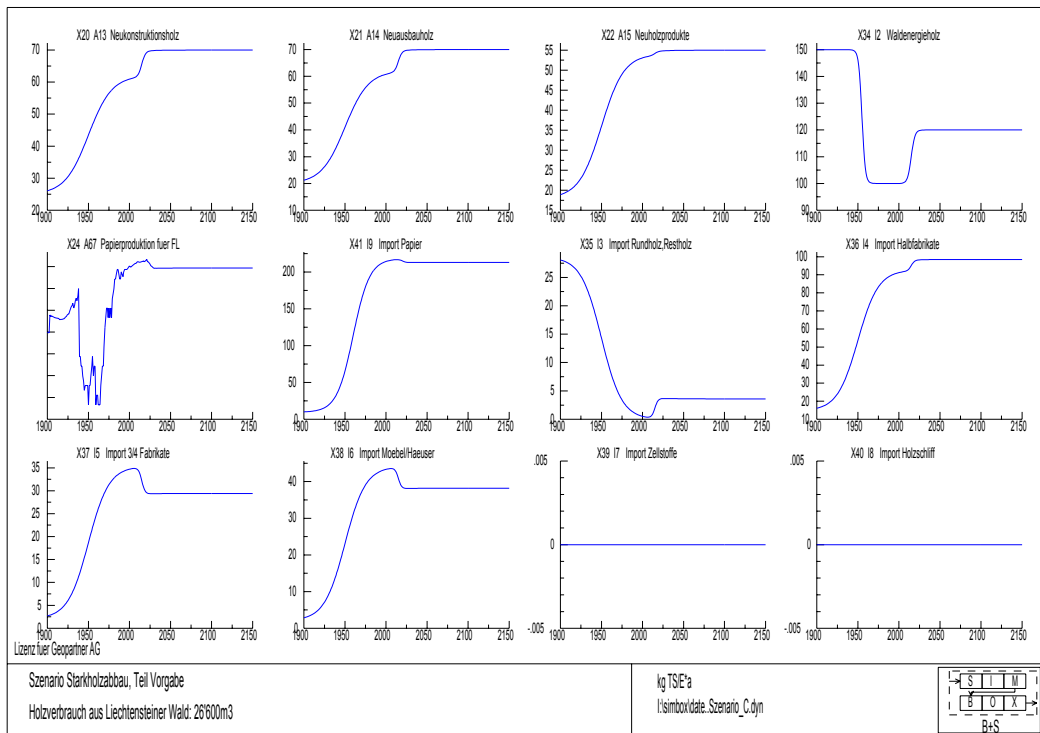


Szenario-Resultate:

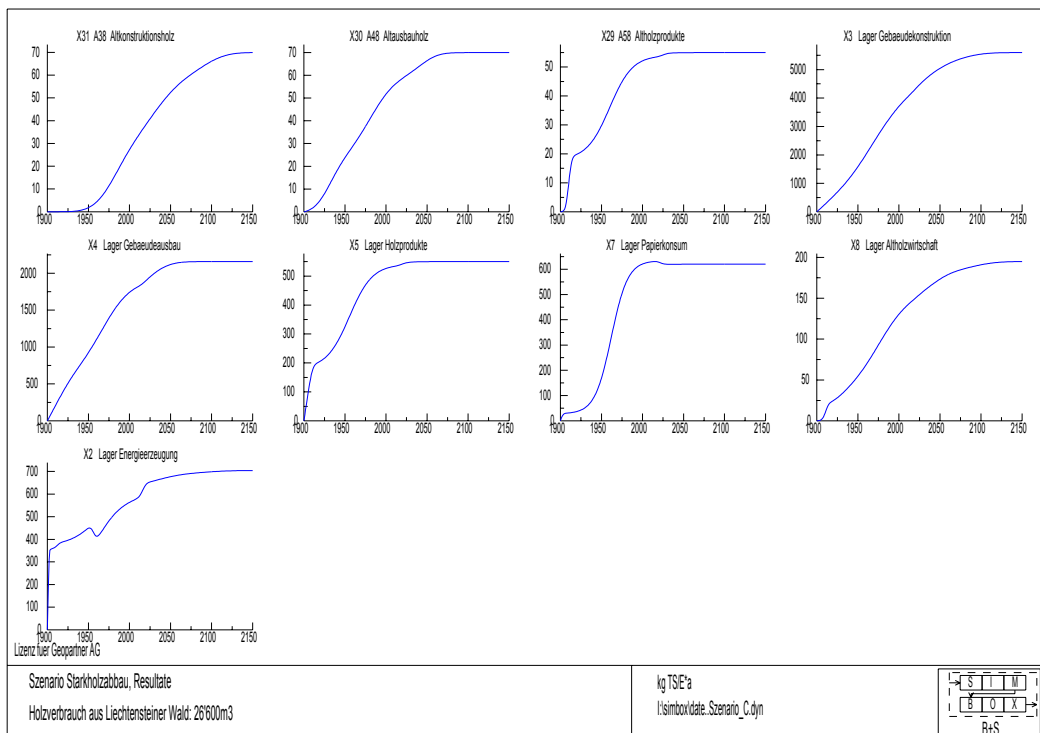
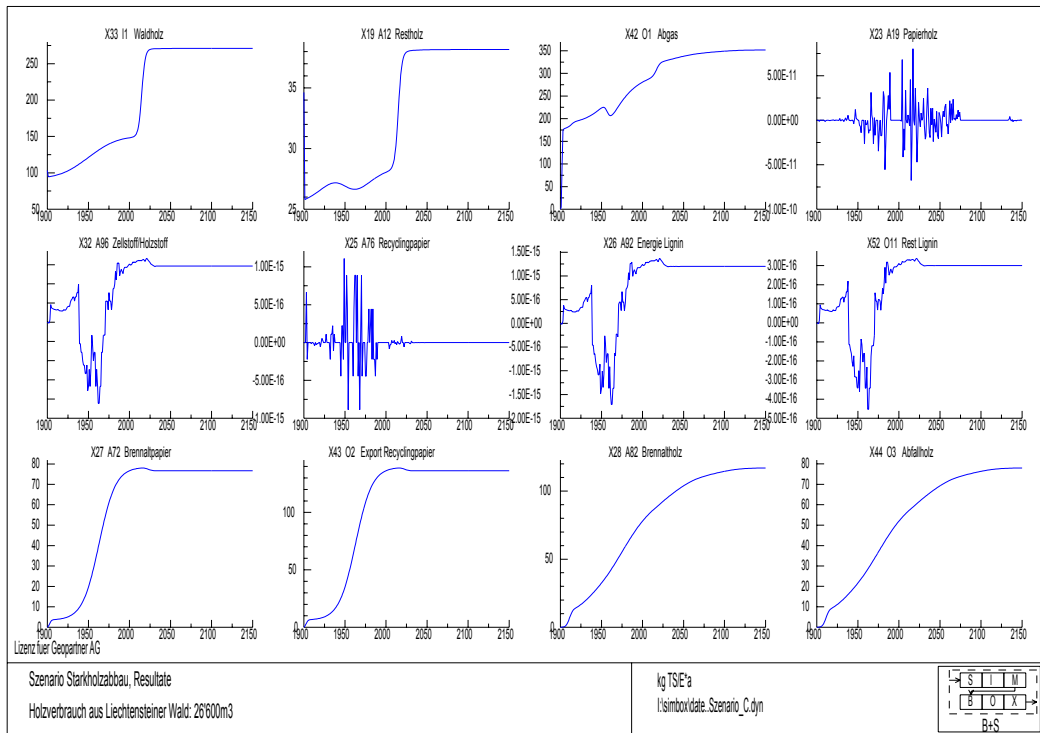


10.3 Szenario Starkholzabbau

Szenario-Vorgaben:

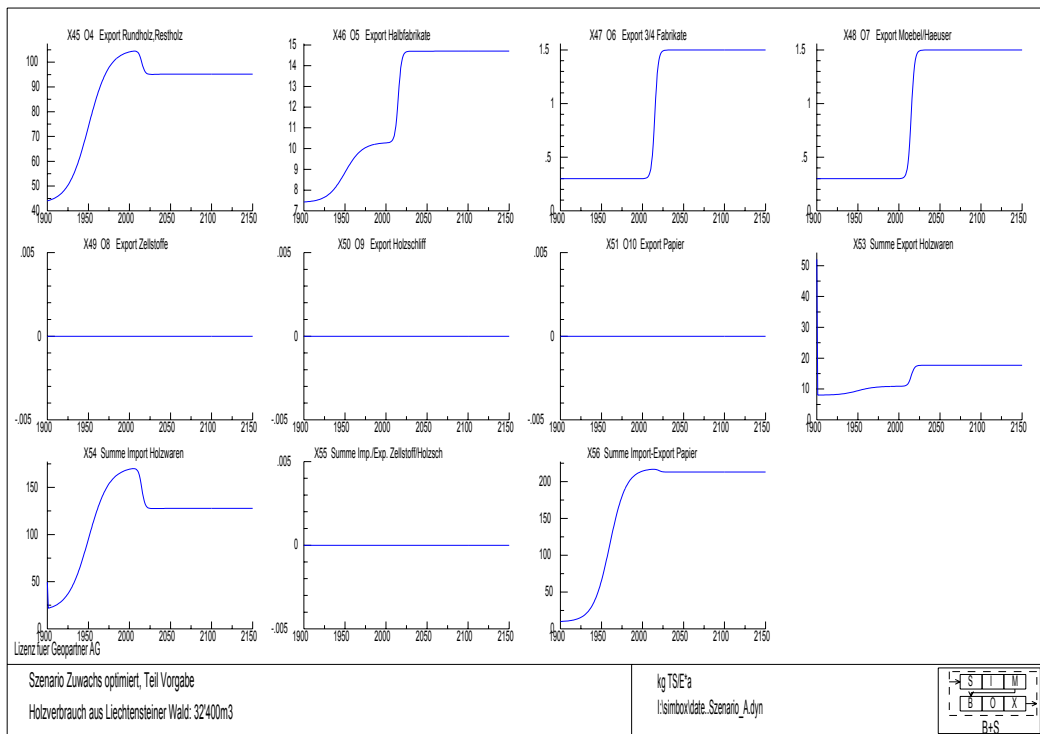
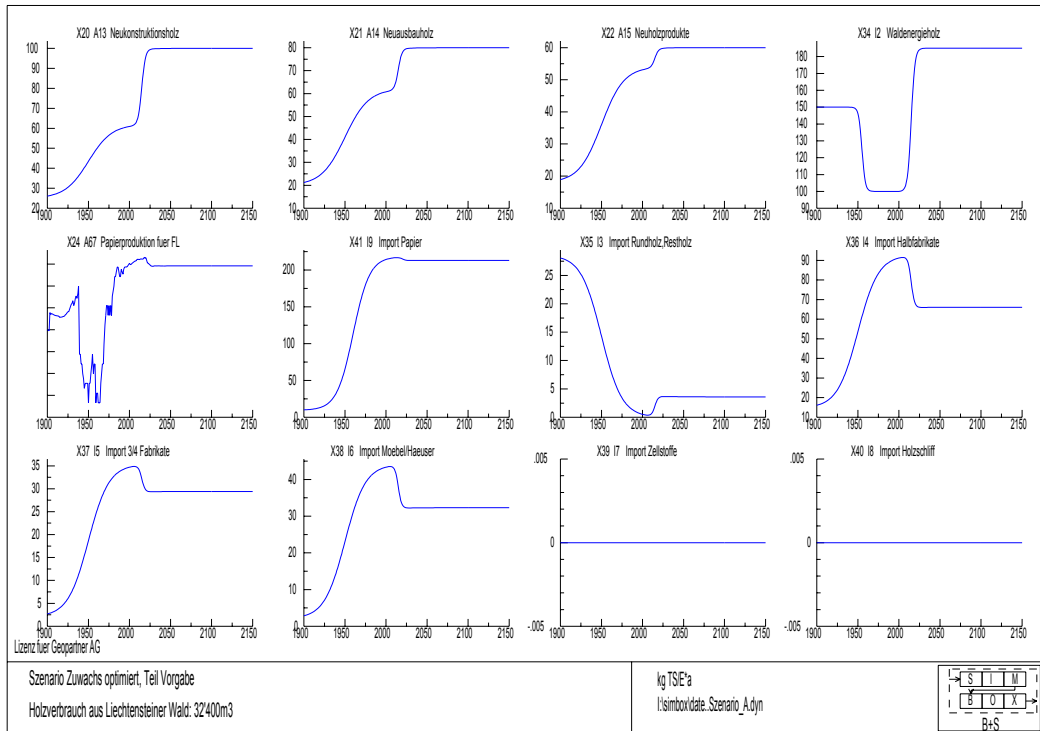


Szenario-Resultate:



10.4 Szenario Zuwachs optimiert

Szenario-Vorgaben:



Szenario-Resultate:

