

Modellgestützte Analysen von Waldbewirtschaftungsstrategien  
im Klimawandel am Beispiel sekundärer Fichtenbestände

Diplomarbeit von  
Michael STRAUSS

zur Erlangung des akademischen Grades  
Diplomingenieur der Forstwirtschaft (Dipl. Ing.)

Betreuer und Begutachter: ao. Univ. Prof. Dipl. Ing. Dr. Manfred J. Lexer

eingereicht am 07. Mai 2009

Institut für Waldbau  
Department für Wald- und Bodenwissenschaften  
Universität für Bodenkultur, Wien

## Kurzfassung

Für die Waldorte Abetzberg und Hametholz im Bezirk Amstetten (Niederösterreich) wurden vier Produktionsprogramme Fichte [*Picea abies* (L.) KARST.] auf den Standortstypen Parabraunerde und Pseudogley, Lärche-Buche (*Larix decidua* MILL., *Fagus sylvatica* L.) auf dem Standortstyp Parabraunerde, Bergahorn-Esche (*Acer pseudoplatanus* L., *Fraxinus excelsior* L.) auf dem Standortstyp Parabraunerde und Stieleiche-Hainbuche (*Quercus robur* L., *Carpinus betulus* L.) auf dem Standortstyp Pseudogley mit dem Waldökosystemmodell PICUS unter heutigem Klima und Klimaänderungsbedingungen simuliert. In einer vergleichenden Analyse wurden die acht Indikatoren Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung, Biodiversität, Schadanfälligkeit, Kostenintensität und Grundwasserneubildung verwendet.

Das Waldökosystemmodell PICUS prognostiziert für die Fichte im Klimawandel ein großes und weiter ansteigendes Produktionsrisiko. Laubmischwaldbestände sind robuster und für den Klimawandel besser gerüstet als Fichtenreinbestände. In Bezug auf biotische Risikofaktoren besteht jedoch große Unsicherheit.

Schlagwörter:

- Klimawandel
- sekundäre Fichtenbestände
- Waldumbau in Laubmischwald
- waldbauliche Produktionsprogramme
- PICUS.

## Abstract

To study risks of timber production as faced by climate change, we investigated four different silvicultural stand treatment programmes spruce [*Picea abies* (L.) KARST.], larch-beech (*Larix decidua* MILL., *Fagus sylvatica* L.), sycamore-ash (*Acer pseudo-platanus* L., *Fraxinus excelsior* L.) and English oak-hornbeam (*Quercus robur* L., *Carpinus betulus* L.). To be specific, we considered the forest sites Abetzberg and Hametholz in the County of Amstetten in Lower Austria. These two sites represent a major share of the varieties of current spruce stands in the Northern foothills of the Alps. The ecosystem model PICUS was employed to investigate the treatment programmes under current climate and climate change scenarios.

In our evaluation we used eight indicators for a comparative assessment of the treatment programmes: productivity, growing stock, carbon sequestration, suitability of tree species, biodiversity, susceptibility to damage by abiotic and biotic risk agents, costs and ground-water regeneration.

PICUS predicts increasing risk for spruce management under changing climatic conditions. Mixtures with broadleaved species turn out to be much better suited. However, substantial uncertainties remain, in particular with regard to biotic risk agents.

Keywords:

- climate change
- spruce stands
- species conversion
- stand treatment programmes
- PICUS

## Résumé

Pour gérer des informations sur la production de bois dans des conditions à risques influées par un changement climatique, nous avons appliqué le modèle d'écosystèmes forestiers PICUS aux forêts Abetzberg et Hametholz dans le département Amstetten (Basse Autriche) en comparant quatre traitements des assemblages épicéa [*Picea abies* (L.) KARST.], mélèze-hêtre (*Larix decidua* MILL., *Fagus sylvatica* L.), érable à feuilles d'obier-frêne (*Acer pseudoplatanus* L., *Fraxinus excelsior* L.) et chêne pédonculé-charme (*Quercus robur* L., *Carpinus betulus* L.). Les forêts choisies représentent la plupart des plantations secondaires d'épicéa en altitudes basses (à partir de 280m) dans les contreforts septentrionaux des Alpes.

Le modèle d'écosystèmes forestiers PICUS a été utilisé pour examiner les traitements soumis d'une part au climat actuel et d'autre part influés par des scénarios avec changement climatique. L'analyse se sert des huit indicateurs productivité, stocks vivants, entrepôt de carbone, convenance des essences, biodiversité, endommagements causés par des risques biotiques et abiotiques, dépenses et renouvellement de la nappe phréatique.

Le modèle d'écosystèmes forestiers PICUS prévoit pour l'épicéa des risques de production déjà apparents qui seront amplifiés par un climat très défavorable aux conifères. La coexistence des sols ouverts mouillés d'une part avec l'apparition d'ouragans pendant les mois d'hiver d'autre part met en danger les volumes sur pied d'épicéas. Les essences caduques mixtes semblent mieux convenir du point de vue climatique. Leur production paraît plus résistante face à l'ensemble des contraintes naturelles accentuées et comporte moins de risques par rapport à l'épicéa. Cependant, de grandes incertitudes persistent, surtout en relation avec les risques biotiques.

Mots clés :

- changement climatique
- forêts secondaires d'épicéas
- modes d'exploitation adaptés
- traitements de mixtions caduques
- PICUS.

# Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung und Problemstellung	1
2.	Zielsetzung	2
3.	Stand des Wissens	3
3.1	Auswirkungen der Klimaänderung in Mitteleuropa	3
3.2	Auswirkungen auf Wälder	4
3.3	Baumartenwahl und Risikostreuung	7
3.4	Beispiele für Empfehlungen zur Waldbewirtschaftung im Klimawandel	10
3.4.1	Allgemeine Überlegungen in Mitteleuropa	10
3.4.2	Regionalspezifische Empfehlungen	14
4.	Produktionsbedingungen im Projektgebiet	19
4.1	Geographische und waldökologische Gliederung	19
4.2	Klimatische Gegebenheiten	21
4.2.1	Lufttemperatur	21
4.2.2	Niederschläge	23
4.2.3	Sonnenscheindauer und Nebelhäufigkeit	25
4.2.4	Schnee	26
4.3	Geologische Gegebenheiten an den Waldorten <i>Abetzberg</i> und <i>Hametholz</i>	27
4.4	Allgemeine Betrachtungen zu den Bodentypen im Hauptwuchsgebiet 7 ( <i>Nördliches Alpenvorland</i> )	28
4.4.1	Bodentypen am Waldort <i>Abetzberg</i>	29
4.4.2	Bodentypen am Waldort <i>Hametholz</i>	31
4.5	Aktuelle Landnutzungsarten im Bezirk Amstetten	32
4.6	Natürliche Waldgesellschaften (PNV)	33
4.7	Aktueller Waldaufbau und Naturnähe ( <i>Hemerobie</i> )	34
4.8	Waldbesitzkategorien ( <i>Eigentumsarten</i> )	35

5.	Methoden	36
5.1	Das Waldökosystemmodell <i>PICUS v1.41</i>	36
5.1.1	Wachstum	36
5.1.2	Verjüngung	38
5.1.3	Baummortalität	38
5.1.4	Biogeochemisches Bodenmodul	38
5.1.5	Störungseinfluss durch Fichtenborkenkäfer	39
5.1.6	Management	40
5.1.7	Evaluierung von <i>PICUS v1.41</i>	41
5.2	Erhebung der Standortdaten	43
5.3	Klassifizierung der Standortdaten	45
5.4	Waldbauliche Produktionsprogramme ( <i>Bestandesbehandlungs-konzepte</i> )	46
5.4.1	Produktionsprogramm für <i>Fichtenreinbestände</i> im Nördlichen Alpenvorland ( <i>Hauptwuchsgebiet 7</i> )	46
5.4.2	Produktionsprogramm für <i>Lärchen-Buchenmischbestände</i> im Nördlichen Alpenvorland	47
5.4.3	Produktionsprogramm für <i>Bergahorn-Eschenmischbestände</i> im Nördlichen Alpenvorland	48
5.4.4	Produktionsprogramm für <i>Stieleichen-Hainbuchenmischbestände</i> im HWG 7	49
5.5	Indikatoren zur Bewertung der Produktionsprogramme	50
5.5.1	Produktivität	50
5.5.2	Vorrat	50
5.5.3	Kohlenstoffspeicherung ( <i>Kohlenstoffsequestrierung</i> )	50
5.5.4	Baumarteneignung	50
5.5.5	Biodiversität	52
5.5.6	Schadanfälligkeit ( <i>Vulnerabilität</i> )	53
5.5.7	Kostenintensität ( <i>Bewirtschaftungskosten</i> )	56
5.5.8	Grundwasserneubildung	56
5.6	Simulations-Experimente	57
6.	Daten	58
6.1	Klimaänderungsszenarien	58
6.1.1	Waldort <i>Abetzberg</i>	59
6.1.1.1	Klimaänderungsszenario <i>CC-A1B</i>	59
6.1.1.2	Klimaänderungsszenario <i>CC-A2</i>	60
6.1.1.3	Klimaänderungsszenario <i>CC-B1</i>	61

6.1.2	Waldort <i>Hametholz</i>	63
6.1.2.1	Klimaänderungsszenario <i>CC-A1B</i>	63
6.1.2.2	Klimaänderungsszenario <i>CC-A2</i>	63
6.1.2.3	Klimaänderungsszenario <i>CC-B1</i>	64
6.2	Standortsdaten	66
6.2.1	Lage und Standort des Bestandes <i>Abetzberg 1</i>	66
6.2.2	Lage und Standort des Bestandes <i>Abetzberg 2</i>	67
6.2.3	Lage und Standort des Bestandes <i>Abetzberg 3</i>	67
6.2.4	Lage und Standort des Bestandes <i>Abetzberg 4</i>	68
6.2.5	Lage und Standort des Bestandes <i>Abetzberg 5</i>	68
6.2.6	Lage und Standort des Bestandes <i>Abetzberg 6</i>	68
6.2.7	Lage und Standort des Bestandes <i>Hametholz 1</i>	69
6.2.8	Lage und Standort des Bestandes <i>Hametholz 2</i>	69
6.2.9	Lage und Standort des Bestandes <i>Hametholz 3</i>	69
7.	Ergebnisse	70
7.1	Allgemeine Trends	70
7.2	Produktionsprogramm <i>Fichte-BAU</i>	72
7.3	Produktionsprogramm <i>Lärche-Buche</i>	89
7.4	Produktionsprogramm <i>Bergahorn-Esche</i>	99
7.5	Produktionsprogramm <i>Stieleiche-Hainbuche</i>	109
8.	Diskussion	119
8.1	Methodische Überlegungen	119
8.1.1	Simulationsmodelle in der Forstwirtschaft	119
8.1.2	Indikatoren	120
8.2	Vergleich zwischen den Produktionsprogrammen <i>Lä-Bu</i> und <i>Fi</i>	121
8.3	Vergleich zwischen den Produktionsprogrammen <i>BAh-Es</i> und <i>Fi</i>	123
8.4	Vergleich zwischen den Produktionsprogrammen <i>StEi-Hbu</i> und <i>Fi-BAU</i>	124
9.	Schlussfolgerungen und Ausblick	125
	Literatur	126
	Unpublizierte Beiträge, Lehrbücher, Schriftenreihen und <i>Proceedings</i>	130
	Persönliche Mitteilungen	137
	Audiovisuelle Quellen und Links	138
	Anhang	140
	Abbildungsverzeichnis	vii
	Tabellenverzeichnis	xv
	Anhangverzeichnis	xvii
	Verzeichnis der Abkürzungen	xxii

# Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Veränderung klimatisch bedingter Stressfaktoren für die Fichte (Quelle: NIEDERMAIR <i>et al.</i> , Klimastudie, 2007).	5
Abb. 2: Mögliche Erscheinungsformen des Architekturmodells TROLL für <i>Linden, Ulmen, Rotbuche</i> und <i>Hainbuche</i> (sympodialer Bauplan <i>oben</i> ; monopodialer Bauplan <i>unten</i> ; Quelle: vgl. BARTELS, <i>Gehölkunde</i> , 1993).	12
Abb. 3: Erscheinungsform des Architekturmodells RAUH für <i>Berg- und Spitzahorn, Eberesche, Elsbeere, Vogelkirsche, Schwarzerle, Hängebirke, Zitterpappel, Edelkastanie, Eichen</i> sowie <i>Esche</i> (Quelle: vgl. BARTELS, <i>Gehölkunde</i> , 1993).	12
Abb. 4: Die Waldorte <i>Abetzberg</i> (Punkt 1) und <i>Hametholz</i> (Punkt 2) im Bezirk Amstetten.	19
Abb. 5: Satellitenbild des Projektgebiets mit umgebenden Orten (Quelle: <i>Google Earth</i> 2008).	20
Abb. 6: Monatsmittel der Lufttemperatur für Amstetten (Quelle: ZAMG, 2007).	22
Abb. 7: Monatsmittel der Lufttemperatur für Waidhofen/ Ybbs (Quelle: ZAMG, 2007).	22
Abb. 8: Summe der Niederschläge [mm] und Anzahl der Tage mit Niederschlägen in Amstetten (Quelle: ZAMG, 2007).	24
Abb. 9: Summe der Niederschläge [mm] und Anzahl der Tage mit Niederschlägen in Waidhofen/ Ybbs (Quelle: ZAMG, 2007).	24
Abb. 10: Anzahl der Sonnenstunden pro Tag und Nebeltage in Amstetten (Quelle: ZAMG, 2007).	25
Abb. 11: Anzahl der Sonnenstunden pro Tag und Nebeltage in Waidhofen/ Ybbs (Quelle: ZAMG, 2007).	25
Abb. 12: Anzahl der Tage mit Schneedecke und maximale Schneehöhe [cm] in Amstetten (Quelle: ZAMG, 2007).	26
Abb. 13: Anzahl der Tage mit Schneedecke und maximale Schneehöhe [cm] in Waidhofen/ Ybbs (Quelle: ZAMG, 2007).	26
Abb. 14: Geologische Gegebenheiten am Waldort <i>Hametholz</i> (Quelle: SCHNABEL <i>et al.</i> , <i>Geologische Karte von Niederösterreich 1 : 200.000</i> , 2002).	27
Abb. 15: Wuchsgebiet 7.1, Nördliches Alpenvorland-Westteil (Quelle: KILIAN <i>et al.</i> , <i>Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs</i> , 1994; <a href="http://bfw.ac.at/300/1197.html">http://bfw.ac.at/300/1197.html</a> , 08. 09. 2000).	28



Abb. 16: Wuchsgebiet 7.2, Nördliches Alpenvorland-Ostteil (Quelle: KILIAN <i>et al.</i> , <i>Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs</i> , 1994; <a href="http://bfw.ac.at/300/1197.html">http://bfw.ac.at/300/1197.html</a> , 08. 09. 2000).	28
Abb. 17: Böden am Waldort <i>Abetzberg</i> (Quelle: ENGLISCH <i>et al.</i> , pers. Mitteilung, 2007).	30
Abb. 18: Bodentypen am Waldort <i>Hametholz</i> (Quelle: ENGLISCH <i>et al.</i> , pers. Mitteilung, 2007).	31
Abb. 19: Aktuelle Landnutzungsarten im Bezirk Amstetten (Quelle: LEXER, pers. Mitteilung, 2007).	32
Abb. 20: Natürliche Waldgesellschaften im Bezirk Amstetten in Niederösterreich (Quelle: FBVA-ÖWI 1992/ 1996).	33
Abb. 21: Baumartenanteile des aktuellen Waldaufbaus im Bezirk Amstetten (Quelle: ÖWI 2000/ 2002; <a href="http://web.bfw.ac.at/i7/oewi.oewi0002">http://web.bfw.ac.at/i7/oewi.oewi0002</a> , 20. 08. 2004).	34
Abb. 22: Waldbesitzkategorien im Land Niederösterreich (Quelle: FBVA-ÖWI 1992/ 1996).	35
Abb. 23: Modellkomponenten von <i>PICUS v1.41</i> (Quelle: SEIDL <i>et al.</i> 2006).	37
Abb. 24: Schematische Darstellung der Komponenten des Borkenkäferstörungsmoduls in <i>PICUS v1.41</i> (Quelle: SEIDL <i>et al.</i> 2006).	40
Abb. 25: Schema zur Spezifizierung von waldbaulichen Eingriffen dargestellt am Beispiel einer Auslesedurchforstung (Quelle: LEXER <i>et al.</i> , Projekt-Endbericht, 2007).	41
Abb. 26: Simulierte vs. erhobene Schäden unter aktuellem Klima durch Fichtenborkenkäfer (Quelle: SEIDL <i>et al.</i> 2008).	42
Abb. 27: Raster für die Anlage der Stichprobenpunkte (Quelle: <i>Inventur ClimChAlp</i> , Inst. für Waldbau, Univ. für Bodenkultur).	43
Abb. 28: Umweltfaktoren im Baumarteneignungsmodell (Quelle: LEXER, pers. Mitteilung, 2009).	51
Abb. 29: Szenariofächer des <i>IPCC</i> in Bezug auf die Temperaturveränderung (global). Markiert sind die in gegenständlicher Studie verwendeten Emissionsszenarien <i>CC-A1B</i> , <i>CC-A2</i> und <i>CC-B1</i> (Quelle: <i>IPCC</i> , 2007).	59
Abb. 30: Klimaänderungsszenario <i>CC-A1B</i> für den Waldort <i>Abetzberg</i> (Quelle: LEXER, pers. Mitteilung, 2007). Im Diagramm stellen Balken den <i>Jahresniederschlag</i> und rhombische Punkte die <i>mittlere Jahrestemperatur</i> dar.	59

- Abb. 31: Klimaänderungsszenario *CC-A2* für den Waldort *Abetzberg* (Quelle: LEXER, pers. Mitteilung, 2007). Im Diagramm stellen Balken den *Jahresniederschlag* und rhombische Punkte die *mittlere Jahrestemperatur* dar. 60
- Abb. 32: Klimaänderungsszenario *CC-B1* für den Waldort *Abetzberg* (Quelle: LEXER, pers. Mitteilung, 2007). Im Diagramm stellen Balken den *Jahresniederschlag* und rhombische Punkte die *mittlere Jahrestemperatur* dar. 61
- Abb. 33: Klimaänderungsszenario *CC-A1B* für den Waldort *Hametholz* (Quelle: LEXER, pers. Mitteilung, 2007). Im Diagramm stellen Balken den *Jahresniederschlag* und rhombische Punkte die *mittlere Jahrestemperatur* dar. 63
- Abb. 34: Klimaänderungsszenario *CC-A2* für den Waldort *Hametholz* (Quelle: LEXER, pers. Mitteilung, 2007). Im Diagramm stellen Balken den *Jahresniederschlag* und rhombische Punkte die *mittlere Jahrestemperatur* dar. 63
- Abb. 35: Klimaänderungsszenario *CC-B1* für den Waldort *Hametholz* (Quelle: LEXER, pers. Mitteilung, 2007). Im Diagramm stellen Balken den *Jahresniederschlag* und rhombische Punkte die *mittlere Jahrestemperatur* dar. 64
- Abb. 36: Indikatoren für das Produktionsprogramm *Fi-BAU* auf *trockener Parabraunerde* im Klimaraum *Abetzberg*. 73
- Abb. 37: Indikatoren für das Produktionsprogramm *Fi-BAU* auf *trockener Parabraunerde* im Klimaraum *Hametholz*. 74
- Abb. 38: Indikatoren für das Produktionsprogramm *Fi-BAU* auf *frischer Parabraunerde* im Klimaraum *Abetzberg*. 75
- Abb. 39: Indikatoren für das Produktionsprogramm *Fi-BAU* auf *frischer Parabraunerde* im Klimaraum *Hametholz*. 76
- Abb. 40: Indikatoren für das Produktionsprogramm *Fi-BAU* auf *trockenem Pseudogley* im Klimaraum *Abetzberg*. 77
- Abb. 41: Indikatoren für das Produktionsprogramm *Fi-BAU* auf *trockenem Pseudogley* im Klimaraum *Hametholz*. 78
- Abb. 42: Indikatoren für das Produktionsprogramm *Fi-BAU* auf *frischem Pseudogley* im Klimaraum *Abetzberg*. 79
- Abb. 43: Indikatoren für das Produktionsprogramm *Fi-BAU* auf *frischem Pseudogley* im Klimaraum *Hametholz*. 80
- Abb. 44a: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicherung*, *Baumarteneignung* und *Grundwasserneubildung* des Produktionsprogramms *Fi-BAU* auf *trockener Parabraunerde* im Klimaraum *Abetzberg*. 81

- Abb. 44b: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Biodiversität*, *Schadanfälligkeit* und *Kostenintensität* des Produktionsprogramms *Fi-BAU* auf *trockener Parabraunerde* im Klimaraum *Abetzberg*. 81
- Abb. 45a: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicherung*, *Baumarteneignung* und *Grundwasserneubildung* des Produktionsprogramms *Fi-BAU* auf *trockener Parabraunerde* im Klimaraum *Hametholz*. 82
- Abb. 45b: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Biodiversität*, *Schadanfälligkeit* und *Kostenintensität* des Produktionsprogramms *Fi-BAU* auf *trockener Parabraunerde* im Klimaraum *Hametholz*. 82
- Abb. 46a: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicherung*, *Baumarteneignung* und *Grundwasserneubildung* des Produktionsprogramms *Fi-BAU* auf *frischer Parabraunerde* im Klimaraum *Abetzberg*. 83
- Abb. 46b: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Biodiversität*, *Schadanfälligkeit* und *Kostenintensität* des Produktionsprogramms *Fi-BAU* auf *frischer Parabraunerde* im Klimaraum *Abetzberg*. 83
- Abb. 47a: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicherung*, *Baumarteneignung* und *Grundwasserneubildung* des Produktionsprogramms *Fi-BAU* auf *frischer Parabraunerde* im Klimaraum *Hametholz*. 84
- Abb. 47b: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Biodiversität*, *Schadanfälligkeit* und *Kostenintensität* des Produktionsprogramms *Fi-BAU* auf *frischer Parabraunerde* im Klimaraum *Hametholz*. 84
- Abb. 48a: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicherung*, *Baumarteneignung* und *Grundwasserneubildung* des Produktionsprogramms *Fi-BAU* auf *trockenem Pseudogley* im Klimaraum *Abetzberg*. 85
- Abb. 48b: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Biodiversität*, *Schadanfälligkeit* und *Kostenintensität* des Produktionsprogramms *Fi-BAU* auf *trockenem Pseudogley* im Klimaraum *Abetzberg*. 85

Abb. 49: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios <i>CC-A1B</i> relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren <i>Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung</i> , und <i>Grundwasserneubildung</i> des Produktionsprogramms <i>Fi-BAU</i> auf <i>trockenem Pseudogley</i> im Klimaraum <i>Hametholz</i> .	86
Abb. 50a: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios <i>CC-A1B</i> relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren <i>Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung</i> und <i>Grundwasserneubildung</i> des Produktionsprogramms <i>Fi-BAU</i> auf <i>frischem Pseudogley</i> im Klimaraum <i>Abetzberg</i> .	87
Abb. 50b: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios <i>CC-A1B</i> relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren <i>Biodiversität, Schadanfälligkeit</i> und <i>Kostenintensität</i> des Produktionsprogramms <i>Fi-BAU</i> auf <i>frischem Pseudogley</i> im Klimaraum <i>Abetzberg</i> .	87
Abb. 51a: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios <i>CC-A1B</i> relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren <i>Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung</i> und <i>Grundwasserneubildung</i> des Produktionsprogramms <i>Fi-BAU</i> auf <i>frischem Pseudogley</i> im Klimaraum <i>Hametholz</i> .	88
Abb. 51b: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios <i>CC-A1B</i> relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren <i>Biodiversität, Schadanfälligkeit</i> und <i>Kostenintensität</i> des Produktionsprogramms <i>Fi-BAU</i> auf <i>frischem Pseudogley</i> im Klimaraum <i>Hametholz</i> .	88
Abb. 52: Indikatoren für das Produktionsprogramm <i>Lä-Bu</i> auf <i>trockener Parabraunerde</i> im Klimaraum <i>Abetzberg</i> .	91
Abb. 53: Indikatoren für das Produktionsprogramm <i>Lä-Bu</i> auf <i>trockener Parabraunerde</i> im Klimaraum <i>Hametholz</i> .	92
Abb. 54: Indikatoren für das Produktionsprogramm <i>Lä-Bu</i> auf <i>frischer Parabraunerde</i> im Klimaraum <i>Abetzberg</i> .	93
Abb. 55: Indikatoren für das Produktionsprogramm <i>Lä-Bu</i> auf <i>frischer Parabraunerde</i> im Klimaraum <i>Hametholz</i> .	94
Abb. 56a: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios <i>CC-A1B</i> relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren <i>Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung</i> und <i>Grundwasserneubildung</i> des Produktionsprogramms <i>Lä-Bu</i> auf <i>trockener Parabraunerde</i> im Klimaraum <i>Abetzberg</i> .	95
Abb. 56b: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios <i>CC-A1B</i> relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren <i>Biodiversität, Schadanfälligkeit</i> und <i>Kostenintensität</i> des Produktionsprogramms <i>Lä-Bu</i> auf <i>trockener Parabraunerde</i> im Klimaraum <i>Abetzberg</i> .	95

Abb. 57a: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios <i>CC-A1B</i> relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren <i>Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung</i> und <i>Grundwasserneubildung</i> des Produktionsprogramms <i>Lä-Bu</i> auf <i>trockener Parabraunerde</i> im Klimaraum <i>Hametholz</i> .	96
Abb. 57b: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios <i>CC-A1B</i> relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren <i>Biodiversität, Schadanfälligkeit</i> und <i>Kostenintensität</i> des Produktionsprogramms <i>Lä-Bu</i> auf <i>trockener Parabraunerde</i> im Klimaraum <i>Hametholz</i> .	96
Abb. 58: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios <i>CC-A1B</i> relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren <i>Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung</i> und <i>Grundwasserneubildung</i> des Produktionsprogramms <i>Lä-Bu</i> auf <i>frischer Parabraunerde</i> im Klimaraum <i>Abetzberg</i> .	97
Abb. 59a: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios <i>CC-A1B</i> relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren <i>Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung</i> und <i>Grundwasserneubildung</i> des Produktionsprogramms <i>Lä-Bu</i> auf <i>frischer Parabraunerde</i> im Klimaraum <i>Hametholz</i> .	98
Abb. 59b: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios <i>CC-A1B</i> relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren <i>Biodiversität, Schadanfälligkeit</i> und <i>Kostenintensität</i> des Produktionsprogramms <i>Lä-Bu</i> auf <i>frischer Parabraunerde</i> im Klimaraum <i>Hametholz</i> .	98
Abb. 60: Indikatoren für das Produktionsprogramm <i>BAh-Es</i> auf <i>trockener Parabraunerde</i> im Klimaraum <i>Abetzberg</i> .	101
Abb. 61: Indikatoren für das Produktionsprogramm <i>BAh-Es</i> auf <i>trockener Parabraunerde</i> im Klimaraum <i>Hametholz</i> .	102
Abb. 62: Indikatoren für das Produktionsprogramm <i>BAh-Es</i> auf <i>frischer Parabraunerde</i> im Klimaraum <i>Abetzberg</i> .	103
Abb. 63: Indikatoren für das Produktionsprogramm <i>BAh-Es</i> auf <i>frischer Parabraunerde</i> im Klimaraum <i>Hametholz</i> .	104
Abb. 64: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios <i>CC-A1B</i> relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren <i>Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung</i> und <i>Grundwasserneubildung</i> des Produktionsprogramms <i>BAh-Es</i> auf <i>trockener Parabraunerde</i> im Klimaraum <i>Abetzberg</i> .	105
Abb. 65a: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios <i>CC-A1B</i> relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren <i>Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung</i> und <i>Grundwasserneubildung</i> des Produktionsprogramms <i>BAh-Es</i> auf <i>trockener Parabraunerde</i> im Klimaraum <i>Hametholz</i> .	106

- Abb. 65b: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Biodiversität*, *Schadanfälligkeit* und *Kostenintensität* des Produktionsprogramms *BAh-Es* auf *trockener Parabraunerde* im Klimaraum *Hametholz*. 106
- Abb. 66: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicherung*, *Baumarteneignung* und *Grundwasserneubildung* des Produktionsprogramms *BAh-Es* auf *frischer Parabraunerde* im Klimaraum *Abetzberg*. 107
- Abb. 67a: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicherung*, *Baumarteneignung* und *Grundwasserneubildung* des Produktionsprogramms *BAh-Es* auf *frischer Parabraunerde* im Klimaraum *Hametholz*. 108
- Abb. 67b: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Biodiversität*, *Schadanfälligkeit* und *Kostenintensität* des Produktionsprogramms *BAh-Es* auf *frischer Parabraunerde* im Klimaraum *Hametholz*. 108
- Abb. 68: Indikatoren für das Produktionsprogramm *StEi-Hbu* auf *trockenem Pseudogley* im Klimaraum *Abetzberg*. 111
- Abb. 69: Indikatoren für das Produktionsprogramm *StEi-Hbu* auf *trockenem Pseudogley* im Klimaraum *Hametholz*. 112
- Abb. 70: Indikatoren für das Produktionsprogramm *StEi-Hbu* auf *frischem Pseudogley* im Klimaraum *Abetzberg*. 113
- Abb. 71: Indikatoren für das Produktionsprogramm *StEi-Hbu* auf *frischem Pseudogley* im Klimaraum *Hametholz*. 114
- Abb. 72a: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicherung*, *Baumarteneignung* und *Grundwasserneubildung* des Produktionsprogramms *StEi-Hbu* auf *trockenem Pseudogley* im Klimaraum *Abetzberg*. 115
- Abb. 72b: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Biodiversität*, *Schadanfälligkeit* und *Kostenintensität* des Produktionsprogramms *StEi-Hbu* auf *trockenem Pseudogley* im Klimaraum *Abetzberg*. 115
- Abb. 73a: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicherung*, *Baumarteneignung* und *Grundwasserneubildung* des Produktionsprogramms *StEi-Hbu* auf *trockenem Pseudogley* im Klimaraum *Hametholz*. 116

- Abb. 73b: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Biodiversität*, *Schadanfälligkeit* und *Kostenintensität* des Produktionsprogramms *StEi-Hbu* auf *trockenem Pseudogley* im Klimaraum *Hametholz*. 116
- Abb. 74a: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicherung*, *Baumarteneignung* und *Grundwasserneubildung* des Produktionsprogramms *StEi-Hbu* auf *frischem Pseudogley* im Klimaraum *Abetzberg*. 117
- Abb. 74b: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Biodiversität*, *Schadanfälligkeit* und *Kostenintensität* des Produktionsprogramms *StEi-Hbu* auf *frischem Pseudogley* im Klimaraum *Abetzberg*. 117
- Abb. 75a: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicherung*, *Baumarteneignung* und *Grundwasserneubildung* des Produktionsprogramms *StEi-Hbu* auf *frischem Pseudogley* im Klimaraum *Hametholz*. 118
- Abb. 75b: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Biodiversität*, *Schadanfälligkeit* und *Kostenintensität* des Produktionsprogramms *StEi-Hbu* auf *frischem Pseudogley* im Klimaraum *Hametholz*. 118
- Abb. 76: Störungsgeschehen in Fichtenbeständen (Quelle: vgl. OTTO 1994). 119

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Potentielle Einflüsse des Klimawandels auf die Umwelt und auf Wald- ökosysteme (vgl. von LÜPKE 2004a).	6
Tab. 2: Beurteilung der Anpassungseignung diverser heimischer und fremd- ländischer Baumarten (vgl. von LÜPKE 2004a).	11
Tab. 3: Stand des Wissens über waldbauliche Empfehlungen in Hinblick auf Klimawandel.	18
Tab. 4: Altersklassenverteilung der Wälder im Bezirk Amstetten (Quelle: ÖWI 2000/ 2002; <a href="http://web.bfw.ac.at/i7/oewi.oewi0002">http://web.bfw.ac.at/i7/oewi.oewi0002</a> , 20. 08. 2004).	34
Tab. 5: Verwendete repräsentative Standortseinheiten im Projektgebiet (Quelle: SEIDL <i>et al.</i> 2009).	45
Tab. 6: Produktionsprogramm für <i>Fichtenreinbestände</i> im Nördlichen Alpenvor- land.	46
Tab. 7: Produktionsprogramm für <i>Lärchen-Buchenmischbestände</i> im Nörd- lichen Alpenvorland (Quelle: HOCHBICHLER, pers. Mitteilung, 2009).	47
Tab. 8: Produktionsprogramm für <i>Bergahorn-Eschenmischbestände</i> im Nörd- lichen Alpenvorland (Quelle: HOCHBICHLER, pers. Mitteilung, 2009).	48
Tab. 9: Produktionsprogramm für <i>Stieleichen-Hainbuchenmischbestände</i> im Nördlichen Alpenvorland (Quelle: HOCHBICHLER, pers. Mitteilung, 2009).	49
Tab. 10: Umweltfaktoren im Baumarteneignungsmodell (Quelle: LEXER, pers. Mitteilung, 2009).	51
Tab. 11: Aggregation des Indikators <i>Biodiversität</i> aus den Sub-Indikatoren <i>stehendes Totholz</i> und <i>Artendiversität</i> (Quelle: SEIDL & LEXER, Projekt- endbericht, 2008).	52
Tab. 12: Prädispositionsfaktoren für den Indikator <i>Windwurf</i> und deren operationale Definition in der Simulation mit <i>PICUS</i> (Quelle: SEIDL & LEXER, Projektendbericht, 2008).	54
Tab. 13: Prädispositionsfaktoren für den Indikator <i>Schneebruch</i> und deren operationale Definition in der Simulation mit <i>PICUS</i> (Quelle: SEIDL & LEXER, Projektendbericht, 2008).	55
Tab. 14: Aggregation der abiotischen Schadfaktoren <i>Windwurf</i> und <i>Schnee- bruch</i> (Quelle: SEIDL & LEXER, Projektendbericht, 2008).	55
Tab. 15: Aggregation der Indikatoren für <i>Borkenkäferschäden</i> und <i>abiotische Schadfaktoren</i> (Quelle: SEIDL & LEXER, Projektendbericht, 2008).	56



Tab. 16: Simulationsschema für das Projektgebiet.	57
Tab. 17: <i>Mittlere Jahrestemperatur, Jahresniederschlag, mittleres Dampfdruckdefizit und mittlere tägliche Globalstrahlung</i> ausgewählter Perioden des Klimaänderungsszenarios <i>CC-A1B</i> für den Waldort <i>Abetzberg</i> (Quelle: LEXER, pers. Mitteilung, 2007).	60
Tab. 18: <i>Mittlere Jahrestemperatur, Jahresniederschlag, mittleres Dampfdruckdefizit und mittlere tägliche Globalstrahlung</i> ausgewählter Perioden des Klimaänderungsszenarios <i>CC-A2</i> für den Waldort <i>Abetzberg</i> (Quelle: LEXER, pers. Mitteilung, 2007).	60
Tab. 19: <i>Mittlere Jahrestemperatur, Jahresniederschlag, mittleres Dampfdruckdefizit und mittlere tägliche Globalstrahlung</i> ausgewählter Perioden des Klimaänderungsszenarios <i>CC-B1</i> für den Waldort <i>Abetzberg</i> (Quelle: LEXER, pers. Mitteilung, 2007).	61
Tab. 20: Vergleich der Parameter <i>mittlere Jahrestemperatur</i> und <i>Jahresniederschlag</i> für die Klimaänderungsszenarien <i>CC-A1B</i> , <i>CC-A2</i> und <i>CC-B1</i> vs. <i>baseline</i> -Szenario (stochastisch generiert aus den Daten der Periode 1961-1990) am Waldort <i>Abetzberg</i> für die Perioden 2001-2020, 2040-2060 und 2080-2100 (Quelle: LEXER, pers. Mitteilung, 2007).	62
Tab. 21: <i>Mittlere Jahrestemperatur, Jahresniederschlag, mittleres Dampfdruckdefizit und mittlere tägliche Globalstrahlung</i> ausgewählter Perioden des Klimaänderungsszenarios <i>CC-A1B</i> für den Waldort <i>Hametholz</i> (Quelle: LEXER, pers. Mitteilung, 2007).	63
Tab. 22: <i>Mittlere Jahrestemperatur, Jahresniederschlag, mittleres Dampfdruckdefizit und mittlere tägliche Globalstrahlung</i> ausgewählter Perioden des Klimaänderungsszenarios <i>CC-A2</i> für den Waldort <i>Hametholz</i> (Quelle: LEXER, pers. Mitteilung, 2007).	64
Tab. 23: <i>Mittlere Jahrestemperatur, Jahresniederschlag, mittleres Dampfdruckdefizit und mittlere tägliche Globalstrahlung</i> ausgewählter Perioden des Klimaänderungsszenarios <i>CC-B1</i> für den Waldort <i>Hametholz</i> (Quelle: LEXER, pers. Mitteilung, 2007).	64
Tab. 24: Vergleich der Parameter <i>mittlere Jahrestemperatur</i> und <i>Jahresniederschlag</i> für die Klimaänderungsszenarien <i>CC-A1B</i> , <i>CC-A2</i> und <i>CC-B1</i> vs. <i>baseline</i> -Szenario (stochastisch generiert aus den Daten der Periode 1961-1990) am Waldort <i>Hametholz</i> für die Perioden 2001-2020, 2040-2060 und 2080-2100 (Quelle: LEXER, pers. Mitteilung, 2007).	65
Tab. 25: Klassifikation der Gründigkeit von Waldböden in Österreich (Quelle: Anleitung von ENGLISCH & KILIAN, 1998).	66
Tab. 26: Beurteilung des Grobbodenanteils (Quelle: Anleitung von ENGLISCH & KILIAN, 1998).	66

## Anhangverzeichnis

Tab. A1: Standortsinformation für den Bestand <i>Abetzberg 1</i> .	140
Tab. A2: Standortsinformation für den Bestand <i>Abetzberg 2</i> .	140
Tab. A3: Standortsinformation für den Bestand <i>Abetzberg 3</i> .	140
Tab. A4: Standortsinformation für den Bestand <i>Abetzberg 4</i> .	140
Tab. A5: Standortsinformation für den Bestand <i>Abetzberg 5</i> .	140
Tab. A6: Standortsinformation für den Bestand <i>Abetzberg 6</i> .	141
Tab. A7: Standortsinformation für den Bestand <i>Hametholz 1</i> .	141
Tab. A8: Standortsinformation für den Bestand <i>Hametholz 2</i> .	141
Tab. A9: Standortsinformation für den Bestand <i>Hametholz 3</i> .	141
Tab. A10: Datenerhebungsblatt für den Standort (Quelle: Inst. für Waldbau, Univ. für Bodenkultur 2007).	142
Tab. A11: Indikatoren <i>Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung, Biodiversität, Schadanfälligkeit, Kostenintensität</i> und <i>Grundwasserneubildung</i> für das Produktionsprogramm <i>Fi-BAU</i> auf <i>trockener Parabraunerde</i> im Klimaraum <i>Abetzberg</i> .	143
Tab. A12: Indikatoren <i>Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung, Biodiversität, Schadanfälligkeit, Kostenintensität</i> und <i>Grundwasserneubildung</i> für das Produktionsprogramm <i>Fi-BAU</i> auf <i>trockener Parabraunerde</i> im Klimaraum <i>Hametholz</i> .	144
Tab. A13: Indikatoren <i>Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung, Biodiversität, Schadanfälligkeit, Kostenintensität</i> und <i>Grundwasserneubildung</i> für das Produktionsprogramm <i>Fi-BAU</i> auf <i>frischer Parabraunerde</i> im Klimaraum <i>Abetzberg</i> .	145
Tab. A14: Indikatoren <i>Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung, Biodiversität, Schadanfälligkeit, Kostenintensität</i> und <i>Grundwasserneubildung</i> für das Produktionsprogramm <i>Fi-BAU</i> auf <i>frischer Parabraunerde</i> im Klimaraum <i>Hametholz</i> .	146
Tab. A15: Indikatoren <i>Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung, Biodiversität, Schadanfälligkeit, Kostenintensität</i> und <i>Grundwasserneubildung</i> für das Produktionsprogramm <i>Fi-BAU</i> auf <i>trockenem Pseudogley</i> im Klimaraum <i>Abetzberg</i> .	147

Tab. A16: Indikatoren <i>Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung, Biodiversität, Schadanfälligkeit, Kostenintensität und Grundwasserneubildung</i> für das Produktionsprogramm <i>Fi-BAU</i> auf <i>trockenem Pseudogley</i> im Klimaraum <i>Hametholz</i> .	148
Tab. A17: Indikatoren <i>Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung, Biodiversität, Schadanfälligkeit, Kostenintensität und Grundwasserneubildung</i> für das Produktionsprogramm <i>Fi-BAU</i> auf <i>frischem Pseudogley</i> im Klimaraum <i>Abetzberg</i> .	149
Tab. A18: Indikatoren <i>Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung, Biodiversität, Schadanfälligkeit, Kostenintensität und Grundwasserneubildung</i> für das Produktionsprogramm <i>Fi-BAU</i> auf <i>frischem Pseudogley</i> im Klimaraum <i>Hametholz</i> .	150
Tab. A19: Indikatoren <i>Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung, Biodiversität, Schadanfälligkeit, Kostenintensität und Grundwasserneubildung</i> für das Produktionsprogramm <i>Lä-Bu</i> auf <i>trockener Parabraunerde</i> im Klimaraum <i>Abetzberg</i> .	151
Tab. A20: Indikatoren <i>Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung, Biodiversität, Schadanfälligkeit, Kostenintensität und Grundwasserneubildung</i> für das Produktionsprogramm <i>Lä-Bu</i> auf <i>trockener Parabraunerde</i> im Klimaraum <i>Hametholz</i> .	152
Tab. A21: Indikatoren <i>Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung, Biodiversität, Schadanfälligkeit, Kostenintensität und Grundwasserneubildung</i> für das Produktionsprogramm <i>Lä-Bu</i> auf <i>frischer Parabraunerde</i> im Klimaraum <i>Abetzberg</i> .	153
Tab. A22: Indikatoren <i>Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung, Biodiversität, Schadanfälligkeit, Kostenintensität und Grundwasserneubildung</i> für das Produktionsprogramm <i>Lä-Bu</i> auf <i>frischer Parabraunerde</i> im Klimaraum <i>Hametholz</i> .	154
Tab. A23: Indikatoren <i>Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung, Biodiversität, Schadanfälligkeit, Kostenintensität und Grundwasserneubildung</i> für das Produktionsprogramm <i>BAh-Es</i> auf <i>trockener Parabraunerde</i> im Klimaraum <i>Abetzberg</i> .	155
Tab. A24: Indikatoren <i>Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung, Biodiversität, Schadanfälligkeit, Kostenintensität und Grundwasserneubildung</i> für das Produktionsprogramm <i>BAh-Es</i> auf <i>trockener Parabraunerde</i> im Klimaraum <i>Hametholz</i> .	156
Tab. A25: Indikatoren <i>Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung, Biodiversität, Schadanfälligkeit, Kostenintensität und Grundwasserneubildung</i> für das Produktionsprogramm <i>BAh-Es</i> auf <i>frischer Parabraunerde</i> im Klimaraum <i>Abetzberg</i> .	157

Tab. A26: Indikatoren <i>Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung, Biodiversität, Schadanfälligkeit, Kostenintensität</i> und <i>Grundwasserneubildung</i> für das Produktionsprogramm <i>BAh-Es</i> auf <i>frischer Parabraunerde</i> im Klimaraum <i>Hametholz</i> .	158
Tab. A27: Indikatoren <i>Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung, Biodiversität, Schadanfälligkeit, Kostenintensität</i> und <i>Grundwasserneubildung</i> für das Produktionsprogramm <i>StEi-Hbu</i> auf <i>trockenem Pseudogley</i> im Klimaraum <i>Abetzberg</i> .	159
Tab. A28: Indikatoren <i>Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung, Biodiversität, Schadanfälligkeit, Kostenintensität</i> und <i>Grundwasserneubildung</i> für das Produktionsprogramm <i>StEi-Hbu</i> auf <i>trockenem Pseudogley</i> im Klimaraum <i>Hametholz</i> .	160
Tab. A29: Indikatoren <i>Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung, Biodiversität, Schadanfälligkeit, Kostenintensität</i> und <i>Grundwasserneubildung</i> für das Produktionsprogramm <i>StEi-Hbu</i> auf <i>frischem Pseudogley</i> im Klimaraum <i>Abetzberg</i> .	161
Tab. A30: Indikatoren <i>Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung, Biodiversität, Schadanfälligkeit, Kostenintensität</i> und <i>Grundwasserneubildung</i> für das Produktionsprogramm <i>StEi-Hbu</i> auf <i>frischem Pseudogley</i> im Klimaraum <i>Hametholz</i> .	162
Tab. A31: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios <i>CC-A1B</i> relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren <i>Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung</i> und <i>Grundwasserneubildung</i> des Produktionsprogramms <i>Fi-BAU</i> auf <i>trockener Parabraunerde</i> im Klimaraum <i>Abetzberg</i> .	163
Tab. A32: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios <i>CC-A1B</i> relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren <i>Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung</i> und <i>Grundwasserneubildung</i> des Produktionsprogramms <i>Fi-BAU</i> auf <i>trockener Parabraunerde</i> im Klimaraum <i>Hametholz</i> .	164
Tab. A33: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios <i>CC-A1B</i> relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren <i>Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung</i> und <i>Grundwasserneubildung</i> des Produktionsprogramms <i>Fi-BAU</i> auf <i>frischer Parabraunerde</i> im Klimaraum <i>Abetzberg</i> .	165
Tab. A34: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios <i>CC-A1B</i> relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren <i>Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung</i> und <i>Grundwasserneubildung</i> des Produktionsprogramms <i>Fi-BAU</i> auf <i>frischer Parabraunerde</i> im Klimaraum <i>Hametholz</i> .	166

Tab. A35: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios <i>CC-A1B</i> relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren <i>Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung</i> und <i>Grundwasserneubildung</i> des Produktionsprogramms <i>Fi-BAU</i> auf <i>trockenem Pseudogley</i> im Klimaraum <i>Abetzberg</i> .	167
Tab. A36: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios <i>CC-A1B</i> relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren <i>Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung</i> und <i>Grundwasserneubildung</i> des Produktionsprogramms <i>Fi-BAU</i> auf <i>trockenem Pseudogley</i> im Klimaraum <i>Hametholz</i> .	168
Tab. A37: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios <i>CC-A1B</i> relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren <i>Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung</i> und <i>Grundwasserneubildung</i> des Produktionsprogramms <i>Fi-BAU</i> auf <i>frischem Pseudogley</i> im Klimaraum <i>Abetzberg</i> .	169
Tab. A38: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios <i>CC-A1B</i> relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren <i>Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung</i> und <i>Grundwasserneubildung</i> des Produktionsprogramms <i>Fi-BAU</i> auf <i>frischem Pseudogley</i> im Klimaraum <i>Hametholz</i> .	170
Tab. A39: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios <i>CC-A1B</i> relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren <i>Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung</i> und <i>Grundwasserneubildung</i> des Produktionsprogramms <i>Lä-Bu</i> auf <i>trockener Parabraunerde</i> im Klimaraum <i>Abetzberg</i> .	171
Tab. A40: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios <i>CC-A1B</i> relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren <i>Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung</i> und <i>Grundwasserneubildung</i> des Produktionsprogramms <i>Lä-Bu</i> auf <i>trockener Parabraunerde</i> im Klimaraum <i>Hametholz</i> .	172
Tab. A41: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios <i>CC-A1B</i> relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren <i>Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung</i> und <i>Grundwasserneubildung</i> des Produktionsprogramms <i>Lä-Bu</i> auf <i>frischer Parabraunerde</i> im Klimaraum <i>Abetzberg</i> .	173
Tab. A42: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios <i>CC-A1B</i> relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren <i>Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung</i> und <i>Grundwasserneubildung</i> des Produktionsprogramms <i>Lä-Bu</i> auf <i>frischer Parabraunerde</i> im Klimaraum <i>Hametholz</i> .	174

Tab. A43: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios <i>CC-A1B</i> relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren <i>Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung</i> und <i>Grundwasserneubildung</i> des Produktionsprogramms <i>BAh-Es</i> auf <i>trockener Parabraunerde</i> im Klimaraum <i>Abetzberg</i> .	175
Tab. A44: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios <i>CC-A1B</i> relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren <i>Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung</i> und <i>Grundwasserneubildung</i> des Produktionsprogramms <i>BAh-Es</i> auf <i>trockener Parabraunerde</i> im Klimaraum <i>Hametholz</i> .	176
Tab. A45: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios <i>CC-A1B</i> relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren <i>Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung</i> und <i>Grundwasserneubildung</i> des Produktionsprogramms <i>BAh-Es</i> auf <i>frischer Parabraunerde</i> im Klimaraum <i>Abetzberg</i> .	177
Tab. A46: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios <i>CC-A1B</i> relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren <i>Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung</i> und <i>Grundwasserneubildung</i> des Produktionsprogramms <i>BAh-Es</i> auf <i>frischer Parabraunerde</i> im Klimaraum <i>Hametholz</i> .	178
Tab. A47: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios <i>CC-A1B</i> relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren <i>Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung</i> und <i>Grundwasserneubildung</i> des Produktionsprogramms <i>StEi-Hbu</i> auf <i>trockenem Pseudogley</i> im Klimaraum <i>Abetzberg</i> .	179
Tab. A48: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios <i>CC-A1B</i> relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren <i>Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung</i> und <i>Grundwasserneubildung</i> des Produktionsprogramms <i>StEi-Hbu</i> auf <i>trockenem Pseudogley</i> im Klimaraum <i>Hametholz</i> .	180
Tab. A49: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios <i>CC-A1B</i> relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren <i>Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung</i> und <i>Grundwasserneubildung</i> des Produktionsprogramms <i>StEi-Hbu</i> auf <i>frischem Pseudogley</i> im Klimaraum <i>Abetzberg</i> .	181
Tab. A50: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios <i>CC-A1B</i> relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren <i>Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung</i> und <i>Grundwasserneubildung</i> des Produktionsprogramms <i>StEi-Hbu</i> auf <i>frischem Pseudogley</i> im Klimaraum <i>Hametholz</i> .	182

## Verzeichnis der Abkürzungen

### A

<i>AET</i>	tatsächliche Evapotranspiration ( <i>Actual Evapotranspiration</i> )
<i>AFJZ</i>	<i>Allgemeine Forst- und Jagdzeitung</i>
<i>AFZ</i>	<i>Allgemeine Forstzeitschrift</i>
<i>Agroforest. Syst.</i>	<i>Agroforestry Systems</i>
<i>AKL</i>	Altersklasse (in <i>schlagweisen Hochwaldsystemen</i> )

### B

<i>BA</i>	Baumart
<i>BAh</i>	Bergahorn ( <i>Acer pseudoplatanus</i> LINNE)
<i>BAh-Es</i>	Produktionsprogramm <i>Bergahorn-Esche</i>
<i>BAU</i>	<i>business as usual</i>
<i>BB</i>	Borkenkäfer ( <i>Bark Beetle</i> )
<i>Beitr. Forstwirtsch.</i>	<i>Beiträge für Forstwirtschaft und Landschaftsökologie</i>
<i>BFW</i>	Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (vormals FBVA); <a href="http://bfw.ac.at/">http://bfw.ac.at/</a> (12. 03. 2009)
<i>BHD</i>	Brusthöhendurchmesser
<i>BK-Generationen</i>	Borkenkäfer-Generationen
<i>BMLF</i>	Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft
<i>BMLFUW</i>	Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Lebensministerium) <a href="http://www.lebensministerium.at/">http://www.lebensministerium.at/</a> (11 .03. 2009)
<i>BOKU</i>	Universität für Bodenkultur <a href="http://www.boku.ac.at/">http://www.boku.ac.at/</a> (10. 12. 2008)
<i>B<sub>t</sub></i>	Anreicherungshorizont infolge Lessivierung
<i>BREF.</i>	BREFELD
<i>Bu</i>	Rotbuche ( <i>Fagus sylvatica</i> LINNE)
<i>BUWAL</i>	Schweizer Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft <a href="http://www.bafu.admin.ch/org/index.html?lang=de">http://www.bafu.admin.ch/org/index.html?lang=de</a> (07. 05. 2008); das BUWAL ist seit Jänner 2006 am <i>Bundesamt für Umwelt</i> (BAFU) angesiedelt

### C

<i>Can. J. For. Res</i>	<i>Canadian Journal of Forest Research</i>
-------------------------	--

CC Clim. Chang. ClimChAlp	<i>Climate Change, Climatic Change</i> <i>Climatic Change</i> (Zeitschrift) <i>Climate change, impacts and adaptation strategies in the Alpine Space</i> (Projekt)
Col.	<i>Coleoptera</i>
D	
D <sub>OH</sub> dgz DG DJF	Durchmesser des Oberhöhenstammes durchschnittlicher Gesamtwuchs <i>Directorates-General</i> Wintermonate <i>Dezember, Jänner und Februar</i>
E	
E	Eluvialhorizont
EC ECHAM Ecol. Appl. Ecol. Model. Es ETH ETHZ	<i>European Commission</i> <i>European Centre Hamburg Model</i> <i>Journal of Applied Ecology</i> <i>Ecological Modelling</i> Gewöhnliche Esche ( <i>Fraxinus excelsior</i> LINNE) Eidgenössische Technische Hochschule Zürich Eidgenössische Technische Hochschule Zürich <a href="http://www.ethz.ch/">http://www.ethz.ch/</a> (11. 03. 2009)
F	
FAST	Forstliche Ausbildungsstätten (Dienststellen des BFW)
FBVA	Forstliche Bundesversuchsanstalt
FFH-Richtlinie	<i>Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie</i> der Europäischen Union. (Hauptziel der FFH-Richtlinie ist der Aufbau des europäischen Schutzgebietsnetzes <i>Natura 2000</i> ).
Fi-BAU fm	Produktionsprogramm <i>Fichte, business as usual</i> Festmeter (Erntefestmeter, Vorratsfestmeter)
For. Ecol. Manage. Forstw. Cbl.	<i>Forest Ecology and Management</i> <i>Forstwissenschaftliches Zentralblatt</i>
FR.	FRIES
G	
GWL	Gesamtwuchsleistung



H	
H	Baumhöhe
<i>Hbu</i> H/D-Wert	Hainbuche ( <i>Carpinus betulus</i> LINNE) Verhältnis zwischen Höhe und Durchmesser eines Baumes
HEM	Holzeinschlagsmeldung(en) in Österreich; <a href="http://forst.lebensministerium.at/article/articleview/71038/1/4946">http://forst.lebensministerium.at/article/articleview/71038/1/4946</a> (06. 11. 2008)
HLUG	Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie <a href="http://www.hlug.de/">http://www.hlug.de/</a> (11. 03. 2009)
HWG 7	Hauptwuchsgebiet 7 (Nördliches Alpenvorland)
<i>Hylobius</i>	Gattungsname des Fichtenrüsselkäfers ( <i>Hylobius abietis</i> L. Col. Curculionidae)
I	
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderung <a href="http://www.ipcc.ch/">http://www.ipcc.ch/</a> (11. 03. 2009) <a href="http://www.wmo.int/pages/index_en.html">http://www.wmo.int/pages/index_en.html</a> (13. 03. 2009) <a href="http://www.unep.org/">http://www.unep.org/</a> (13. 03. 2009)
IUCN	<i>International Union for Conservation of Nature</i> <a href="http://www.iucn.org/">http://www.iucn.org/</a> (10. 03. 2009)
IUFRO	<i>International Union of Forest Research Organization</i> <a href="http://www.iufro.org/">http://www.iufro.org/</a> (20. 03. 2009)
J	
<i>J. Environ. Manage.</i>	<i>Journal of Environmental Management</i>
K	
KARST.	KARSTEN
L	
L.	LINNE
LA	Blattfläche ( <i>Leaf Area</i> )
LAI	<i>Leaf Area Index</i>
Lä	Europäische Lärche ( <i>Larix decidua</i> MILLER)
Lä-Bu	Produktionsprogramm <i>Lärche-Buche</i>
Lep.	<i>Lepidoptera</i>

LFD LK	Landesforstdienst, Landesforstdirektion Landwirtschaftskammer
LWF	Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft <a href="http://www.lwf.bayern.de/">http://www.lwf.bayern.de/</a> (11. 03. 2009)
M	
MCPFE	<i>Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe</i> , <a href="http://www.mcpfe.org/">http://www.mcpfe.org/</a> (11. 03. 2009)
MILL. MIRB.	MILLER MIRBEL
<i>Mitt. Dt. Dendrol. Ges.</i>	<i>Mitteilungen der Deutschen Dendrologischen Gesellschaft</i> <a href="http://www.ddg-web.de/index.htm">http://www.ddg-web.de/index.htm</a> (05. 03. 2009)
N	
$N_{av}$ N/ha NPP NS NS-Summe NS-Tage	pflanzenverfügbare Stickstoff ( <i>available Nitrogen</i> ) Stückzahl pro Hektar Nettoprimärproduktion Niederschlag Summe der Niederschläge Tage mit Niederschlägen
O	
OH ÖAW	Oberhöhe Österreichische Akademie der Wissenschaften <a href="http://www.oeaw.ac.at/">http://www.oeaw.ac.at/</a> (11. 03. 2009)
ÖBf ÖBf AG	Österreichische Bundesforste Österreichische Bundesforste AG <a href="http://www.oebf.at/">http://www.oebf.at/</a> (11. 03. 2009)
ÖFV ÖFZ ÖWI	Österreichischer Forstverein <i>Österreichische Forstzeitung</i> Österreichische Waldinventur <a href="http://web.bfw.ac.at/i7/oewi.oewi0002">http://web.bfw.ac.at/i7/oewi.oewi0002</a> (20. 08. 2004)
P	
PNV	potentiell natürliche Vegetation
R	
<i>Rad</i> <i>Reg. Environ. Change</i>	Globalstrahlung ( <i>Radiation</i> ) <i>Regional Environmental Change</i>
ROMAGN.	ROMAGNESI

S

*Schweiz. Z. Forstwes.  
Scol.*

*Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen  
Scolitidae*

SEBA

Projekt zur Förderung seltener Baumarten (ETHZ und BUWAL); <http://www.seba.ethz.ch> (31. 08. 2005)

*Soc. Am. For*  
SOM  
SP  
SRES

*Society of American Foresters*  
organische Bodenbestandteile (*Soil Organic Matter*)  
Stichprobe  
*Special Report on Emission Scenarios*  
Sonderbericht zu Emissionsszenarien

*StEi*  
*StEi-Hbu*

Stieleiche (*Quercus robur* LINNE)  
Produktionsprogramm *Stieleiche-Hainbuche*

T

tC

(hektarbezogene) Tonnen Kohlenstoff

TRACE

*Tracer Redistribution Among Compartments in Eco-systems*

<http://www-personal.umich.edu/~wcurrie/index.html>

(19. 02. 2009)

*Tree Phys.*

*Tree Physiology*

U

UBA

Umweltbundesamt  
<http://www.umweltbundesamt.at/> (11. 03. 2009)

V

Vfm  
VPD

Vorratsfestmeter  
Dampfdruckdefizit (*Vapour Pressure Deficit*)

W

WD  
WHC

verholzter Bestandesabfall (*Woody Debris*)  
Wasserspeicherfähigkeit (*Waterholdcapacity*)

WSL

Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf (ein Institut des ETH-Bereichs)  
<http://www.wsl.ch/> (18. 03. 2009)

*Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research*; Birmensdorf/ Zürich

*Institut Fédéral de Recherches sur la Forêt, la Neige et le Paysage, Lausanne; <http://ecos.epfl.ch/> (15. 08. 2008)*

*Istituto federale di ricerca per la Foresta, la Neve e il Paesaggio, Bellinzona;  
[http://www.wsl.ch/bellinzona/index\\_IT](http://www.wsl.ch/bellinzona/index_IT) (10. 03. 2009)*

WWF

*World Wide Fund for Nature  
<http://www.wwf.org/> (24. 03. 2009)*

Z

ZAMG

*Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik  
<http://www.zamg.ac.at/> (06. 03. 2007)*

Z-Baum, Z-Stamm

*Zukunftsbaum, Zukunftsstamm, Wertträger, Elitebaum; in der Forstgenetik sind auch die Begriffe *Auslesebaum* und *Plusbaum* üblich.*

# 1. Einleitung und Problemstellung

Der CO<sub>2</sub>-Anstieg im Industriezeitalter (1750-1800: 280ppm; 1990: 353ppm; vgl. KRIEBITZSCH 1991; BERNHOFER *et al.*, Tagung, 2007; IPCC, 2007) lässt bereits in den nächsten Jahrzehnten eine signifikante Klimaveränderung erwarten. Bis zum Ende des 21. Jahrhunderts erreicht die Bandbreite der Szenarien in Bezug auf Änderungen im Temperaturregime weltweit +1,5° bis +5,5°C (siehe Abbildung 29).

Für den Niederschlag sind die Ergebnisse der Szenariosimulationen weniger gut abgesichert, jedoch erwartet man neben größeren Schwankungen auch eine veränderte saisonale Differenzierung und ein häufigeres Auftreten von Witterungsanomalien (vgl. KROMP-KOLB & FORMAYER, *Schwarzbuch Klimawandel*, 2005). Extreme Wettersituationen (z.B. Trocken- und Hitzeperioden im Sommerhalbjahr, Stürme im Winterhalbjahr, Hochwasserereignisse und Überschwemmungen) könnten in Mitteleuropa vermehrt und intensiver auftreten als bisher (vgl. IPCC, 2007).

Der Klimawandel könnte die Anpassungsfähigkeit von Waldökosystemen überfordern. Anpassungsfähigkeit bezeichnet das Vermögen eines Ökosystems, sich an Umweltveränderungen zu adaptieren. Ausreichende genetische Variation ist für die intrinsische Komponente der Anpassungsfähigkeit eine notwendige Bedingung (vgl. GEBUREK *et al.*, *Kleines forstgenetisches Glossarium*, 1994).

Die Fichte als Hauptwirtschaftsbaumart scheint für das erwartete Klima auf vielen Standorten ausgesprochen schlecht geeignet zu sein (vgl. LEXER *et al.* 2002; LEXER & SEIDL 2007). Schädlinge der Fichte finden schon heute sehr günstige Voraussetzungen vor. Die Fichte wird in zunehmendem Ausmaß unter anderem durch *Borkenkäfer* wie den Buchdrucker (*Ips typographus* L. Scol. Col.), die Kleine Fichtenblattwespe (*Pristiphora abietina* CHRIST Hym. Tenthredinidae), Ligninzersetzer der Gattung *Hallimasch* [*Armillaria ostoyae* (ROMAGN.) HERINK], *Rotfäule* [*Heterobasidion annosum* (FR.) BREF.], *Trockenheit* und *Sturm* besonders stark gefährdet (für das Nördliche Alpenvorland, vgl. JASSER, Diplomarbeit, 1984).

Sekundäre Fichtenbestände zeigen in dieser Hinsicht eine überproportional hohe Vulnerabilität. In der Forstwirtschaft kann eine effektive Risikostreuung durch die Begründung von kleinflächig gemischten Beständen gewährleistet werden, die für einen möglichst stabilen Bestandaufbau in regelmäßigen zeitlichen Abständen zu durchforsten und zu pflegen sind. Die Beteiligung von Laubbaumarten am Betriebszieltyp auf dafür geeigneten Standorten basiert auf einer zielorientierten Wertholzproduktion in kürzestmöglicher Umtriebszeit. In der Laubwaldbewirtschaftung wurden die erforderlichen Produktionszeiträume in der Vergangenheit oftmals überschätzt: Für *Wildkirsche* sind beispielsweise auf guten Standorten im Nördlichen Alpenvorland nur relativ kurze Umtriebszeiten von 60 Jahren erforderlich; für *Bergahorn* und *Esche* werden 70 bis 90 Jahre empfohlen; innovative *Eichenwertholzproduktion* im Nördlichen Alpenvorland nimmt einen Zeitraum zwischen 80 und 120 Jahren in Anspruch (vgl. RIEDER 1998; HEIN 2004a; HEIN 2004b; HEIN & SPIEKER 2008).

Derzeit fehlt es noch an konsistenten Analysen von Produktionsprogrammen unter Klimaänderungsbedingungen, die einerseits den multifunktionalen Charakter der Waldbaukonzepte (vgl. LEXER & HÖNNINGER 2001; LEXER & BROOKS 2005) und andererseits die Unsicherheiten in Bezug auf das zukünftige Klima (vgl. LINDNER 1999; LINDNER *et al.* 2002) berücksichtigen.

## 2. Zielsetzung

Die vorliegende Arbeit ist als Studie für die Bewirtschaftung sekundärer Fichtenwälder in Tieflagen des Nördlichen Alpenvorlandes unter Einbeziehung des Klimawandels konzipiert. Im Bezirk Amstetten wurden an den zwei Waldorten *Abetzberg* und *Hametholz* insgesamt neun Bestände in Seehöhen zwischen 280 und 390m ausgewählt, die verschiedene Klimabedingungen und Standortsausprägungen sekundärer Fichtenwälder im Nördlichen Alpenvorland repräsentieren.

Es werden die vier Produktionsprogramme *Fichte (business as usual)*, *Lärche-Buche*, *Bergahorn-Esche* und *Stieleiche-Hainbuche* mit dem Waldökosystemmodell *PICUS* (vgl. SEIDL *et al.* 2006; <http://www.wabo.boku.ac.at/picus.html>, 03. 07. 2007) simuliert. Die Analyseperiode umfasst den Zeitraum zwischen 2001 und 2100. Weil die ausgewählten Bestände unterschiedliche Bestandesentwicklungsphasen zeigen, geht die vorliegende Arbeit vereinfachend von Kahlf lächen aus. Die Simulation ist für die Berechnung der acht Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicherung*, *Baumarteneignung*, *Biodiversität*, *Schadanfälligkeit*, *Kostenintensität* sowie *Grundwasserneubildung* unter drei Klimaänderungsszenarien (vgl. IPCC, 2007) zugeschnitten.

Das Kapitel 3 bietet den aktuellen Stand des Wissens über waldbauliche Empfehlungen im Klimawandel. Das Kapitel 4 beinhaltet eine Beschreibung der Naturraumgegebenheiten im Projektgebiet. Im Kapitel 5 werden die methodischen Aspekte der vorliegenden Arbeit dargelegt. Das Kapitel 6 bezieht sich auf die klimatischen und die Standortdaten, denen die Arbeit zugrunde liegt. Im Kapitel 7 werden die Ergebnisse der Modellierung interpretiert; im Kapitel 8 werden diese diskutiert. Das Kapitel 9 rundet die Arbeit mit einigen Schlussfolgerungen und einem Ausblick ab.

### 3. Stand des Wissens

#### 3.1 Auswirkungen der Klimaänderung in Mitteleuropa

Wegen anthropogener Einflüsse ist in Mitteleuropa bereits mittelfristig bis zum Jahr 2050 ein Temperaturanstieg von etwa  $+1^{\circ}$  bis  $+2,5^{\circ}\text{C}$  zu erwarten. Bis zum Ende des 21. Jahrhunderts erreicht die Bandbreite der Szenarien in Bezug auf Änderungen im Temperaturregime weltweit  $+1,5^{\circ}$  bis  $+5,5^{\circ}\text{C}$ . Im Kapitel 6.1 wird hierzu ein Szenariofächer für die *globale* Ebene gezeigt (siehe Abbildung 29). Trockenphasen mit Temperaturen über  $40^{\circ}\text{C}$  im Sommer könnten zunehmen, ebenso eine signifikante Erhöhung der Nacht- und Wintertemperaturen (vgl. IPCC, 2007). Bereits im vergangenen Jahrhundert betrug der Temperaturanstieg in Mitteleuropa ca.  $0,8^{\circ}\text{C}$ , wie man aus meteorologischen Aufzeichnungen zwischen 1891 und 1990 entnehmen kann (vgl. SCHÖNWIESE & RAPP, *Climate Trend Atlas of Europe based on Observations 1891-1990*, 1997; BERNHOFER *et al.*, Tagung, 2007).

Für den Niederschlag sind die Ergebnisse der Szenariosimulationen weniger gut abgesichert, jedoch erwartet man neben größeren Schwankungen auch eine veränderte saisonale Differenzierung und ein häufigeres Auftreten von Witterungsanomalien (vgl. LEXER *et al.*, *The Sensitivity of the Austrian Forests to Scenarios of Climatic Change. A large-scale Risk Assessment*, 2001; LEXER *et al.* 2002; KROMPKOLB & FORMAYER, *Schwarzbuch Klimawandel*, 2005; LEXER & SEIDL 2007). Die Niederschlagsmenge hat in den meisten Gebieten Mitteleuropas im Winterhalbjahr zwischen 1891 und 1990 um fast 10% zugenommen (vgl. SCHÖNWIESE & RAPP, *Climate Trend Atlas of Europe based on Observations 1891-1990*, 1997). Für vereinzelte Trockengebiete in Süddeutschland und der Schweiz (z.B. Wallis/ Valais) wird künftig hingegen ein Niederschlagsrückgang prognostiziert. In Österreich treten Trockenstandorte im pannonischen Gebiet (im Hauptwuchsgebiet 8, *Sommerwarmer Osten*), in den kontinentalen Inneralpen von Innsbruck aufwärts bis Landeck (im Hauptwuchsgebiet 1) und außerdem als *Heißbländen* in den Donauauen auf (vgl. KILIAN *et al.*, *Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs*, 1994; Radio Österreich 1, *Vom Leben der Natur*, 2006).

In den mittleren und nördlichen Breiten Europas wird ein Anstieg der Niederschläge im Winter erwartet, während im Sommer auch länger anhaltende Trockenperioden möglich sind. Extreme Wettersituationen (unter anderem Trocken- und Hitzeperioden im Sommerhalbjahr, Stürme im Winterhalbjahr, Hochwasserereignisse und Überschwemmungen) könnten in Mitteleuropa vermehrt und intensiver auftreten als bisher (vgl. IPCC, 2007).

Die höhere Wahrscheinlichkeit für extreme Niederschlagsmengen lässt sich auf die folgende Weise plausibel machen: Bei steigender Temperatur nimmt die Verdunstung in selbem Maße zu wie die Aufnahmefähigkeit der Atmosphäre für Feuchtigkeit. Die Zeitspanne zwischen Niederschlägen bleibt also im Mittel unverändert, während jedoch die Niederschlagsmenge ansteigt, und mit ihr in nicht-linearer Weise die Häufigkeit extremer Regenereignisse.

### 3.2 Auswirkungen auf Wälder

Wegen der Bedeutung des Waldes und seiner Funktionen im Rahmen einer Mehrzweckforstwirtschaft ist die Dringlichkeit gegeben, die Reaktion der Wälder auf die Klimaänderung abzuschätzen und mögliche Szenarien zu analysieren. Kritisch ist die Situation jener Bestände, die in den letzten Jahrzehnten oftmals ohne sorgfältige Berücksichtigung der Standortverhältnisse begründet wurden (vgl. GLATZEL, *Leben mit dem Wald: Österreichs Wälder im Wechsel der Zeiten*, 1994; LEXER 2000; LEXER et al., *The Sensitivity of the Austrian Forests to Scenarios of Climatic Change. A large-scale Risk Assessment*. 2001; LEXER et al. 2002). Insbesondere die Fichte [*Picea abies* (L.) KARST.] liefert wegen hoher Zuwachsleistung und hohem Stammholzprozent im Vergleich zu anderen Baumarten mehr nutzbare Dendromasse bei höherem durchschnittlichem Wert (vgl. von LÜPKE & SPELLMANN 1997; HOCHBICHLER, Vorlesung, 2008a). Darin liegen einige wichtige Gründe für den flächigen Anbau dieser Baumart in der jüngsten Vergangenheit.

Je nach Standort (*Hochlagen, Bergwälder, Tieflagen*) werden Gebiete vom Klimawandel unterschiedlich beeinflusst. Standortswidrige Waldtypen, z.B. viele sekundäre Fichtenbestände, sind auf Trockenstress und in weiterer Folge auf Insekten- und Fichtenborkenkäferkalamitäten stärker anfällig als Laubmischwaldbestände. Standorte guter Bonität könnten an Produktivität einbüßen, wenn sich die Niederschläge innerhalb der Vegetationsperiode verringern.

Wo jedoch die Begründung von Fichtenbeständen in waldbaulicher Hinsicht auch künftig *möglich* sein wird, könnten kleinflächige Nutzungseinheiten bis hin zu Dauerwaldstrukturen von Vorteil für die Bewirtschaftung sein. Die Abbildung 1 zeigt jene Regionen, in denen die Fichte voraussichtlich verhältnismäßig hohem Stress ausgesetzt sein wird (vgl. NIEDERMAIR et al., Klimastudie, 2007). Die Tabelle 1 fasst einige potentielle Auswirkungen des Klimawandels auf die Umwelt und auf Waldökosysteme zusammen (vgl. von LÜPKE 2004a).



## Fichte: Veränderung von Stress im Klimawandel

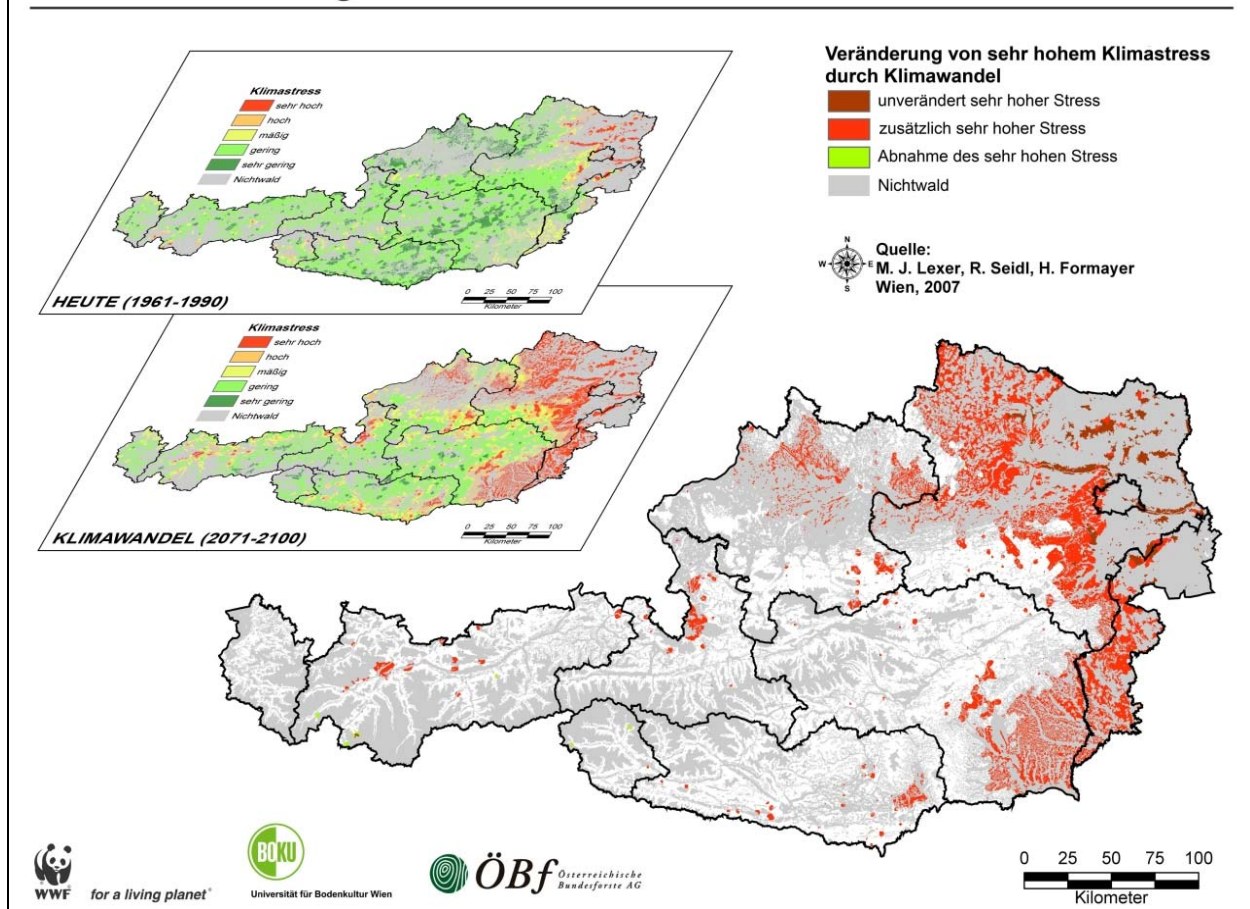


Abb. 1: Veränderung klimatisch bedingter Stressfaktoren für die Fichte (Quelle: NIEDERMAIR et al., Klimastudie, 2007).

Tab. 1: Potentielle Einflüsse des Klimawandels auf die Umwelt und auf Waldökosysteme (vgl. von LÜPKE 2004a).

Richtung einer möglichen Klimaveränderung	Potentielle Auswirkungen auf die Umwelt	Potentielle Auswirkungen auf Waldbestände
wärmer und trockener (kontinentaler)	<p>Wasserstress Wassermangel</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zunahme von Extremereignissen</li> <li>- vermehrtes Auftreten von Stürmen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Einzelbaum-Mortalität bis hin zu großflächigen Störungen</li> <li>- höhere Temperatur im Bestandesinneren</li> <li>- erhöhte Wahrscheinlichkeit für Waldbrände</li> <li>- Windwürfe und Schneebrüche</li> <li>- Insektenkalamitäten</li> <li>- Borkenkäferkalamitäten</li> <li>→ Beschleunigung des Stoffumsatzes</li> <li>- Verzögerung des Baumwachstums</li> </ul>
kühler und feuchter (atlantischer)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ideales Milieu für Pilzsporen</li> <li>effiziente Ausbreitung von Pilzen</li> <li>- ombrogen bedingte (natürliche) Bodenversauerungsschübe</li> <li>- Koinzidenz mit Sturmereignissen (insbesondere im Winterhalbjahr)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Einzelbaum-Mortalität bis hin zu großflächigen Störungen</li> <li>- offene, durchfeuchtete Böden im Winter</li> <li>- Labilisierung der Waldbestände</li> <li>- größeres Windwurfisiko bei hohen Vorräten</li> <li>- in den Folgejahren nach Sturmereignis häufiges Auftreten von Borkenkäferkalamitäten</li> <li>→ beschleunigte Mineralisierung organischer Substanz (hoher Stoffumsatz)</li> </ul>
Zunahme der Stickstoff-Verbindungen durch Luftschadstoffe	<ul style="list-style-type: none"> <li>- erhöhte Versorgung mit Stickstoff</li> <li>- Aggradation, Nährstoffimbalanzen</li> <li>- vorwiegend anthropogen bedingte Bodenversauerung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- erhöhtes Wachstum</li> <li>- unzureichende Frosthärte</li> <li>- erhöhte Prädisposition für Insektenbefall</li> <li>- attraktive Bedingungen für Pathogene</li> <li>- günstige Voraussetzungen für etablierte Fraßgemeinschaften und Generalisten</li> <li>- steigendes Infektionspotential für (Hemi-)Parasiten und Spezialisten</li> </ul>
Anstieg der CO <sub>2</sub> -Konzentration in der Luft	- Verlängerung der Vegetationsperiode, Wachstumssteigerung	bislang nicht einschätzbar

### 3.3 Baumartenwahl und Risikostreuung

Verschiedentlich wird der Begriff *Risikominimierung* in Zusammenhang mit Forstwirtschaft im Klimawandel gebraucht (vgl. BÜRGI & BRANG 2001; FRANK, Vortrag, 2004a; LEITGEB & ENGLISCH, *BFW-Praxisinformation*, 2006; [http://www.waldwissen.net/themen/waldoekologie/boden\\_standortkunde/bfw\\_standort\\_klima\\_2006\\_DE?start=0](http://www.waldwissen.net/themen/waldoekologie/boden_standortkunde/bfw_standort_klima_2006_DE?start=0), 25. 08. 2008), wobei der Anbau einiger Baumarten (insbesondere der Fichte) mit höheren Risiken behaftet sein soll als jener anderer Arten. Präziser wären hier allerdings die Termini *Risiko-Optimierung*, *Risikominderung* bzw. *Risikostreuung* (vgl. LEXER 1999; von LÜPKE 2004a; von LÜPKE 2004b).

Die Forstwissenschaft befasst sich vermehrt mit dem *Risikomanagement* und der *Modellierung* von Sturmereignissen (vgl. GARDINER & QUINE 2000 in Großbritannien; BLENNOW & SALLNÄS 2004 in Schweden). Bezüglich Sturmschäden in Fichtenkulturen ist anzumerken, dass eine Fichten-Buchenmischung hinsichtlich Risikominderung kritisch zu hinterfragen ist (vgl. von LÜPKE & SPELLMANN 1997). Fichten-Buchen- oder Buchen-Fichtenmischbestände unterscheiden sich in Bezug auf das Risiko, einen Sturmschaden zu erleiden, nicht signifikant von Fichtenreinbeständen (vgl. KÖNIG, *Sturmgefährdung von Beständen im Altersklassenwald*, 1995).

Von LÜPKE und SPELLMANN (1997) folgern daraus, dass die oftmals genannte Sturmschadensminderung in Mischbeständen aus dem geringeren Fichtenanteil hervorgeht. Dafür sprechen Aufzeichnungen, dass einzelne Fichten in Buchen-Fichtenmischbeständen häufiger geworfen werden, da sie vorwüchsig sind und aus dem Kronendach herausragen, dem Sturm also stärker exponiert sind als die Buchen (vgl. <http://webdoc.sub.gwdg.de/diss/2004/doebbler/index.html>, 15. 10. 2004; DÖBBELER, Dissertation, 2004). Die Sturmkraft wirkt bei Fichte wegen dem relativ längeren Hebelarm mit größerem Moment ein.

Zur Senkung des Betriebsrisikos wird daher empfohlen, die Fichte kleinflächig in Buchenbestände einzumischen, damit das Bestandesgefüge bei ihrem vorzeitigen Ausfall durch Sturmwurf oder auch nach regulärer Nutzung nicht zu stark aufgelockert wird. Auf wechselfeuchten bis nassen Standorten wird prinzipiell eine Umwandlung in besser geeignete Baumarten vorgeschlagen (vgl. DÖBBELER, Dissertation, 2004): Die Verlängerung von Nässephasen im Winterhalbjahr, in denen Ober- und Unterboden gut durchfeuchtet sind, vergrößert das Zeitfenster für Sturmkalamitäten, vor allem auf *tiefgründigen Standorten* sowie auf großflächigen, zu *Gleichförmigkeit* neigenden Vegetationseinheiten, nicht nur in *kollinen* und *submontanen*, sondern auch in *hochmontanen Fichtenwäldern*. *Naturnahe subalpine Fichtenwälder* weisen hingegen kleinräumige Rottenstruktur auf (vgl. MAYER & OTT, *Gebirgswaldbau - Schutzwaldpflege: Ein waldbaulicher Beitrag zur Landschaftsökologie und zum Umweltschutz*, 1991).

Vegetationseinheiten kalkhaltiger Böden verfügen über ein charakteristisches Standortsmosaik, das mit besonders hoher Artenvielfalt auf kleiner Fläche einhergehen kann. *Klimatische Umweltfaktoren* üben einen großen Einfluss auf den *Phänotyp* (die *Erscheinungsform* eines Baumes bezogen auf ein einzelnes Merkmal oder auf die Gesamtheit aller sichtbaren Einzelmerkmale) bzw. die *Tragfähigkeit von Baumpopulationen* aus. *Edaphische Umweltfaktoren* (Bodeneigenschaften) können wiederum die *Textur* bzw. die *Struktur* und die *Baumartenzusammensetzung* von

Waldbeständen unabhängig von Managementeingriffen stark prägen (vgl. GEBUREK *et al.*, *Kleines forstgenetisches Glossarium*, 1994; GEBUREK, Vorlesung, 2004).

In gleichförmigen (oftmals *silikatischen*) Vegetationseinheiten weitläufiger Gebiete sollten mosaikartige Strukturen mittels Loch- oder Femelhieben im Sinne einer Stabilisierung der Waldbestände gefördert werden (vgl. FRANK, Vorlesung, 2004b).

Als Beispiel zur Reduktion betrieblicher Risiken empfiehlt der Forstdienst in St. Gallen (Schweiz) die gezielte Umwandlung nicht standortstauglicher, hiebsreifer Fichtenbestände in standortsgerechte Bestockungen mit ausreichendem Laubholzanteil: Das Holz werde mit Vorteil geerntet, bevor der nächste Sturm und die damit einhergehende Fichtenborkenkäferkalamität den Wald zerstören und damit den Holzwert beträchtlich vermindern kann. Das Absenken der Vorräte zum Aufbau junger, vitaler Betriebsklassen könne eine zweckmäßige und rationale Maßnahme darstellen (vgl. KANTONSFORSTAMT ST. GALLEN, *Strategiepapier*, 2008).

Die forstliche Produktion ist also gegenüber Extremereignissen ausgesprochen stark gefährdet, insbesondere dann, wenn die Vorratshaltung im Betrieb über viele Jahrzehnte hinweg hoch ist (siehe Tabelle 1). BÜRGI & BRANG (2001) befassen sich detailliert mit dem Ausmaß und den Konsequenzen einer Senkung der Vorräte in den Schweizer Wäldern: Im *Dauerwald tiefer Lagen* sollten die Vorräte 250Vfm pro ha nicht überschreiten. „Für Wälder, die im klassischen Femelschlagbetrieb bewirtschaftet werden, sind Durchschnittsvorräte von 250 bis 350Vfm pro ha anzustreben“ (BÜRGI & BRANG 2001). Solche Überlegungen stehen übrigens in Widerspruch zu der in den 1990er Jahren empfohlenen Maßnahme, den Holzvorrat mittels *geeigneter Bewirtschaftung* zu erhöhen, um zur Verringerung des Treibhauseffektes beizutragen (vgl. FISCHLIN & BUGMANN 1994). Mittlerweile wird aber die Nachhaltigkeit der Schutzfunktion oft stärker gewichtet als die Kohlenstoffspeicherung.

In den Schweizer Wäldern stockt derzeit ein Vorrat von mindestens 370Vfm pro ha. Wenn die Zielsetzung eingehalten werden soll, einen weiteren Anstieg der Vorräte zu verzögern, müssten pro ha und Jahr 9,2Vfm genutzt werden (vgl. BRASSEL & BRÄNDLI, *Landesforstinventar*, 1999; <http://www.lfi.ch/>, 08. 04. 2009). Dies entspricht beinahe dem jährlichen schweizerischen Inlandsverbrauch bzw. einer Menge von 7,5 Mio. Vfm pro Jahr. Sollte parallel hierzu der gegenwärtige Vorrat innerhalb von 20 Jahren auf durchschnittlich 300Vfm pro ha herabgesetzt werden, würde dies eine jährliche Nutzung von 10 Mio. fm voraussetzen (vgl. BÜRGI & BRANG 2001).

In österreichischen Wäldern stockt im Schnitt ein Vorrat von 325 Vfm pro ha (vgl. ÖSTERREICHISCHE WALDINVENTUR 2000/ 2002). In der Schweiz sind die Stehendvorräte also noch etwas höher als in Österreich. Die negativen Auswirkungen der Vorratsstruktur und Vorratshaltung auf die Stabilität der Wälder treten aber sowohl in Österreich, der Schweiz als auch allgemein in Mitteleuropa in ähnlichem Umfang auf.

Die Kapazität der schweizerischen Holzindustrie umfasst lediglich 4 Mio. fm pro Jahr. Um einen Einschlag von 7 Mio. fm pro Jahr abzusetzen, ist die Schweiz auf den Export von Rundholz angewiesen. Es müssten demnach zusätzliche (d.h. außer-europäische) Absatzmärkte erschlossen werden, um die logistischen Herausforderungen zu bewältigen. Von der Holzmenge, die *Lothar* und *Martin* geworfen

haben, wurden dem Markt um die 10 Mio. fm zugeführt. Dies hat erheblichen Preisverfall ausgelöst (vgl. BÜRGI & BRANG 2001).

Eine hohe Vorratshaltung ist also im Sinne einer Risikostreuung unvorteilhaft, der empfehlenswerte Abbau der Vorräte ist vom Markt jedoch leider nicht leicht zu verkraften (vgl. LEDERMANN & NEUMANN, *BFW-Praxisinformation*, 2009).

Mit Hilfe eines erweiterten Baumartenspektrums können unter Umständen verschiedenartige Risiken gestreut werden: Wegen häufigerer Insektenkalamitäten (wie etwa Massenwechsel durch Schwammspinner, *Lymantria dispar* L. Lep. *Lymantriidae*) bei erhöhter Lufttemperatur in Eichenbeständen weisen SCHWENKE (*Die Forstschädlinge Europas*, 1978) und WULF & BERENDES in ihrer *Mitteilung aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin* (1993) darauf hin, dass eine Anreicherung dieser Bestände mit schattentoleranten Laubhölzern als *Mischung* oder *Unterschicht* das Waldinnenklima positiv beeinflusst. Eine vollständige Erwärmung des Bestandes wird damit zwar nicht verhindert, zumindest aber zeitlich verzögert: Der Effekt auf das Innenklima ist durchaus günstig (vgl. MITSCHERLICH, *Wald, Wachstum und Umwelt. Waldklima und Wasserhaushalt*, 1971).

Eine solche Maßnahme würde gleichzeitig die Entstehungswahrscheinlichkeit für Waldbrände reduzieren. Aus vegetationskundlicher Sicht ist erhöhte Wahrscheinlichkeit für Waldbrände auf das vermehrte Vorkommen *xeromorpher Humustypen* (unter anderem *Trockenmoder*) zurückzuführen. In Niederösterreich sind diese Humustypen natürlicherweise z.B. im Kalkstein-Wienerwald (Bezirke Mödling und Baden) ausgeprägt (vgl. KARRER, Vorlesung, 2001): Es handelt sich um *primäre*, teilweise endemische *Schwarzkiefernbestände* (*Euphorbio saxatilis-Pinetum nigrae*), die mit *Rendzinen* verzahnt sind: Auf reinem Hauptdolomit ist die Schwarzkiefer absolut konkurrenzkräftig (vgl. FRANK, Vorlesung, 2004b).

ESSL *et al.* (*Rote Liste gefährdeter Biotoptypen Österreichs. Wälder, Forste, Vorwälder*, 2002) klassifizieren die erwähnten natürlichen Vorkommen der Schwarzkiefer (*Pinus nigra* J. F. ARNOLD) als *Schwarzföhrenwald des Alpenostrandes* (siehe Internationale Weltnaturschutzunion IUCN): Die Republik Österreich trägt im Rahmen des Schutzgebietsnetzes *Natura 2000* explizit Hauptverantwortung für den Erhalt dieses Biotoptyps, der lokal durch Materialabbau (*Steinbrüche*) und Aggradation (*Ersatz durch sekundäre Waldbestände* und *Unterwanderung durch wüchsigeren Arten*) gefährdet ist (vgl. ESSL *et al.*, *Rote Liste gefährdeter Biotoptypen Österreichs. Wälder, Forste, Vorwälder*, 2002). Im Schutzgebietsnetz *Natura 2000* scheinen *submediterrane Kiefernwälder mit endemischen Schwarzkiefern* als *prioritärer Lebensraum* (FFH-Lebensraumtyp) unter der Nummer 9530 auf (vgl. <http://bfw.ac.at/050/pdf/biodiversitaet.pdf>, 07. 03. 2009).

Die Baumartenwahl kann selbstverständlich den *Humustyp* erheblich beeinflussen (*plant-soil-feedback*), was sich wiederum auf die Waldbrandgefahr im Bestand auswirkt, z.B. in den historischen Schwarzkiefernforsten am niederösterreichischen Steinfeld (Bezirk Neunkirchen), die in der Regierungszeit Maria Theresias (1740-1780) begründet wurden (Biotoptyp *Schwarzföhrenforst*, vgl. ESSL *et al.*, *Rote Liste gefährdeter Biotoptypen Österreichs. Wälder, Forste, Vorwälder*, 2002).

## 3.4 Beispiele für Empfehlungen zur Waldbewirtschaftung im Klimawandel

### 3.4.1 Allgemeine Überlegungen in Mitteleuropa

Wegen langer Produktionszeiträume in der Forstwirtschaft ist die Herausforderung besonders groß, in angemessener und effizienter Weise auf den Klimawandel zu reagieren (vgl. LEXER & SEIDL 2007). Als Folge der Klimaänderung könnten *Sturmschäden*, *Borkenkäferkalamitäten* und *Trockenperioden* vermehrt *Zwangsnutzungen* (vgl. BÜRGI & BRANG 2001) bzw. *zufällige Nutzungen* (vgl. HANKE, Tagung, 2003) zur Folge haben.

Bei Neubegründungen sind prinzipiell Mischwälder aus Baumarten, „die sich in ihren ökologischen Eigenschaften deutlich unterscheiden und an verschiedene Störungsarten angepasst sind“, zu bevorzugen (von LÜPKE 2004b); die Orientierung an *potentiell* laubholzdominierter *natürlicher Vegetation* (PNV) sei aber nicht unbedingt der Garant für optimale Anpassungsfähigkeit im Klimawandel.

Die Tabelle 2 bietet einen Überblick über die entsprechende Beurteilung von heimischen und fremdländischen Baumarten. Das Anpassungsvermögen wird als *hoch* eingestuft, wenn die Baumarten den Großteil der folgenden Eigenschaften aufweisen: eine breite ökologische Amplitude, einen kurzen Produktionszeitraum, eine schnelle Generationsfolge, eine hohe genetische Vielfalt, die Fähigkeit, größere Freiflächen rasch zu besiedeln (Pioniercharakter) und eine hohe Regenerierbarkeit nach Verletzungen (vgl. SCHUSTER, Vortrag, 2008a).

Es handelt sich meist um Baumarten mit hoher Ausschlagsfähigkeit: Hainbuche, Esche, Bergahorn, Edelkastanie (*Castanea sativa* MILL.), Eichen-, Linden- und Erlenarten. Forstwirtschaftlich werden diese Baumarten gezielt im Mittel- und Niederwald eingesetzt. Bei periodischer Überflutung kann die Sonderbetriebsform *Energieholzanbau* mit Weiden und Pappeln das Risiko ausfallender Erträge im Vergleich zu konventioneller Landnutzung streuen (vgl. SCHUSTER, Vortrag, 2008b).

Einige von Natur aus seltene Baumarten (z.B. die Wurzelbrut bildende *Elsbeere*) werden bei hochwaldartiger Bewirtschaftung zurückgedrängt und im Niederwald gefördert (vgl. KUTSCHERA & LICHTENEGGER, *Wurzelatlas mitteleuropäischer Waldbäume und Sträucher*, 2002). Die *Eberesche* (*Sorbus aucuparia* L.) verfügt im Prinzip über eine recht *gute* Anpassungseignung und ist daher *stabil*; sie wird aber nicht als Wirtschaftsbaumart betrachtet. Die *Lärche*, die *Trauben-* und die *Stieleiche* sind aus ökologischer Sicht *langlebige Pioniere* (*long life pioneers*) sowie *permanent schattenunverträgliche Lichtholzarten*. Lärchen sind zudem *r-Strategen* (vgl. GRIME, *Plants strategies and vegetation processes*, 1979) und als *Feuerbaumarten* typischerweise mit Steppen und borealen Wäldern verzahnt (vgl. GLATZEL, Vorlesung, 2005).

Tab. 2: Beurteilung der Anpassungseignung diverser heimischer und fremdländischer Baumarten (vgl. von LÜPKE 2004a).

Beurteilung der Anpassungseignung	Baumarten
<i>gut</i> (stabil)	Spitzahorn ( <i>Acer platanoides</i> LINNE) Hainbuche ( <i>Carpinus betulus</i> LINNE) Elsbeere ( <i>Sorbus torminalis</i> CRANTZ) Schwarzerle ( <i>Alnus glutinosa</i> GAERTNER) Hängebirke ( <i>Betula pendula</i> ROTH) Zitterpappel ( <i>Populus tremula</i> LINNE) Europäische Lärche ( <i>Larix decidua</i> MILLER) Roteiche ( <i>Quercus rubra</i> LINNE) Douglasie, <i>Pseudotsuga menziesii</i> (MIRBEL) FRANCO
<i>mittel</i>	Traubeneiche ( <i>Quercus petraea</i> LIEBLEIN) Stieleiche ( <i>Quercus robur</i> LINNE) Esche ( <i>Fraxinus excelsior</i> LINNE) Bergahorn ( <i>Acer pseudoplatanus</i> LINNE) Winterlinde ( <i>Tilia cordata</i> MILLER)
<i>schlecht</i> (labil)	Rotbuche ( <i>Fagus sylvatica</i> LINNE) Gemeine Fichte, <i>Picea abies</i> (LINNE) KARSTEN Weißtanne ( <i>Abies alba</i> MILLER)

Lindenarten sind in der Lage, sich ziemlich schnell zu regenerieren. Sie besiedeln instabile Vegetationseinheiten wie Schluchtwälder und Blockschuttfuren. Die Lindenkronen kennzeichnen sympodiales Wachstum in Kombination mit monochasialer Wuchsform. In botanischer Hinsicht werden *Linden*, *Ulmen*, *Rotbuche* und *Hainbuche* dem Kronenarchitekturmodell TROLL (siehe Abbildung 2) zugeordnet. Dem Architekturmodell RAUH (siehe Abbildung 3) werden die Laubbäume *Berg- und Spitzahorn*, *Elsbeere*, *Wildkirsche* (*Prunus avium* LINNE), *Schwarzerle*, *Hängebirke*, *Zitterpappel*, *Edelkastanie*, *Eichen* und *Esche* zugewiesen (vgl. BARTELS, *Gehölzkunde*, 1993).

Die beiden erwähnten Architekturmodelle TROLL und RAUH vereinen somit den Großteil wirtschaftlich relevanter, in Mitteleuropa anzutreffenden Laubbaumarten (vgl. TROLL, *Vergleichende Morphologie der höheren Pflanzen*, 1937; RAUH 1939; BARTELS, *Gehölzkunde*, 1993).

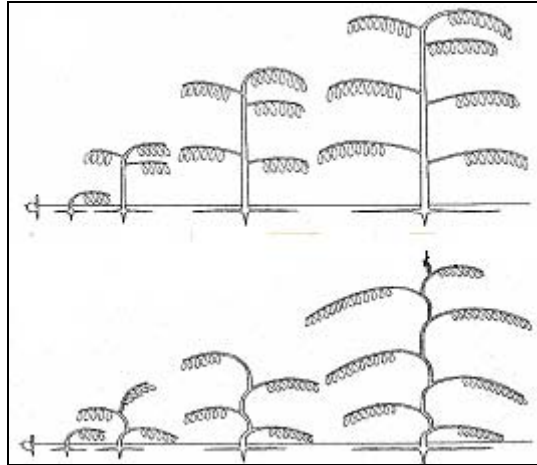


Abb. 2: Mögliche Erscheinungsformen des Architekturmodells TROLL für *Linden*, *Ulmen*, *Rotbuche* und *Hainbuche* (sympodialer Bauplan oben; monopodialer Bauplan unten; Quelle: vgl. BARTELS, *Gehölzkunde*, 1993).

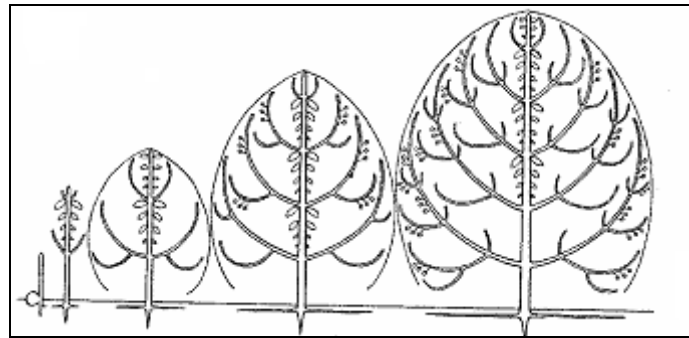


Abb. 3: Erscheinungsform des Architekturmodells RAUH für *Berg- und Spitzahorn*, *Eberesche*, *Elsbeere*, *Vogelkirsche*, *Schwarzerle*, *Hängebirke*, *Zitterpappel*, *Edelkastanie*, *Eichen* sowie *Esche* (Quelle: vgl. BARTELS, *Gehölzkunde*, 1993).

Waldumbaumaßnahmen, z.B. *Bestandesumwandlungen nach Sturmereignissen*, könnten als unmittelbarer Ausgangspunkt dienen, dem Klimawandel mit einer diversifizierten Palette an Baumarten im Betriebszieltyp zu begegnen (vgl. HOCHBICHLER & BELLOS, *Windwurfschadflächen bieten Chancen für den Waldbau*, 2007). Da auf dieser Ebene jede Entscheidung mit *Unsicherheit* verbunden ist, wird versucht, das Betriebsrisiko zu *streuen*: Die Begründung von Laubmischwaldbeständen kann den klimabedingten Ausfall einer Hauptbaumart kompensieren. Eine solche Option ist gegenüber einem Reinbestand jedenfalls solider, weil die Wahrscheinlichkeit zunimmt, dass nach Einwirken potentieller Schadereignisse ein Teil der Bestockung in der verbleibenden Umtriebszeit dennoch Sortimente befriedigender Qualität produziert.

Neben dem Festlegen der Baumartenanteile erntefähiger Sortimente kann der hierfür eingesetzte betriebsspezifisch variierende zeitliche und monetäre Aufwand Einfluss auf das Risiko im Verlauf des Produktionszeitraums nehmen (unter anderem *natürliche* oder *Kunstverjüngung*, *Schutz des Jungwaldes*, *Mischwuchsregulierung*; vgl. HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE, Abschlussbericht, 2005).



Je nach Bestandesentwicklungsphase und Eingriffsmodus variiert die Stabilität: Die *Stabilität des Bestandeskollektivs* kann sich von der *Stabilität einzelner Individuen im selben Bestand* grundlegend unterscheiden. In Hinblick auf die Windwurfgefahr labilisieren Durchforstungen zunächst den Gesamtbestand durch Aufräumung des Kronendaches und Erhöhung der Windexposition des Einzelbaumes, wobei sich die Bestände in jüngerem Alter durchaus wieder innerhalb weniger Jahre stabilisieren. Auch Eingriffe zur Einleitung der Verjüngung lockern das Bestandesgefüge auf und erhöhen somit das Windwurfrisiko (vgl. DÖBBELER, Dissertation, 2004).

Die Phase der Instabilität dauert meistens zwei bis zehn Jahre nach dem Durchforstungseingriff an. Auf *Schneebruch* anfällig sind insbesondere 30- bis 50-jährige Fichtenbestände, deren H/D-Wert über 80 liegt (vgl. HOCHBICHLER, Vortrag, 2008b; <http://bfw.ac.at/rz/bfwcms.web?dok=7365>, 29. 05. 2008). Gegenüber *Windwurf* ist ein Bestandeskollektiv ab einer Oberhöhe von über 23m stark gefährdet; Einzelbäume sind ab einer Oberhöhe von 25m exponiert. Bestandesstabilität ist wichtiger als Einzelbaumstabilität. Das Betriebsrisiko erhöht sich hierbei beachtlich, wenn der Bestockungsgrad auf 0,6 bis 0,5 abgesenkt wird (vgl. RÖHRIG *et al.*, *Waldbau auf ökologischer Grundlage*, 2006).

Zielsetzungen von Durchforstungseingriffen sind unter anderem die Erziehung standortsgerechter *und* leistungsfähiger Waldbestände. Eine Mischungsregelung kann dazu beitragen, das Bestockungsziel zu sichern. Mittels Durchforstungseingriffen wird der Zuwachs auf die vitalsten Bäume des Bestandes (Wertträger) fokussiert: Konkurrenzkräftige Bäume mit leistungsfähigen Kronen erbringen die höchsten Zuwächse. Mit Hilfe konsequenter Pflege- und Durchforstungseingriffe können demnach Zuwächse gesteigert und Produktionszeiträume abgekürzt werden. Nach dem Beginn der Lichtwuchsdurchforstung soll bei angehendem Laubwertholz „ein erneuter Kronenschluss durch laufende Kronenpflege bis zur Endnutzung verhindert werden“ (RIEDER 1998). Qualitätsfördernde, die Wertschöpfung steigernde Pflegemaßnahmen (z.B. Astung), werden gezielt an den vitalsten Baumindividuen vorgenommen (vgl. <http://bfw.ac.at/rz/bfwcms.web?dok=7365>, 29. 05. 2008; HOCHBICHLER, Vortrag, 2008b; SEIDL, pers. Mitteilung, 2008; STAMPFER *et al.*, Vorlesung, 2008).

Sturmschäden treten entweder als *Windwurf* oder als *Windbruch* in Erscheinung. Ist der Waldboden gefroren, entwickeln Baumkollektive bei angreifenden Stürmen ein gewisses Widerstandspotential, das Windbruchschäden (*Wipfelbrüche*) auszulösen vermag. Ist der Waldboden nicht durchgehend gefroren, haben diese Baumkollektive den auftretenden Sturmereignissen weniger Stabilität entgegenzusetzen; in diesem Fall überwiegen *Windwurfschäden* (vgl. SCHUME, Vorlesung, 2008).

Diskontinuitäten der Stabilität auf Einzelbaum- wie auf Bestandesebene bzw. schwankende Betriebsrisiken im Verlauf der Umtriebszeit sind für die forstwirtschaftliche Produktion systemimmanent. Im Klimawandel könnte sich das Zeitfenster für Produktionsrisiken vergrößern.

### 3.4.2 Regionalspezifische Empfehlungen

In den Ländern *Bayern* (vgl. Waldzustandsbericht, Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten, 2006) und *Rheinland-Pfalz* (vgl. HANKE, Tagung, 2003) wird ein *naturnaher Waldaufbau aus standortsgemäßen Baumarten* (Waldgesetz für Bayern) bzw. eine *naturnahe Waldbewirtschaftung* (Rheinland-Pfalz) empfohlen. In Bayern wird zudem auf die Unterstützung der Waldbesitzer durch die Forstbehörde Wert gelegt. KÖLLING (2007) stellt die Baumarteneignung der wichtigsten Wirtschaftsbaumarten anhand von *Klimahüllen* dar. Die Klimahüllenanalyse soll die Waldbesitzer motivieren, standortsgerechte Mischbestände zu begründen, um das Betriebsrisiko zu streuen. BOLTE *et al.* (2008) in Eberswalde (Brandenburg) bemängeln an der gegenwärtigen Klimahüllenanalyse allerdings, dass die *Bodenart*, die in diese Beurteilung nicht einfließt, einen erheblichen Effekt auf die Baumarteneignung haben kann.

In Bayern wird außerdem empfohlen, bei der Wiederbewaldung von Kahlflächen verstärkt Edellaubbäume und Eichenarten zu integrieren. Es sollten auch Pionierbaumarten (*Birke, Zitterpappel, Eberesche* und *Weißkiefer*) einbezogen werden. Mit Hilfe *kleinflächiger Mischungen* kann die Robustheit der Wälder *erhöht* werden (vgl. [http://www.fnrserver.de/cms35/fileadmin/allgemein/pdf/veranstaltungen/waldstrategie/10\\_12\\_2008/6-KNOKE.pdf](http://www.fnrserver.de/cms35/fileadmin/allgemein/pdf/veranstaltungen/waldstrategie/10_12_2008/6-KNOKE.pdf), 10. 12. 2008).

*Schirmschläge* sollten durch unregelmäßige Auflichtungen ersetzt werden: Hierfür bieten sich *Loch-* und *Femelhiebe* an (vgl. DÖBBELER, Dissertation, 2004; BOLTE 2005). Umtriebszeiten sollen verkürzt und Pflegeprogramme konsequent durchgeführt werden. Gastbaumarten sollten eingemischt werden. Laubholz ist stabiler als Fichte. Fichten in Mischung mit Laubholz sind deutlich stabiler als Fichtenreinbestände.

Im Sinne einer rechtzeitigen Pflege sollten Laubbaumarten im Bestand erhalten und ihre Stabilität verbessert werden. In dichten Nadelwaldbeständen sollte die Wasser-*verfügbarkeit* mittels Durchforstungen erhöht und die Interzeption herabgesetzt werden. Es sollten strukturreiche, ungleichaltrige und mehrschichtige Mischbestände gefördert werden. Um optimalen Waldschutz zu gewährleisten, sollte das Monitoring verbessert und phytosanitäre Maßnahmen sollten frühzeitig getroffen werden.

Wenn ein termingerechtes Aufarbeiten von Fichtenschadholz aus logistischen Gründen (z.B. wegen ungünstiger Bringungslage) nicht möglich ist, sollten beschädigte Stämme, die noch Kontakt zum Wurzelstock haben, gänzlich vom Stock getrennt werden: Wird die Versorgung solcher Fichtenstämme mit Bodenwasser rechtzeitig unterbunden, sinken die Terpen-Emissionen und die Attraktivität des Materials als Brutstätte für Fichtenborkenkäfer wird auf umweltschonende Weise (*technisch-mechanisch*) eingedämmt (vgl. WEGENSTEINER *et al.*, Vorlesung, 2003).

Nadelwälder könnten vorzeitig verjüngt werden. Um die Vorbereitung auf Schadensfälle zu optimieren, sollten Kooperationen ausgebaut werden: Die Organisation der Logistik spielt diesbezüglich eine große Rolle. Die Holzernte soll bodenschonend erfolgen und die mechanische Belastung des Waldbodens soll auf ein Minimum reduziert werden. Vorgänge in der Biozönose sollten richtig analysiert werden (z.B. Veränderungen der Populationsdynamik von Wildtieren, Verschiebungen von Verbreitungsarealen sowie Neubesiedlungen von Naturräumen durch Pflanzen- und

Tierarten (vgl. [http://www.alf-ts.bayern.de/forstwirtschaft/26790/linkurl\\_0\\_2.pdf](http://www.alf-ts.bayern.de/forstwirtschaft/26790/linkurl_0_2.pdf), 18.02. 2009).

In Rheinland-Pfalz wird auf das Faktum hingewiesen, dass auf stauwasserbeeinflussten Standorten *nur Laubbaumarten einen sicheren Stand vor Windwurf haben* (vgl. HANKE, Tagung, 2003). Unter Tagwassereinfluss schwindet aber die Konkurrenzkraft vieler Arten der „Laubbaum-Garnitur“: In *pseudovergleyten Tieflagen* sind durchwegs *Eichenarten* ko-dominant (*Eichen-Zwangsstandorte*).

In höher gelegenen Gebieten in Österreich begünstigt Pseudogley die für Bestandesstabilität förderlichen Anteile der *Weißtanne* (vgl. KILIAN *et al.*, *Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs*, 1994; SCHUME *et al.*, Proseminar, 2001; ENGLISCH, pers. Mitteilung, 2004).

Insbesondere im Nördlichen Alpenvorland in Oberösterreich wurde nach den Windwurfkalamitäten der Dekade 1990-2000 Laubholz undifferenziert aufgeforstet. Als Freilandversuch ist diese Vorgehensweise sicherlich interessant gewesen. Allerdings wurde das Ziel eines konsequenten Förderprogramms verfehlt. In Hinkunft werden die standörtlichen Gegebenheiten und Rahmenbedingungen bei staatlich geförderten Aufforstungen eingehend geprüft (vgl. HOCHBICHLER, Vorlesung, 2008a).

Der Kantonsforstdienst in St. Gallen (Schweiz) empfiehlt, die Baumartenvielfalt zu erhöhen, indem einerseits vorhandene, aber schwach vertretene Baumarten unterstützt werden. Andererseits sollte auch auf Anteile fehlender, seltener Baumarten geachtet werden. Baumarten mit breiter Standortsamplitude sind besonders interessant. Es wird explizit hervorgehoben, dass einheimische, an die zukünftigen klimatischen Bedingungen besser angepasste Baumarten gefördert bzw. mittels Aufforstung gezielt eingebracht werden sollten. Die waldbauliche Tätigkeit sollte möglichst naturnahe ausgeführt werden. Die Waldverjüngung soll natürlich erfolgen, sofern die Naturverjüngung den künftig zu erwartenden Standortsbedingungen entspricht. Schwerfruchtige Baumarten (unter anderem Kupuliferen wie Buche und Eichenarten) sollen allenfalls ergänzend mittels *Lochpflanzung* aufgeforstet werden. Mit Hilfe angepasster, standortsgemäßer Bestockung und bodenschonender Nutzung kann naturnaher Waldbau effizient in die Praxis umgesetzt werden (vgl. KANTONSFORSTAMT ST. GALLEN, *Strategiepapier*, 2008).

Baumarten sollten *einzel- bis truppweise* gemischt werden. Eine kleinflächige Mischungsart verhindert bei einem Ausfall einer Baumart die Entstehung von Blößen im Waldbestand. Die vertikale Mischung (Haupt- und Nebenbestand) ist stärker als bisher zu beachten. Dabei lässt man zu, dass sich die Konkurrenzverhältnisse langfristig verschieben; derzeit noch oft zurückbleibende Baumarten wie die Eichen können z.B. bei häufigerem Trockenstress aktuell dominanten Baumarten wie der Rotbuche ebenbürtig werden (vgl. KANTONSFORSTAMT ST. GALLEN, *Strategiepapier*, 2008).

Hierbei ist anzumerken, dass sich keineswegs alle Baumarten für eine einzel- bis truppweise Mischung eignen. Allgemein betrachtet kann lediglich eine *gruppen-* (0,04 bis 0,1ha) und *horstweise Mischung* (bis 0,3ha) empfohlen werden. „Innerhalb von Horsten ist eine trupp- bis gruppenweise Mischung von Bäumen mit ähnlichem Wuchsverhalten von Vorteil“ (HOCHBICHLER & BELLOS, *Windwurfschadflächen*

*bieten Chancen für den Waldumbau, 2007). Dauermischungen sind einfacher zu handhaben als Zeitmischungen.*

Die waldbauliche Behandlung von Mischungen hängt ab (vgl. LEIBUNDGUT, *Die Waldpflege*, 1978; *Neue Zürcher Zeitung* 2002; <http://www.seba.ethz.ch>, 31. 08. 2005):

- von der Mischungsart (*welche Baumarten sind beteiligt?*),
- von der Mischungsform (*wie sind die Arten gemischt?*) und
- vom Mischungsgrad (*Anteile der Baumarten*).

In der Schweiz (vgl. BÜRGI & BRANG 2001) wird die *Überführung vielfach gleichförmiger in strukturreichere Wälder* als Waldumbaumaßnahme empfohlen. Die jahrzehntelangen Erfahrungen mit der Überführung im *Plenterwald* (vgl. z.B. SCHÜTZ, *Sylviculture 2: La gestion des forêts irrégulières et mélangées*, 1997) stellen diesbezüglich eine große Hilfe dar. Für Empfehlungen betreffend die Überführung von Beständen auf *Laubwaldstandorten*, die außerhalb der klassischen Plenterwaldgebiete liegen, fehlten damals jedoch wesentliche Grundlagen. Die Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL Birmensdorf) hat diese Frage aufgenommen und dazu neue Versuchsflächen eingerichtet. In der Zwischenzeit liegen die ersten Ergebnisse vor (vgl. ANGST *et al.*, Schlussbericht, 2004; KOCH & BRANG, Schlussbericht, 2005).

Waldbau sollte sich allerdings nicht nur einseitig an die Klimaänderung anpassen: Andere Rahmenbedingungen, beispielsweise die *Nachfrage nach Produkten und Leistungen des Waldes* sowie die *Entwicklung von Preisen und Kosten in der Wald- und Holzwirtschaft* stellen ebenso zu berücksichtigende Aspekte dar (vgl. BÜRGI & BRANG 2001).

Derzeit widmet sich auch die Politik vermehrt den Fragen, die sich mit dem Anbau von Gastbaumarten und den Auswirkungen des Klimawandels auf die Wälder befassen. Zur Illustration sei eine Anfrage und die zugehörige Beantwortung aus dem Deutschen Bundestag angeführt (DEUTSCHER BUNDESTAG, *Drucksache 16/8596*, 2008):

„Teilt die Bundesregierung die Auffassung, dass in Deutschland als Folge des Klimawandels zukünftig verstärkt auch nicht heimische Baumarten, wie z.B. *Douglasie*, *Schwarzkiefer*, *Robinie* oder *Roteiche* im Forstbereich einzusetzen sind, und wie begründet sie diese Auffassung?“

„Die Bundesregierung ist der Auffassung, dass vielfältige, dem Standort angepasste Mischbestände zur Risikominderung bezüglich des Klimawandels beitragen. Die genannten Baumarten sollten hierbei allenfalls in Mischung mit standortheimischem Laubholz maßvoll beteiligt werden und z.B. auf einem Teil der Fläche an die Stelle von Fichte und Kiefer treten, soweit damit nicht Zielen des Natur- und Umweltschutzes entgegengewirkt wird“ (DEUTSCHER BUNDESTAG, *Drucksache 16/8596*, 2008).

Als Beispiele für exotische Baumarten in mitteleuropäischen Forsten werden häufig die Douglasie, *Pseudotsuga menziesii* (MIRB.) FRANKO, und die Roteiche (*Quercus rubra* L.) genannt. Gastbaumarten erweisen sich im Vergleich zu heimischen Arten dann als vorteilhaft, wenn artspezifische Pathogene und Schadinsekten im Idealfall (noch) nicht in den neuen Lebensraum vorgedrungen sind und vor Ort existierende Fraßgemeinschaften bzw. Pathogene (Holzfäulen) die Neophyten nicht erkennen.

Die Douglasie verfügt über ein weitläufiges Verbreitungsgebiet im westlichen Nordamerika (vgl. BARTELS, *Gehölzkunde*, 1993). Im Nördlichen Alpenvorland ist der Anbau der Douglasie aber nicht vorbehaltlos möglich: Die Douglasie stellt bestimmte Anforderungen an die Durchlüftung des Bodens. Standorte, die zu *Dichte*, *Wechsel-feuchte* und *Stauässe* neigen, werden nicht ausreichend durchwurzelt (vgl. FOERST, *Mitteilungen aus der Staatsforstverwaltung Bayerns*, 1980). Das Windwurf-risiko ist auf solchen Bestandeseinheiten besonders stark ausgeprägt. Um eine ausgewogene Ernährung mit Spurenelementen zu gewährleisten, müsste zumindest ein Teil des Wurzelraumes frei von karbonathaltigem Substrat sein. Ansonsten treten regelmäßig Mangelerscheinungen in Form von Blattvergilbungen (Kalkchlorosen) auf (vgl. KÖLLING 2008).

In Österreich ist die Douglasie auf den Standorten waldbaulich *geeignet*, wo die folgenden Faktoren zusammentreffen (vgl. JASSER, Vortrag, 2008):

- bodensaure Standortseinheiten,
- nicht zu dicht gelagerte Böden,
- für die Fichte in Zukunft zu trocken,
- Seehöhen bis 900m.

Die unteren Lagen des Mühlviertels und des Sauwaldes sowie die sauren Schotter des Weilhartsforstes, des Hausrucks und des Kobernaußerwaldes (im Wuchsgebiet 7.1, siehe Abbildung 15) bieten sich für den Douglasienanbau an, sowie jene Teile des Alpenvorlandes, in denen die Böden nicht zu dicht sind. Im Nördlichen Alpenvorland sollte die Douglasie zudem nur auf *Oberhängen* aufgeforstet werden (vgl. <http://bfw.ac.at/rz/bfwcms.web?dok=7157>, 11. 02. 2008; JASSER, Vortrag, 2008).

Misserfolge mit der Douglasie sind vorprogrammiert (vgl. JASSER, Vortrag, 2008):

- auf Kalkstandorten,
- auf feuchten Standortlagen (*Unterhängen*) wegen der Schüttegefahr,
- in Frostlagen (Douglasien sind in der Jugendphase äußerst frostempfindlich),
- auf schweren Lehmböden und ausgeprägtem Pseudogley.

Eine weitere interessante Gastbaumart mit erheblichem Potential ist die Roteiche. Bezüglich Bodenkarbonatgehalts wird die Roteiche generell als kalkunverträglich eingestuft (vgl. BARTELS, *Gehölzkunde*, 1993). Die genügsame Roteiche, die ursprünglich aus dem östlichen Nordamerika stammt, ist für oligotrophe Standorte waldbaulich

recht gut geeignet. Im Nördlichen Alpenvorland hingegen ist die Wertleistung der heimischen Stieleiche zufrieden stellend und es gibt eigentlich keinen adäquaten Ersatz für diese.

Der Anteil der Karbonatstandorte am österreichischen Wald beträgt 800.000 bis 900.000ha. Insgesamt wird etwa ein Drittel der österreichischen Waldfläche durch Karbonat beeinflusst (SPÖRK, Vorlesung, 2003). Diese Bestandeseinheiten eignen sich weder für den Anbau der Douglasie noch für die Aufforstung der Roteiche.

Die Tabelle 3 fasst die detaillierte Palette aller dargelegten waldbaulichen Empfehlungen für die Forstwirtschaft im Klimawandel zusammen.

Tab. 3: Stand des Wissens über waldbauliche Empfehlungen in Hinblick auf Klimawandel.

Empfehlungen im Rahmen einer Risikostreuung	Auswirkung auf Waldbestände und forstliche Produktion
Vorräte rechtzeitig absenken rasche Mischwaldbegründung auf Kalamitätsflächen Mischung gruppen-, horst- oder truppweise einbringen, Anteile bisher seltener Baumarten gezielt erhöhen Produktionsprogramme in die Praxis umsetzen Kronen vitaler Laubbäume regelmäßig freistellen Zuwächse fokussieren und Umtriebszeiten verkürzen Naturnähe forcieren und Strukturvielfalt erhöhen Schirmschläge durch Loch- und Femelhiebe ersetzen Bestandesgefüge weitestgehend geschlossen halten bei Bedarf Gastbaumarten kleinflächig einmischen	reduzierte Prädisposition für potentielle Sturmkalamitäten verminderte Degradation, unterdrückte Konkurrenzvegetation  diversifizierte Betriebsklassen mittels erweiterter Baumartenwahl Erzielung langfristig robuster, stabiler und vitaler Bestände kürzere, angepasste Zeiträume für die Wertholzproduktion gegen Holzfäule und andere Ausfälle robustere Z-Stämme Förderung natürlicher Antagonistenkomplexe gegen Schädlinge eher kleinräumige Bestandesaufrisse nach Sturmkalamitäten Unterschicht verzögert Massenvermehrung von Schadinsekten von Schadorganismen und Pathogenen entkoppelte Produktion

## 4. Produktionsbedingungen im Projektgebiet

### 4.1 Geographische und waldökologische Gliederung

Das Projektgebiet befindet sich im Hauptwuchsgebiet (HWG) 7 *Nördliches Alpenvorland* im Bezirk Amstetten im milderen, weniger niederschlagsreichen Ostteil (siehe Abbildung 16), dem Wuchsgebiet 7.2, in Niederösterreich (vgl. KILIAN *et al.*, *Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs*, 1994).

Standortsdaten wurden an den Waldorten *Abetzberg* (mit der häufig gebrauchten Flurbezeichnung *Heubergwald*, siehe Abbildung 17) und *Hametholz* erfasst. Diese Waldorte werden in der Abbildung 4 hervorgehoben. Die in diesen beiden Waldorten ausgewählten Bestände repräsentieren einen Teil der sekundären Fichtenwälder im Nördlichen Alpenvorland. Die Abbildung 5 zeigt ein Satellitenbild des Projektgebiets mit Umgebung.

Der Waldort *Abetzberg* liegt mit einer Seehöhe zwischen 350 und 390m in der *submontanen* Höhenstufe, der Waldort *Hametholz* befindet sich mit einer Seehöhe von 280 bis 290m am Übergang zwischen der *kollinen* und der *submontanen* Höhenstufe (vgl. KILIAN *et al.*, *Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs*, 1994). Es handelt sich hierbei um *disjunkte* Waldflächen in *Tieflagen*.

Im Ostteil des Nördlichen Alpenvorlandes (dem Wuchsgebiet 7.2) reicht die submontane Höhenstufe bis in Seehöhen von 550m. Im Wuchsgebiet 7.1, dem kühleren Westteil, erstreckt sich die submontane Höhenstufe bis zu 600m Seehöhe (vgl. KILIAN *et al.*, *Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs*, 1994).

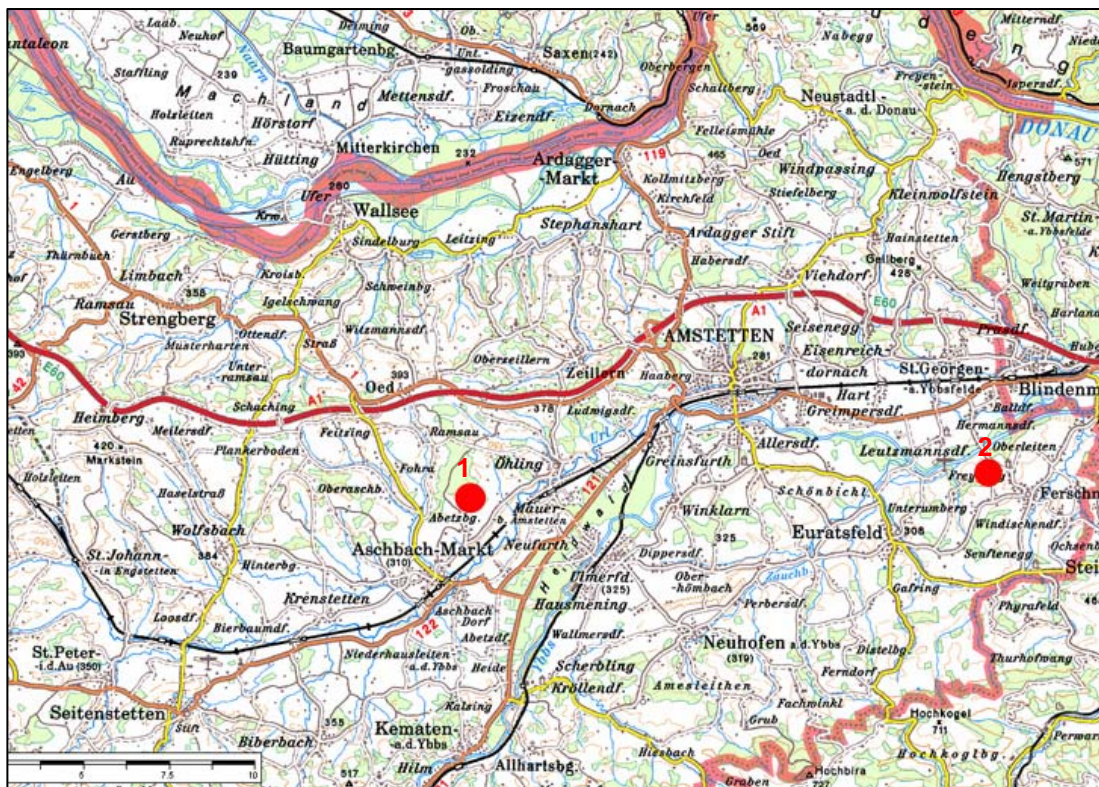


Abb. 4: Die Waldorte *Abetzberg* (Punkt 1) und *Hametholz* (Punkt 2) im Bezirk Amstetten.

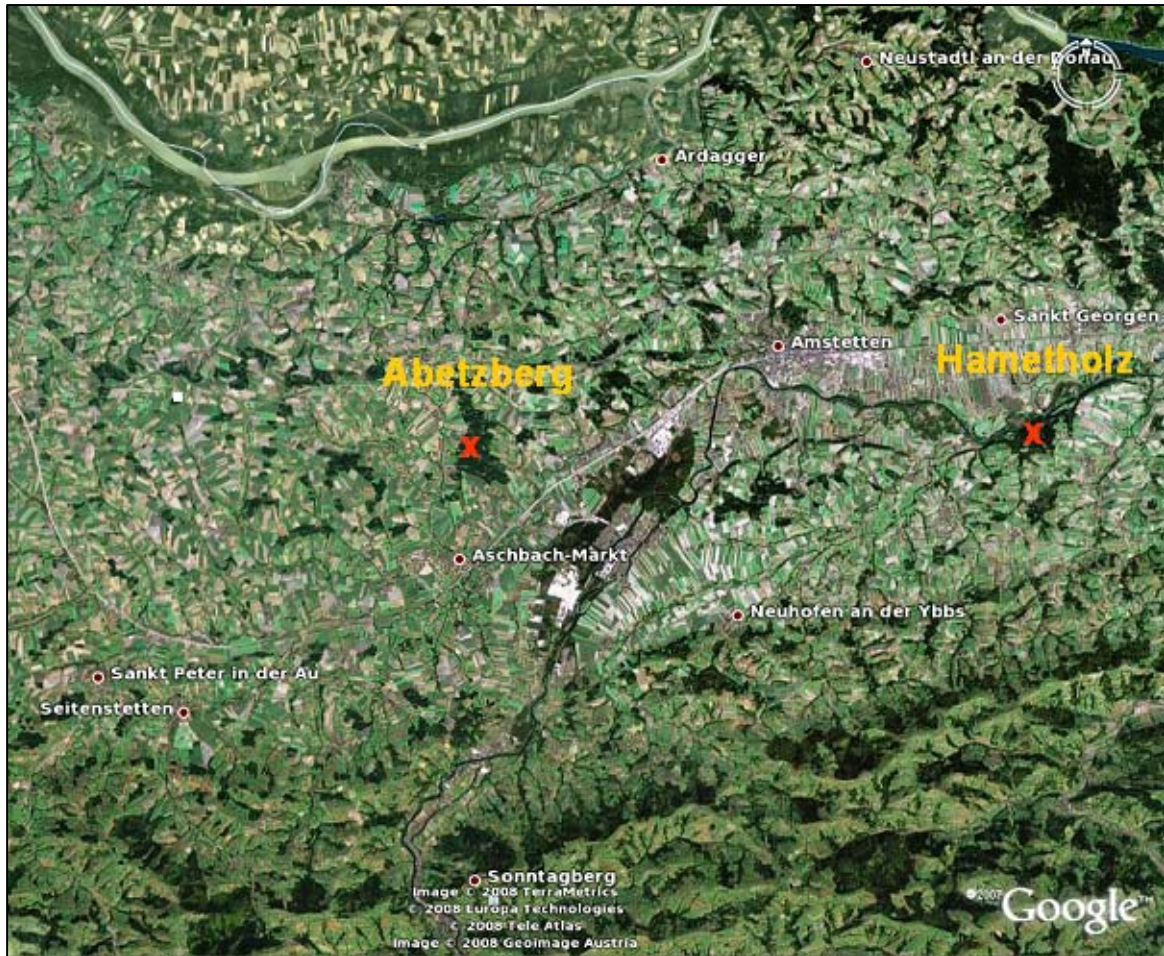


Abb. 5: Satellitenbild des Projektgebiets mit umgebenden Orten (Quelle: Google Earth 2008).



## 4.2 Klimatische Gegebenheiten

Klimatische Daten bezüglich der *Lufttemperatur* (Abbildungen 6 und 7), der *Niederschläge* (Abbildungen 8 und 9), der *Sonnenscheindauer* und *Nebelhäufigkeit* (Abbildungen 10 und 11), sowie der *Schneelage* (Abbildungen 12 und 13) werden für die Klimanormalperiode 1961-1990 am Beispiel der beiden Klimastationen Amstetten und Waidhofen/ Ybbs graphisch dargestellt (<http://www.zamg.ac.at/>, 06. 03. 2007).

### 4.2.1 Lufttemperatur

Die Abbildungen 6 und 7 zeigen Monatsmittel (Periode 1961-1990) für die mittlere, die maximale und die minimale Temperatur, sowie die absoluten maximalen und minimalen Tagestemperaturen für einen gegebenen Monat in dieser Periode. Die mittlere Monatstemperatur steigt zwischen Jänner und Juli um ungefähr 20°C an, die maximalen und die minimalen Monatstemperaturen weichen von den Mittelwerten um ca. +10° bzw. -10°C ab, während die täglichen Maxima bzw. Minima um etwa 15°C über bzw. unter den Mittelwerten liegen.

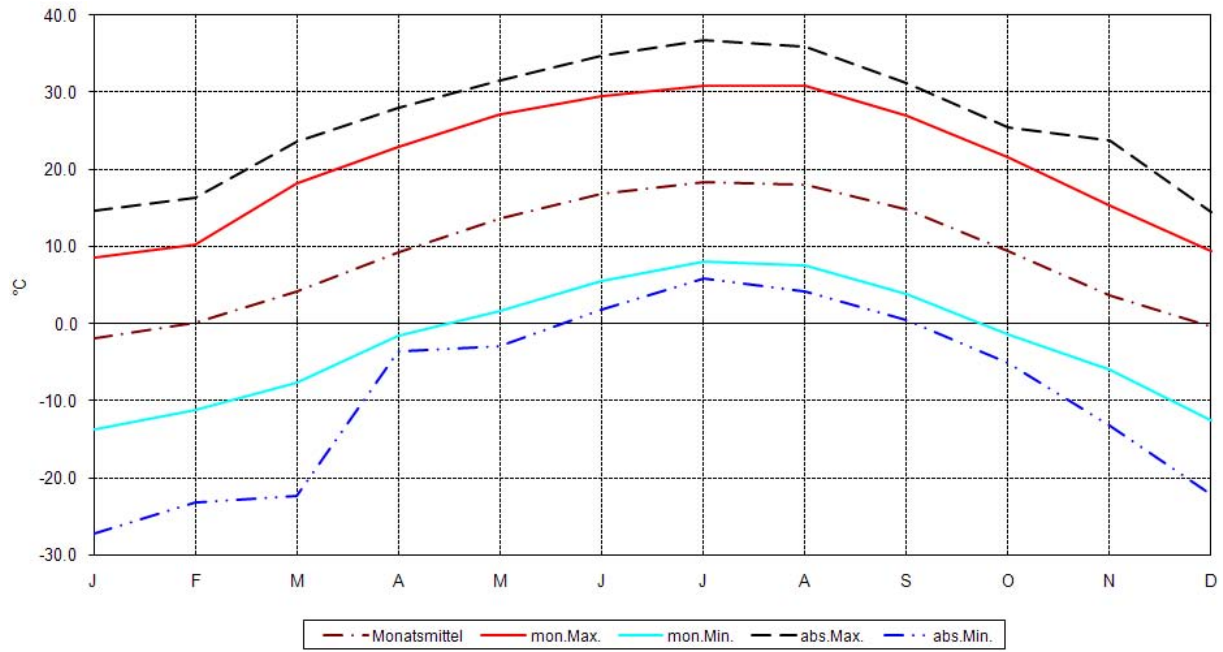


Abb. 6: Monatsmittel der Lufttemperatur für Amstetten (Quelle: ZAMG, 2007).

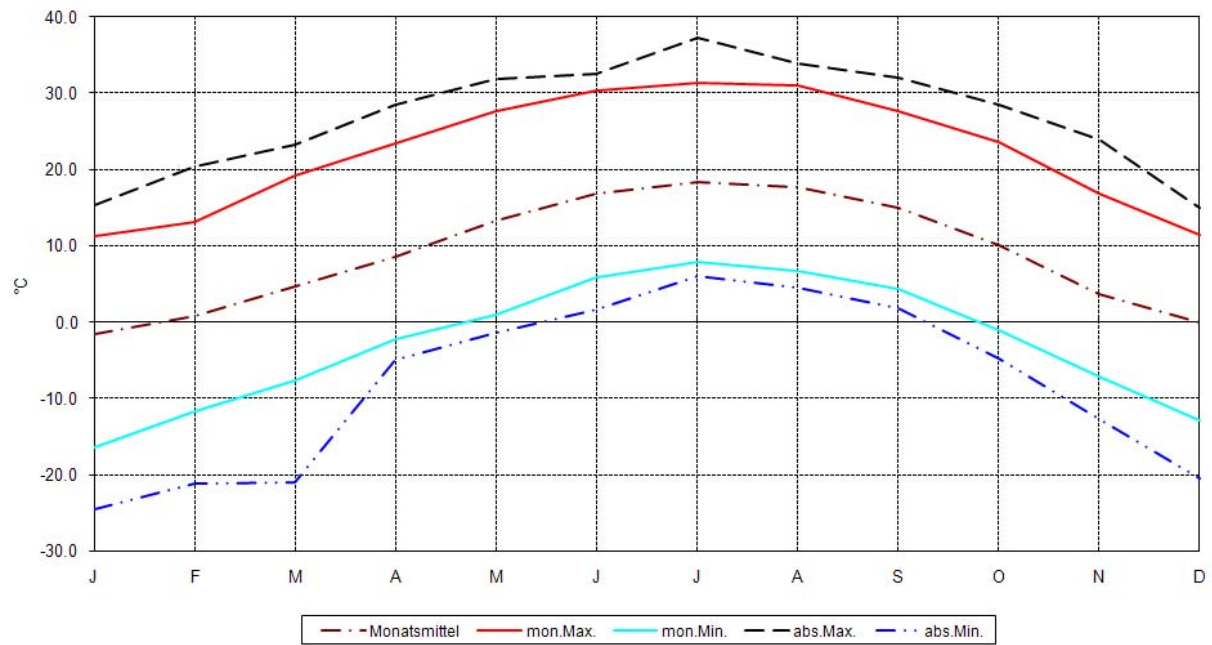


Abb. 7: Monatsmittel der Lufttemperatur für Waidhofen/ Ybbs (Quelle: ZAMG, 2007).

#### 4.2.2 Niederschläge

Die Abbildungen 8 und 9 zeigen für jeden Monat die (über 30 Jahre gemittelte) Summe der monatlichen Niederschläge [mm] und die Anzahl der Tage, an denen Niederschläge an den zwei Klimastationen verzeichnet wurden.

Die Anzahl der Tage mit Niederschlägen über 1mm in Amstetten und in Waidhofen/ Ybbs ist über den Jahresverlauf hinweg ziemlich konstant, während sich die Summe der Monatsniederschläge zwischen *Jänner* und *August* etwa verdoppelt. Innerhalb des Zeitfensters *Mai bis August* treten demnach intensivere Niederschläge auf.

Dieser Umstand erklärt die polyzyklische Bodendynamik in Bezug auf natürliche, ombrogen bedingte *Bodenversauerungsschübe*, *Lessivierung* bis hin zu *Pseudo-vergleyung* von Braunerde (periodisch wiederkehrende Wechsel zwischen Starkniederschlägen und Austrocknung, siehe Kapitel 4.4).

Im Westteil sind die mit Niederschlägen einhergehenden Dynamiken und Einflüsse übrigens stärker ausgeprägt als im kontinentaler getönten Ostteil des Nördlichen Alpenvorlandes (siehe Abbildungen 15 und 16): In Waidhofen/ Ybbs beträgt der Jahresniederschlag 1.164mm und in Amstetten 856mm.

Die Niederschlagsspitze des Hochsommers ist in Waidhofen/ Ybbs akzentuierter als in Amstetten. In den Monaten *März*, *April* und *September* pendeln sich die Niederschlagsmengen im langjährigen Durchschnitt bei 60mm in Amstetten bzw. bei 90mm in Waidhofen/ Ybbs ein.

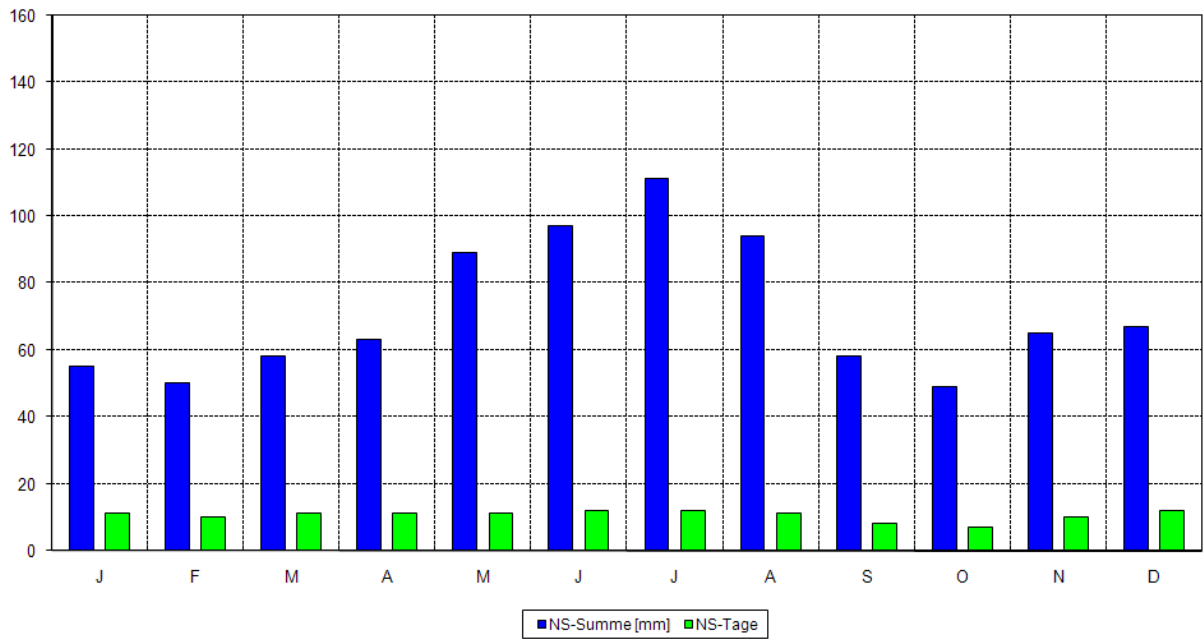


Abb. 8: Summe der Niederschläge [mm] und Anzahl der Tage mit Niederschlägen in Amstetten (Quelle: ZAMG, 2007).

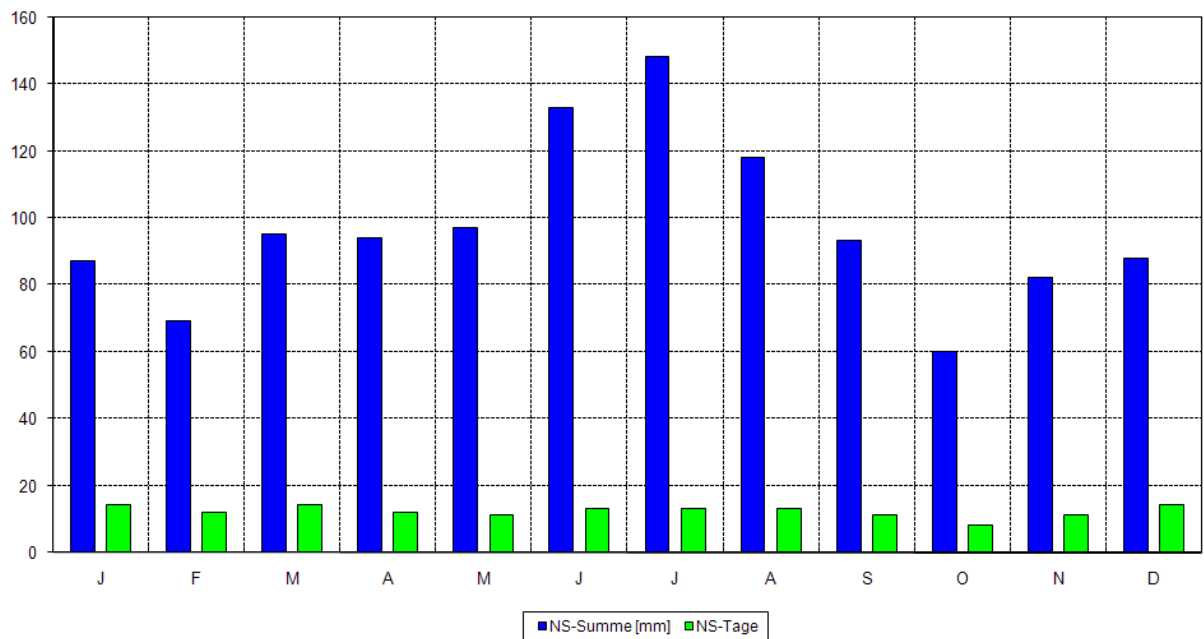


Abb. 9: Summe der Niederschläge [mm] und Anzahl der Tage mit Niederschlägen in Waidhofen/ Ybbs (Quelle: ZAMG, 2007).

### 4.2.3 Sonnenscheindauer und Nebelhäufigkeit

In der Abbildungen 10 und 11 wird für jeden Monat die über die Periode 1961-1990 gemittelte Anzahl der Sonnenstunden jener der Nebeltage gegenübergestellt. Die Abbildung 10 bezieht sich auf Amstetten, die Abbildung 11 auf Waidhofen/ Ybbs. Die Anzahl der Sonnenstunden unterscheidet sich unwesentlich zwischen den beiden Klimastationen. Hingegen treten in Amstetten im Verlauf des Jahres mehr als doppelt so viele Nebeltage auf als in Waidhofen/ Ybbs.

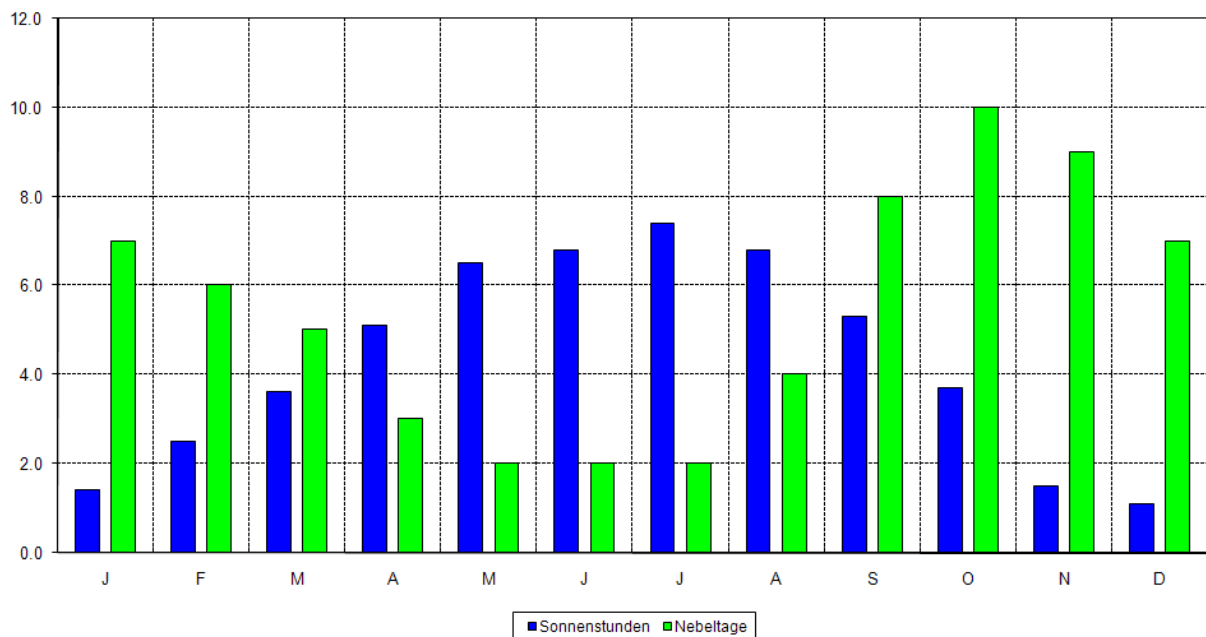


Abb. 10: Anzahl der Sonnenstunden pro Tag und Nebeltage in Amstetten (Quelle: ZAMG, 2007).

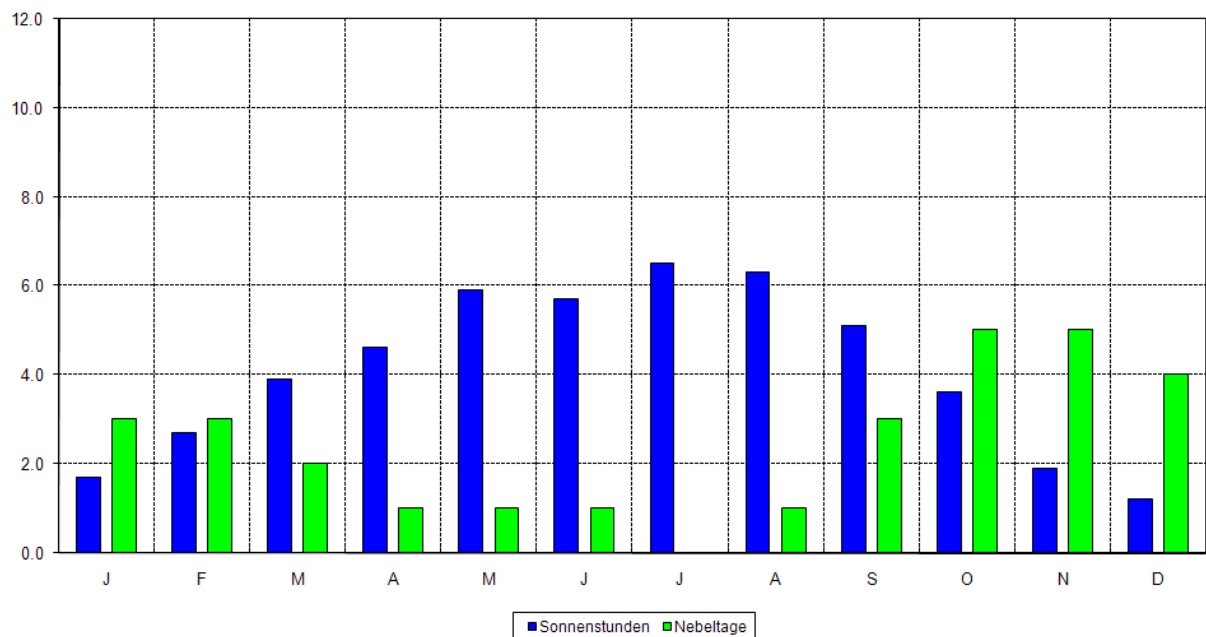


Abb. 11: Anzahl der Sonnenstunden pro Tag und Nebeltage in Waidhofen/ Ybbs (Quelle: ZAMG, 2007).

#### 4.2.4 Schnee

Den Abbildungen 12 und 13 kann die über die Periode 1961-1990 gemittelte Anzahl der Tage mit einer Schneedecke über 1cm und die maximale Schneehöhe [cm] in den Klimastationen Amstetten und Waidhofen/ Ybbs entnommen werden. Auch hier offenbart sich der abnehmende Tagwassereinfluss im kontinentaler geprägten forstlichen Wuchsgebiet 7.2, dem Ostteil, im Vergleich zum Wuchsgebiet 7.1, dem Westteil des Nördlichen Alpenvorlandes.

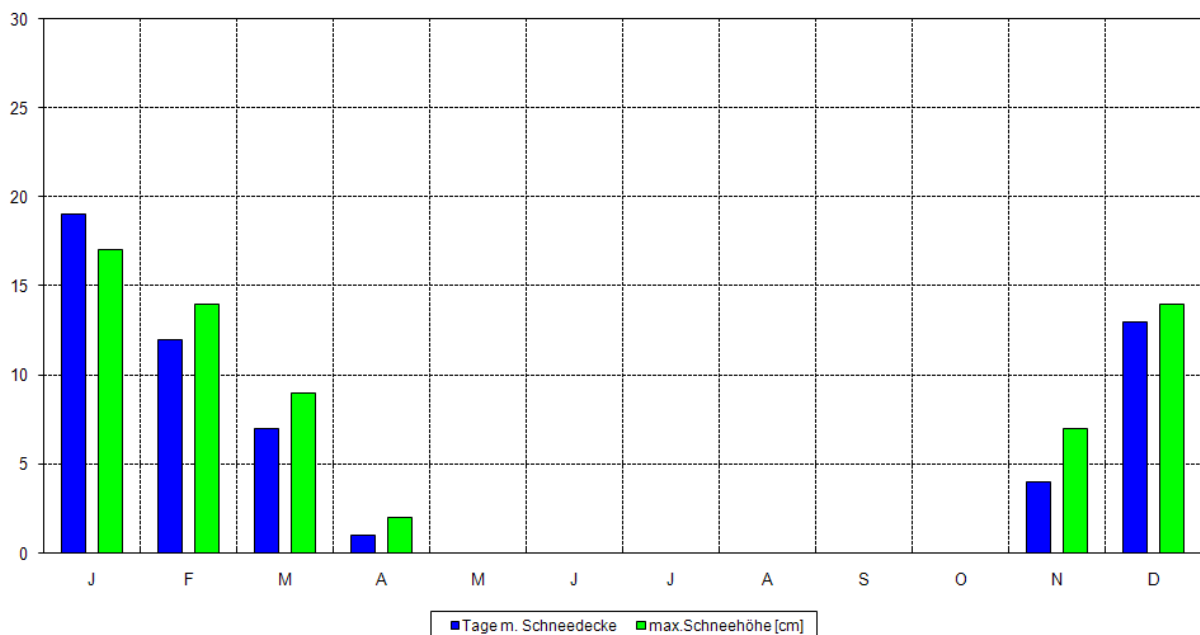


Abb. 12: Anzahl der Tage mit Schneedecke und maximale Schneehöhe [cm] in Amstetten (Quelle: ZAMG, 2007).

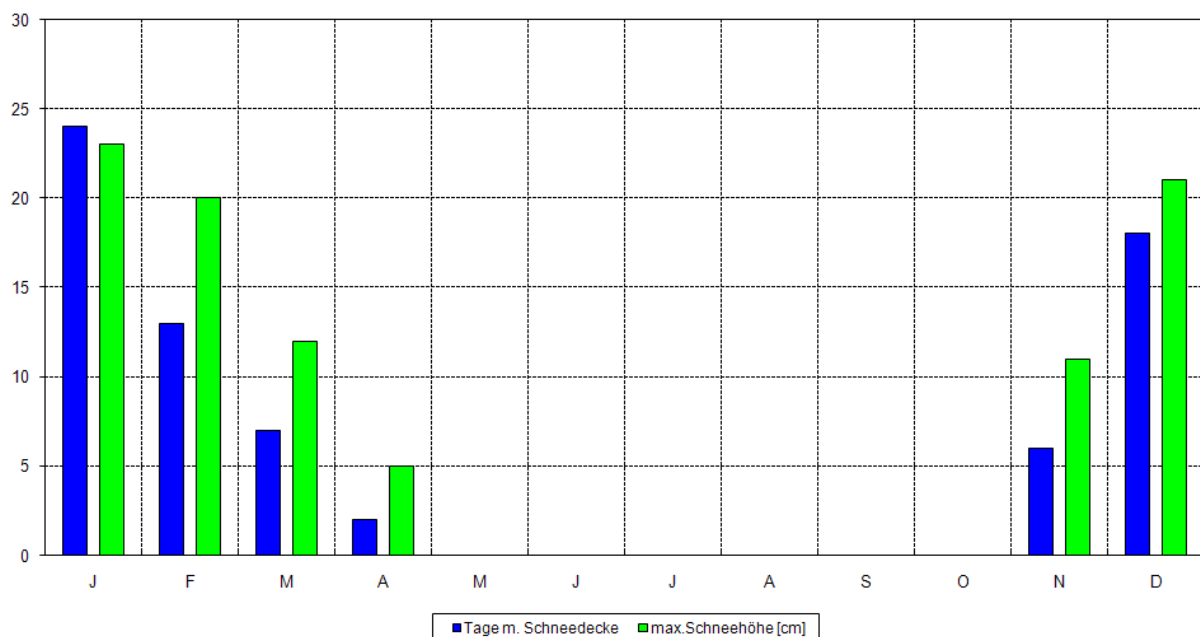
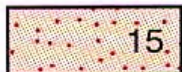


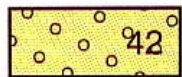
Abb. 13: Anzahl der Tage mit Schneedecke und maximale Schneehöhe [cm] in Waidhofen/ Ybbs (Quelle: ZAMG, 2007).

#### 4.3 Geologische Gegebenheiten an den Waldorten *Abetzberg* und *Hametholz*

Als Ausgangsmaterial der Bodenbildung treten am Waldort *Abetzberg* *undifferenzierter Lehm* und *Löss* auf (Quartär-Oberpliozän, die als *allgemeine Ablagerungen* klassifiziert werden; vgl. SCHNABEL *et al.*, *Geologische Karte von Niederösterreich 1 : 200.000*, 2002). Neben diesen gewöhnlichen Ausbildungen *Lehm* und *Löss* kommt am Waldort *Hametholz* auch *älterer Deckenschotter quartären Ursprungs* (Oberpliozän), meistens mit *Deckschichten von Löss und Lehm*, als pedogenetisches Ausgangsmaterial vor (siehe Abbildung 14). Dieser ältere Deckenschotter charakterisiert fluviatile Terrassen im Alpenvorland (vgl. SCHNABEL *et al.*, *Geologische Karte von Niederösterreich 1 : 200.000*, 2002).



15 Lehm, Löss, undifferenziert



42 Älterer Deckenschotter, meistens mit Deckschichten von Löss und Lehm; Günz

Abb. 14: Geologische Gegebenheiten am Waldort *Hametholz* (Quelle: SCHNABEL *et al.*, *Geologische Karte von Niederösterreich 1 : 200.000*, 2002).

#### 4.4 Allgemeine Betrachtungen zu den Bodentypen im Hauptwuchsgebiet 7 (*Nördliches Alpenvorland*)

In den ausgewählten Beständen finden sich Waldbodentypen terrestrischer und hydromorpher Ordnung. Unter den terrestrischen Bodentypen treten *Parabraunerde* und sekundär *Braunerde* in Erscheinung. Hydromorphe Waldbodentypen sind durch Böden aus der Klasse tagwasserbeeinflusster *Pseudogleye* vertreten.

Wegen abnehmender Niederschläge nimmt die Pseudogley-Dynamik östlich des Wuchsgebiets 7.1 (siehe Abbildung 15) entlang des Nördlichen Alpenvorlandes kontinuierlich ab. Die Abbildungen 15 und 16 zeigen jene Wuchsgebiete, die einander zum Hauptwuchsgebiet 7, dem *Nördlichen Alpenvorland*, ergänzen (vgl. KILIAN *et al.*, *Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs*, 1994).

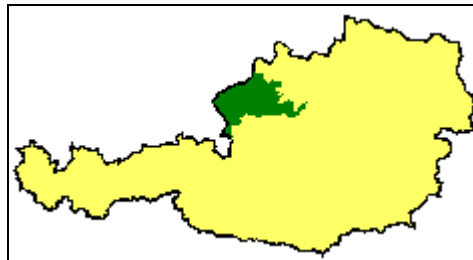


Abb. 15: Wuchsgebiet 7.1, Nördliches Alpenvorland-Westteil (Quelle: KILIAN *et al.*, *Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs*, 1994; <http://bfw.ac.at/300/1197.html>, 08. 09. 2000).

Im Wuchsgebiet 7.2 (siehe Abbildung 16), in dem die *sekundären Pseudogleye* (Lockersedimente als Ausgangsgestein) im Vergleich zu den *primären Pseudogleyen* (bzw. Pseudogleyen auf festem Gestein) überwiegen, sind Nässephasen daher insbesondere von den Neigungsverhältnissen (*Makro- bis Mesorelief*) vor Ort abhängig (vgl. LEXER & HOCHBICHLER, Vorlesung, 2004).

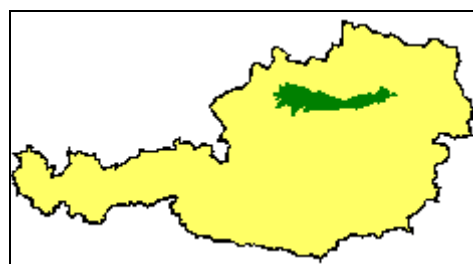


Abb. 16: Wuchsgebiet 7.2, Nördliches Alpenvorland-Ostteil (Quelle: KILIAN *et al.*, *Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs*, 1994; <http://bfw.ac.at/300/1197.html>, 08. 09. 2000).

Pseudovergleyung wird unter Umständen durch Lessivierung initiiert oder verstärkt (polyzyklische Bodendynamik). Die Entwicklung von Parabraunerden zu pseudovergleyten Parabraunerden und Pseudogleyen läuft folgendermaßen ab: Tonpartikel werden mit perkolierendem Tagwasser aus oberflächennahen Bodenporen in darunter befindliche Hohlräume verfrachtet (*Mikroerosion* bzw. *Lessivierung*), wo dem Tagwasser die erodierende Kraft entzogen wird. Die *unzerstörte* Tonsubstanz wird in den Illuvialhorizont eingeschlämmt.



In Mitteleuropa ist *Lessivierung* stets an die folgenden drei Voraussetzungen geknüpft (vgl. HABERER & BÖTTCHER, Zivilschutzforschung, 1996; LEITGEB, Vorlesung, 2001; SCHUME *et al.*, Proseminar, 2001):

- a) die *Dispergierung von Tonpartikeln im Oberboden* (niedrige  $\text{Ca}^{2+}$ -Konzentration, niedrige  $\text{Al}^{3+}$ -Sättigung bzw. geringe Aggregatstabilität);
- b) der *laterale Transport mit dem Sickerwasser* (rasche Versickerung durch grobe Poren, insbesondere Regenwurmporen, Wechsel zwischen Austrocknung und starken Niederschlägen);
- c) die *Anreicherung der Partikel im Unterboden* (steigende  $\text{Ca}^{2+}$ -Konzentration (Flockung, abnehmende Fließgeschwindigkeit, enger werdende Poren).

Unterhalb eines pH von 5 wird Al mobil und steht als brückenbildendes Kation  $\text{Al}^{3+}$  zur Verfügung. Oberhalb eines pH von 7 treten die brückenbildenden Kationen  $\text{Ca}^{2+}$  und  $\text{Mg}^{2+}$  auf. Tonverlagerung findet nur bei *Dispergierbarkeit* (innerhalb des pH-Bereiches von 5 bis 7) statt. Der pH-Wert von Parabraunerden liegt meistens zwischen 4,6 und 6,5 (*sauer bis schwach sauer*). Die Bestände der Standortseinheit *Parabraunerde* im Waldort *Abetzberg* verfügen über einen pH-Wert von 5,68 (siehe Tabelle 5). Parabraunerden sind bei günstigen klimatischen Verhältnissen (Jahresniederschläge über 700mm) gute Waldböden. Es handelt sich um Böden der Laubwaldgebiete (vgl. HABERER & BÖTTCHER, Zivilschutzforschung, 1996; LEITGEB, Vorlesung, 2001; SCHUME *et al.*, Proseminar, 2001).

Inhomogene Texturen im *Solum* führen früher oder später zu Tagwasserstau. Verschiedentlich fasst man auch den vollzogenen *Pseudovergleyungs-Prozess* terrestrischer Bodentypen als *sekundären Pseudogley* zusammen: Diese Böden weisen sowohl einen Eluvialhorizont (E) als auch einen Staukörper ( $\text{B}_t$ -Horizont) auf (vgl. LEXER & HOCHBICHLER, Vorlesung, 2004).

#### 4.4.1 Bodentypen am Waldort *Abetzberg*

ENGLISCH *et al.* (pers. Mitteilung, 2007) weisen dem Waldort *Abetzberg* (Gemeinde Aschbach Markt) in ihrer vorläufigen *Bodenkarte der Umgebung von Waidhofen/Ybbs* den Bodentyp *Pseudogley* zu. Die zitierte Karte bezieht die Bodensystematiken diverser Landnutzungen mit ein (siehe Abbildung 17). Den Erhebungen für die vorliegende Arbeit zufolge dominieren am Waldort *Abetzberg* terrestrische Bodentypen aus der Klasse der *Braunerden*, insbesondere der Bodentyp *Parabraunerde*. Hydromorphe Bodentypen aus der Klasse der *Pseudogleye* wurden hier ebenfalls angesprochen (siehe Kapitel 6.2).

Die erwähnte Unstimmigkeit für den entsprechenden Waldort beruht einerseits auf Maßstabs-Ungenauigkeiten der Bodenkarte. Andererseits sind polyzyklisch ablaufende Prozesse (*Pseudovergleyung* als natürliche Dynamik von Parabraunerde) am Standort zu berücksichtigen. Außerdem können anthropogene Einflüsse, unter anderem *Baumartenwahl* und *mechanische Belastung des Waldbodens* durch Befahren mit schweren Maschinen (*Ernteschäden*) *Pseudovergleyung* überlagern (ENGLISCH, pers. Mitteilung, 2008).

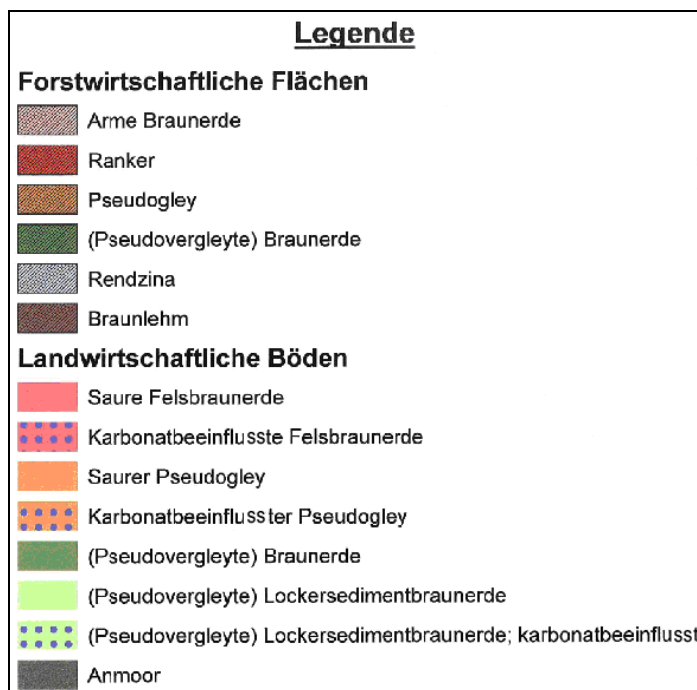
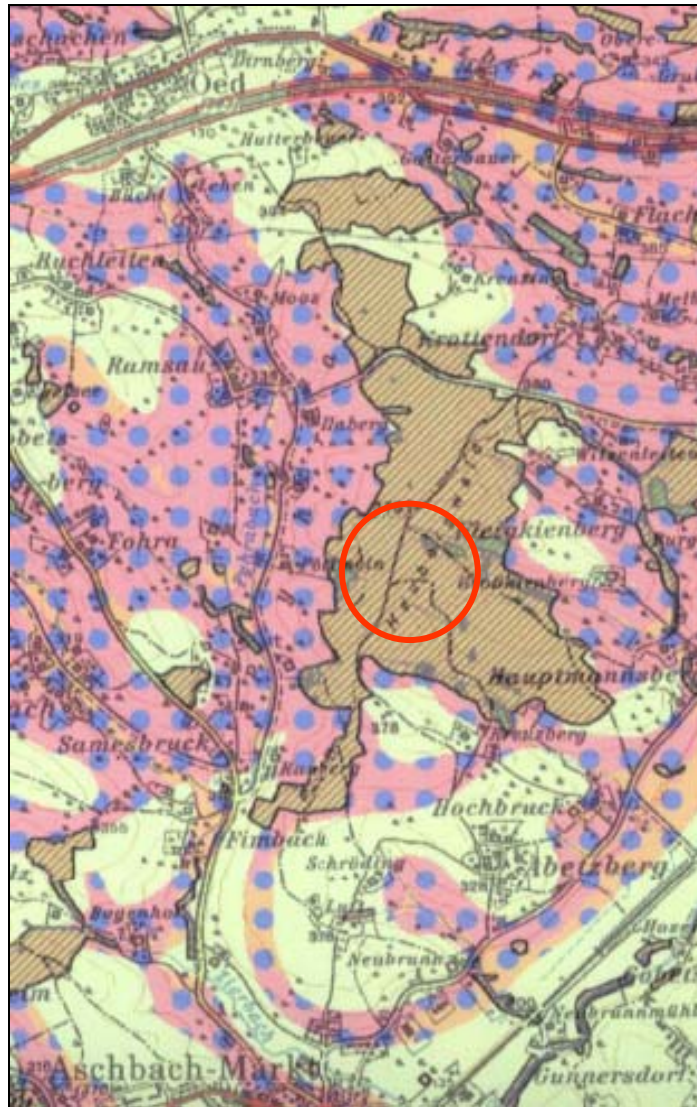


Abb. 17: Böden am Waldort Abetzberg (Quelle: ENGLISCH *et al.*, pers. Mitteilung, 2007).

#### 4.4.2 Bodentypen am Waldort *Hametholz*

ENGLISCH *et al.* (pers. Mitteilung, 2007) weisen dem Waldort *Hametholz* in ihrer vorläufigen *Bodenkarte der Umgebung von Waidhofen/ Ybbs* den Bodentyp *Pseudogley* zu (siehe Abbildung 18). Die Erhebungen für die vorliegende Arbeit stimmen mit diesem Befund überein (siehe Kapitel 6.2). Die Legende deckt hier ausschließlich die Bandbreite der Böden forstwirtschaftlich genutzter Flächen in der Umgebung von Leutzmannsdorf (Gemeinde St. Georgen am Ybbsfelde) ab.

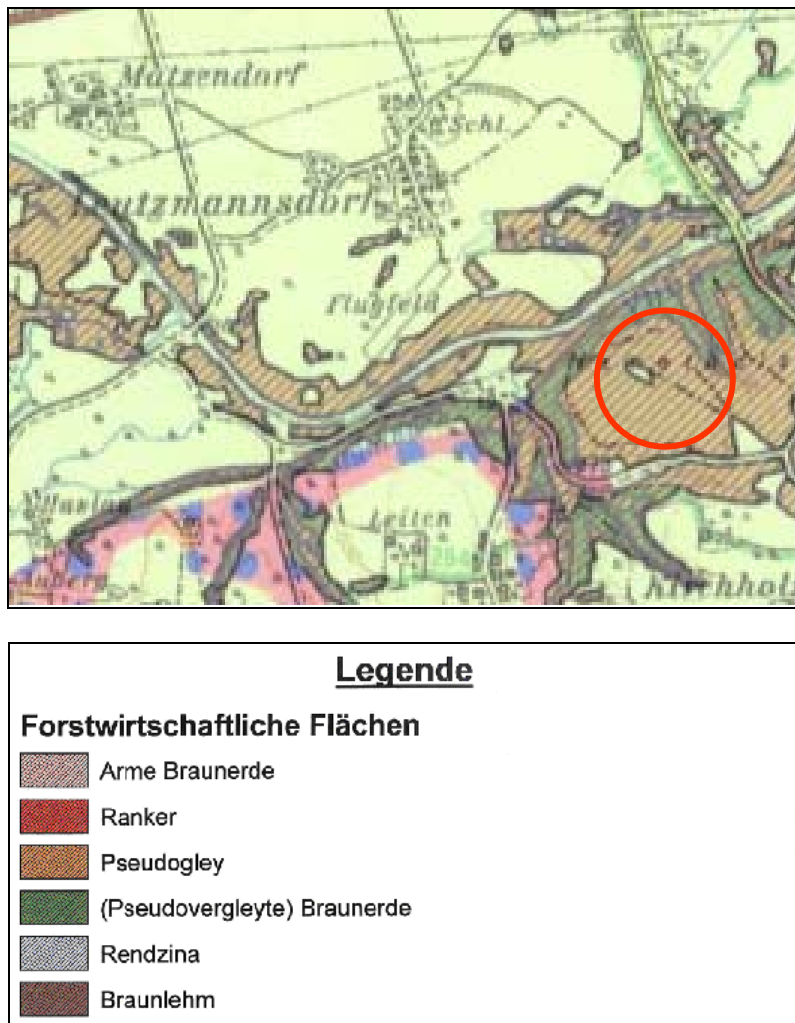


Abb. 18: Bodentypen am Waldort *Hametholz* (Quelle: ENGLISCH *et al.*, pers. Mitteilung, 2007).

## 4.5 Aktuelle Landnutzungsarten im Bezirk Amstetten

Die Abbildung 19 zeigt die aktuellen Landnutzungsarten im Bezirk Amstetten.

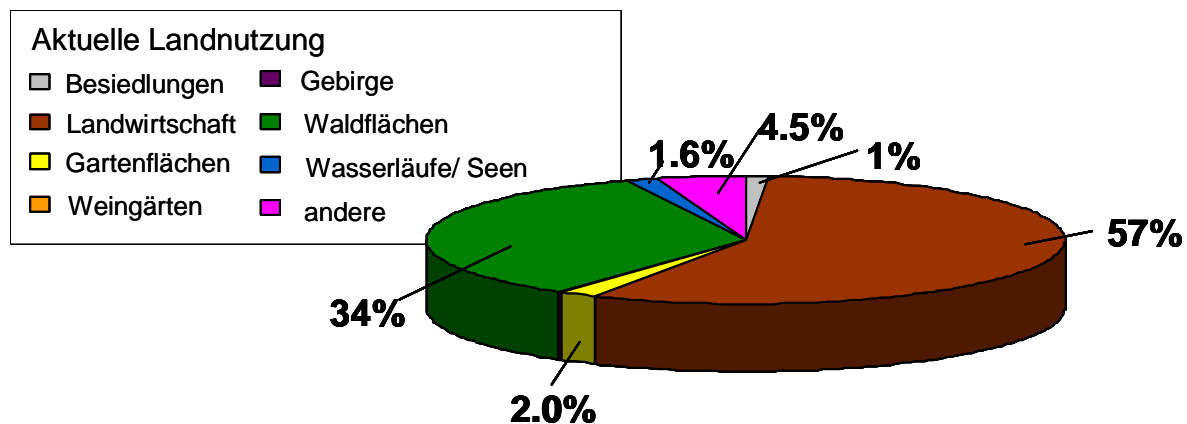


Abb. 19: Aktuelle Landnutzungsarten im Bezirk Amstetten (Quelle: LEXER, pers. Mitteilung, 2007).

Im Nördlichen Alpenvorland überwiegt allgemein die landwirtschaftliche Nutzung. Im Bezirk Amstetten nimmt diese über die Hälfte der verfügbaren Fläche ein. Auf einem Drittel der Bezirksfläche stockt Wald. Dieser verhältnismäßig hohe Waldanteil ist insofern bemerkenswert, als die Bestände bringungstechnisch günstiger Lagen (Schleppergelände) großteils auf Grenzertragsflächen lokalisiert sind. Häufig sind die Waldflächen disjunkt in der Agrarlandschaft verteilt; sie sind daher nicht miteinander vernetzt (siehe Abbildung 5): Die genetische *Anpassungsfähigkeit* kann infolge der Zersplitterung und Isolierung der Waldareale durch waldfreie, landwirtschaftlich genutzte oder besiedelte Gebiete beeinträchtigt werden. Die Eibe (*Taxus baccata* L.) kann die Fragmentierung ihres Lebensraumes (des Mitteleuropäischen Orchideen-Kalk-Buchenwaldes, *Cephalanthero-Fagion*) mit Hilfe besonders leichter Pollen relativ gut überwinden. Der Pollen der Lärche (*Larix decidua* MILL.), einer weiteren windblütigen Baumart, ist hingegen verhältnismäßig schwer (vgl. GEBUREK, Vorlesung, 2004).

Multifunktionale Waldbestände sichern die Erträge der landwirtschaftlichen Produktion ab: Abgesehen vom wirtschaftlichen Nutzen realisierter Holzerlöse könnte der *Schutzfunktion* in Hinblick auf Klimawandel eine größere Bedeutung zukommen: In östlich gelegenen Waldbeständen (z.B. im Marchfeld, Bezirk Gänserndorf) ist dieser Erosionsschutz bereits heute ziemlich stark akzentuiert, etwa im *Klettlabkraut-Eichen-Hainbuchenwald* (*Galio-Carpinetum*). Die genannte Waldgesellschaft scheint auf der Roten Liste der Internationalen Weltnaturschutzunion IUCN auf (vgl. LEXER & HOCHBICHLER, Vorlesung, 2004; <http://bfw.ac.at/050/pdf/biodiversitaet.pdf>, 07. 03. 2009). Sie ist zudem als *FFH-Lebensraumtyp* des Schutzgebietsnetzes *Natura 2000* unter der Nummer 9170 registriert.

Außerdem könnten im Ballungsraum Amstetten die *Erholungs-* und die *Wohlfahrtsfunktion* von gewisser Bedeutung sein.

## 4.6 Natürliche Waldgesellschaften (PNV)

In der kollinen Stufe ist Stieleichen-Hainbuchenwald (*Galio-sylvatici-Carpinetum*) vorherrschend; submontan mit Buche, meist an wärmebegünstigten Standorten. Ein natürlicher Rotföhrenanteil ist vor allem an den Kanten der Schotterterrassen zu erwarten. In der submontanen Stufe tritt Buchenwald mit Tanne (beigemischt Edellaubbaumarten und Stieleiche) auf (vgl. KILIAN *et al.*, *Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs*, 1994).

Die Abbildung 20 stellt die natürlichen Waldgesellschaften im Land Niederösterreich dar. In der Abbildung erscheint der Bezirk *Amstetten* neben den Bezirken *Melk*, *Scheibbs* und *Waidhofen/ Ybbs* schwarz umrandet. Im Projektgebiet, das dem Hangfuß der Alpen vorgelagert ist, dominieren die für Tieflagen typischen Laubwaldgesellschaften als *potentiell natürliche Vegetation* (PNV) gegenüber den Fichten- und Fichten-Tannenwäldern. Fichten-Tannen-Buchenwald tritt einerseits im südlichen Bereich der Bezirke Amstetten und Waidhofen/ Ybbs in entsprechend größeren Seehöhen sowie andererseits im Waldviertel (Wuchsgebiet 9.2) als natürliche Waldgesellschaft auf.

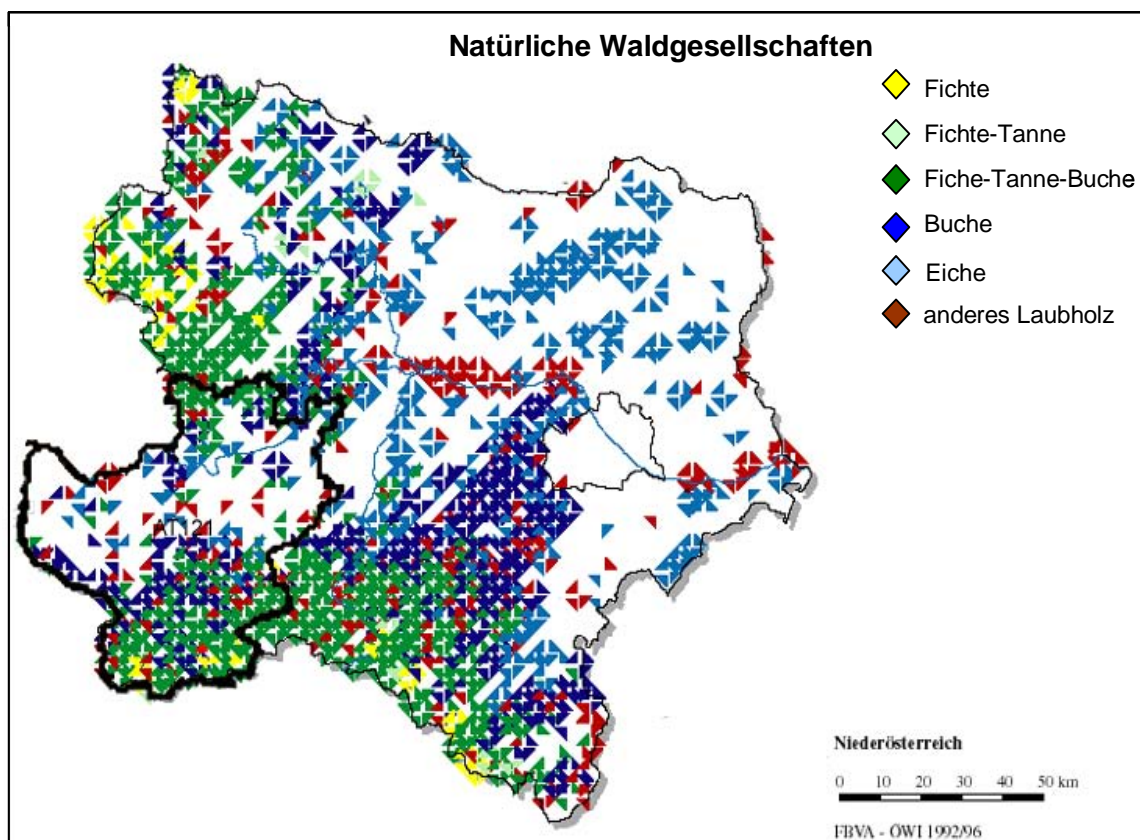


Abb. 20: Natürliche Waldgesellschaften im Bezirk Amstetten in Niederösterreich (Quelle: FBVA-ÖWI 1992/ 1996).

#### 4.7 Aktueller Waldaufbau und Naturnähe (*Hemerobie*)

Auf den nährstoffreichen, leistungsfähigen Laubmischwaldstandorten stocken zu-  
meist Fichten- und Kiefern-Ersatzgesellschaften, auf denen es oft zu Vergrasungen  
mit Seegras (*Carex brizoides* L.) kommt (vgl. KILIAN *et al.*, *Die forstlichen Wuchs-  
gebiete Österreichs*, 1994). Die Abbildung 21 stellt die *Anteile der am aktuellen Wald-  
aufbau beteiligten Baumarten* im Bezirk Amstetten, die Tabelle 4 stellt die *Alters-  
klassenverteilung der Wälder* in diesem Bezirk dar (vgl. ÖWI 2000/ 2002;  
<http://web.bfw.ac.at/i7/oewi.oewi0002>, 20. 08. 2004). Die Bestände an den Waldorten  
*Abetzberg* und *Hametholz* werden wegen markanter Abweichungen von den ur-  
sprünglichen Laubmischwaldgesellschaften als *künstlich* (bzw. als  $\alpha$ -euhemerob und  
polyhemerob) eingestuft (vgl. GRABHERR *et al.*, *Naturnähe Österreichischer Wälder*,  
1997).

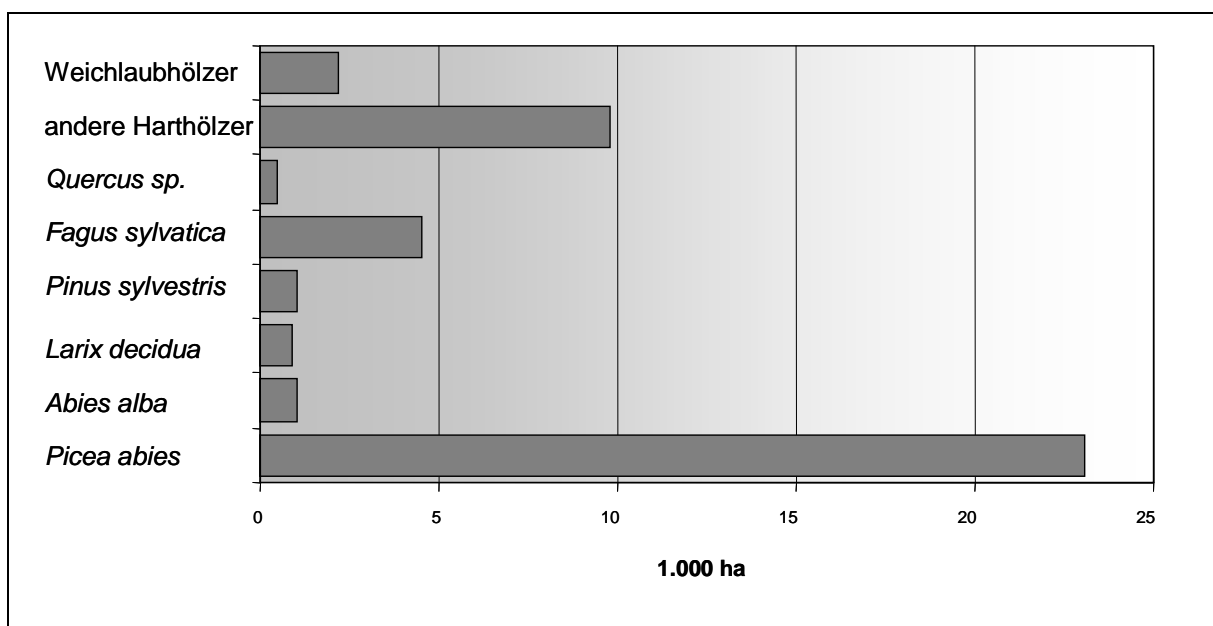


Abb. 21: Baumartenanteile des aktuellen Waldaufbaus im Bezirk Amstetten (Quelle: ÖWI 2000/ 2002; <http://web.bfw.ac.at/i7/oewi.oewi0002>, 20. 08. 2004).

Tab. 4: Altersklassenverteilung der Wälder im Bezirk Amstetten (Quelle: ÖWI 2000/ 2002; <http://web.bfw.ac.at/i7/oewi.oewi0002>, 20. 08. 2004).

Altersklassen [Jahre]	Anteile [ha]
1 – 20	11.200
21 – 40	10.800
41 – 60	7.700
61 – 80	3.700
81 – 100	3.400
101 – 120	4.100
121 – 140	1.100
> 140	1.000

#### 4.8 Waldbesitzkategorien (*Eigentumsarten*)

Der Bezirk Amstetten verfügt über eine Waldfläche von 48.700ha. Der ÖSTERREICHISCHEN WALDINVENTUR (2000/ 2002) zufolge beträgt der durchschnittliche Vorrat 314m<sup>3</sup> pro ha. Der jährliche Zuwachs liegt bei 9,7m<sup>3</sup> pro ha. Der Jahreseinschlag erfasst gemäß Holzeinschlagsmeldungen des Bundes (HEM) 5,7m<sup>3</sup> pro ha.

Die Abbildung 22 zeigt die Waldbesitzkategorien im Land Niederösterreich. Der Bezirk *Amstetten* wird in dieser Abbildung neben den Bezirken *Melk*, *Scheibbs* und *Waidhofen/ Ybbs* schwarz umrandet hervorgehoben.

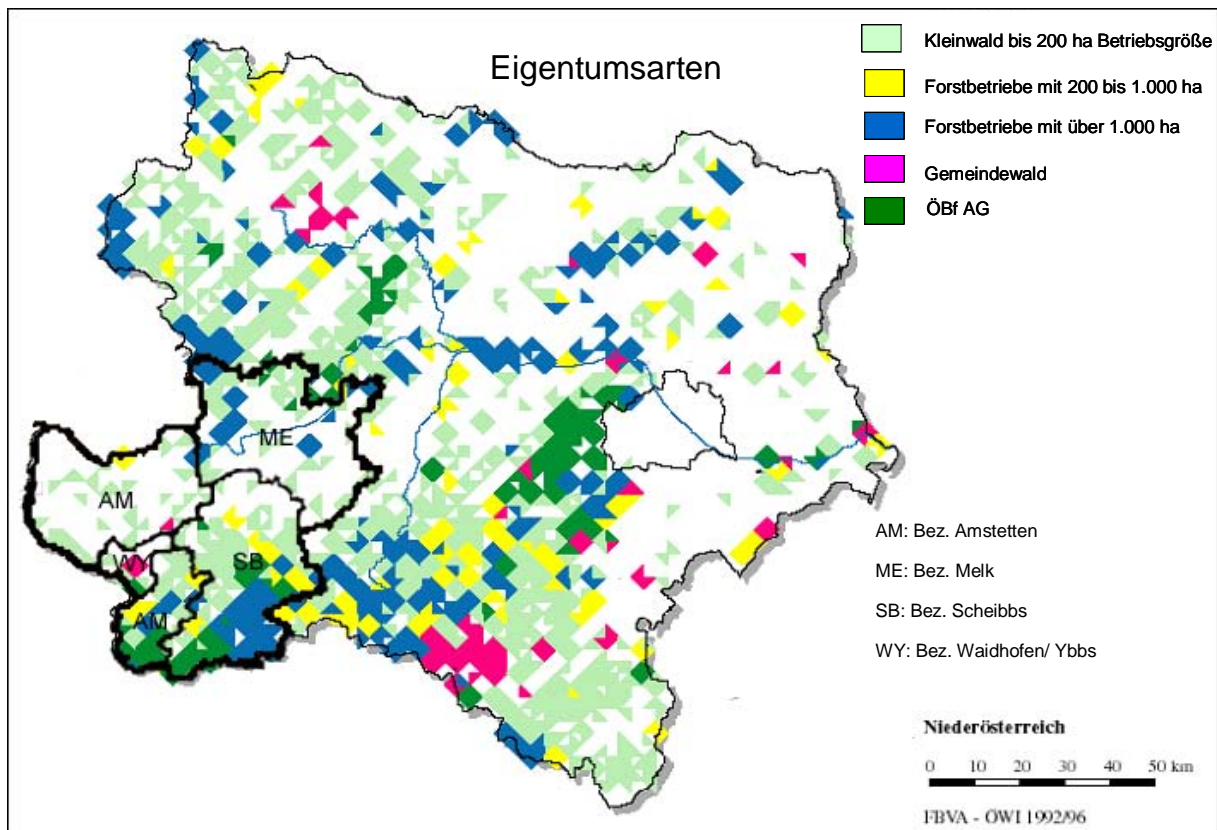


Abb. 22: Waldbesitzkategorien im Land Niederösterreich (Quelle: FBVA-ÖWI 1992/ 1996).

Im Bezirk Amstetten sind 60% der Waldfläche der Eigentumsart *Kleinprivatwald* zugeordnet. Auch die Bestände der Waldorte *Abetzberg* und *Hametholz* sind als *Kleinprivatwald* klassifiziert. Etwa ein Viertel der Waldfläche im Bezirk Amstetten wird von *Gebietskörperschaften* (Gemeindewälder) sowie in *Forstbetrieben mit einer Größe von über 200ha* verwaltet. Die *Österreichischen Bundesforste* (ÖBf AG), deren Eigentümer die Republik ist, bewirtschaften ca. ein Fünftel dieser Waldfläche.

## 5. Methoden

### 5.1 Das Waldökosystemmodell *PICUS* v1.41

Für die vorliegende Arbeit wurde zur Simulation der Waldentwicklung das Waldökosystemmodell *PICUS* herangezogen. Die nachfolgende Kurzdarstellung (vgl. SEIDL *et al.*, *PICUS v.1.41-Documentation*, 2006) orientiert sich an der *website* des Instituts für Waldbau der Universität für Bodenkultur, <http://www.wabo.boku.ac.at/picus.html> (03. 07. 2007).

Das Waldökosystemmodell *PICUS* wird am Institut für Waldbau der Universität für Bodenkultur seit 1996 (vgl. LEXER & HÖNNINGER, Symposium, 1997; LEXER & HÖNNINGER 2001) entwickelt, sukzessive verbessert und ergänzt. Eine frühe Modellversion (*PICUS* v1.2) wurde im Rahmen der ersten und bisher einzigen flächigen Studie über Klimaänderungsfolgen für den österreichischen Wald (vgl. LEXER *et al.* 2001; LEXER *et al.* 2002) eingesetzt. Mit der Modellversion v1.3 wurde ein relevanter Schritt gesetzt, um das Modell in Bezug auf die physiologisch orientierte Biomassenzuwachsschätzung robuster und zuverlässiger zu machen (vgl. SEIDL *et al.* 2005). Neben einer Vielzahl von kleineren strukturellen Änderungen bestand ein interessanter Fortschritt in der Kombination des aus der Literatur bekannten bestandesbezogenen Biomassenproduktionsmodells *3PG* (vgl. LANDSBERG & WARING 1997) und dem Waldentwicklungsmodell *PICUS* v1.2, das auf Einzelbaumbasis Walddynamik in Abhängigkeit von Umwelteinflüssen simuliert. Die in der vorliegenden Arbeit eingesetzte Modellversion *PICUS* v1.41 ist eine Weiterentwicklung der *Version 1.31* (vgl. SEIDL *et al.* 2005) und baut wie diese einerseits auf *PICUS* v1.21 (vgl. LEXER & HÖNNINGER 2001) und andererseits auf dem physiologisch basierten Produktionsmodell *3PG* auf.

*PICUS* simuliert Waldentwicklung sowohl in bewirtschafteten als auch in unbewirtschafteten Wäldern auf einem Gitternetz von 10 x 10m<sup>2</sup> großen Kleinflächen (*patches*). Die vertikale Dimension wird durch Kronenzellen von je 5m Höhe repräsentiert. Derzeit können in *Vollversion* (d.h. alle im Modell inkludierten Prozesse werden in der Simulation berücksichtigt) ca. 7ha simultan simuliert werden. Interaktionen zwischen Kleinflächen gibt es durch das dreidimensionale Lichtmodell und die *Samenausbreitung* (Samenaufschlag bzw. Samenanflug). Etablierung von Verjüngungspflanzen und Baum mortalität in der Modellversion v1.41 ähneln den Formulierungen der Modellversion *PICUS* v1.2 (vgl. LEXER & HÖNNINGER 2001). Beträchtlich erweitert wurde hingegen das Wachstumsmodul. Außerdem wurde ein Management-Modul hinzugefügt, um realistisch *Management-Eingriffe* (Ernte von Baumindividuen, Naturverjüngung, Aufforstung) zu simulieren. Schließlich stellten SEIDL *et al.* (2007a) ein adaptiertes Modul zur Simulation von Borkenkäferschäden in Fichtenbeständen vor. In der Folge werden die Modellkomponenten kurz beschrieben. Für Details wird auf die entsprechende Literatur verwiesen.

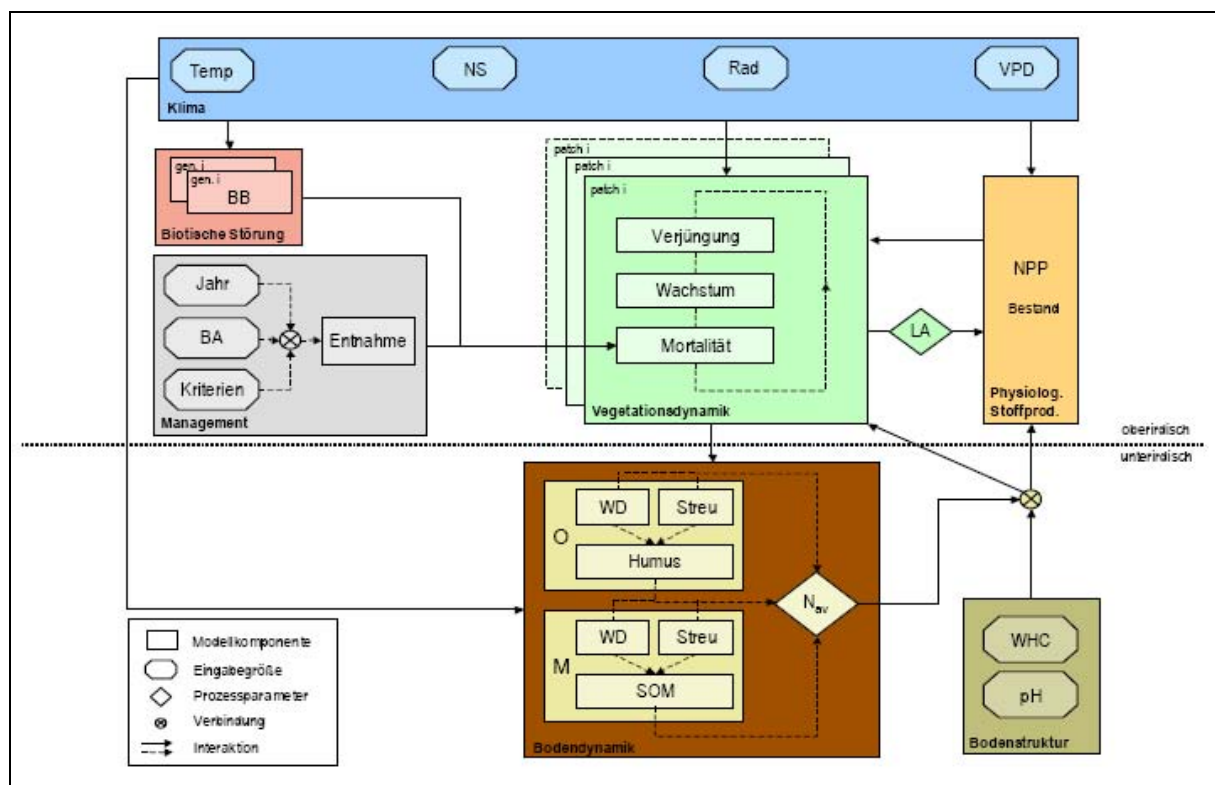
#### 5.1.1 Wachstum

Prinzipiell werden auch in der Modellversion v1.41 zwei Komponenten unterschieden, die bei der Simulation von Baum- und Bestandeswachstum zusammenwirken:



- (a) das bisher herangezogene *gap-model* Modul aus *PICUS v1.2* (hier als *bottom-up* Modul bezeichnet), welches die Entwicklung von Einzelbäumen innerhalb einer Baumpopulation in Abhängigkeit von *Umweltfaktoren* (Licht, Temperatur, Wasser- und Nährstoffversorgung) beschreibt, und
- (b) ein auf Bestandesniveau operierendes physiologisch basiertes Modell, das pro Jahr einen Schätzer für die *Nettoprimärproduktion* (NPP) des Gesamtbestandes liefert (hier als *top-down* Modul bezeichnet). Diese Komponente beruht auf dem *3PG-Modell* von LANDSBERG & WARING (1997).

Verbunden sind diese beiden Module über den *Blattflächenindex* (*LAI*, *Leaf Area Index*) des simulierten Bestandes, der sich aus der Summe der Blattflächen der Einzelbäume aus dem *bottom-up* Modul ergibt (Blattfläche je Einzelbaum ist eine Funktion der Baumdimension BHD sowie des Lichtregimes, in dem das Individuum wächst und das seine Kronenlänge bestimmt). Das *top-down* Modul liefert auf Monatsbasis einen Schätzwert für die Bestandes-NPP eines Jahres. Es gilt nun, den bestandesweise geschätzten Wert für die NPP auf die einzelnen Baumindividuen im Bestand aufzuteilen. Dazu wird die realisierte Konkurrenz aus dem *bottom-up* Modul herangezogen. Die Differenz aus Biomassenzuwachs *bottom-up* und *top-down* wird proportional zum *bottom-up* geschätzten vorläufigen Biomassenzuwachs auf die Einzelbäume verteilt. Die Abbildung 23 zeigt schematisch die Modellkomponenten sowie die Interaktion zwischen *bottom-up* und *top-down* Modul. Für Details der Umsetzung wird auf SEIDL *et al.* (2005) verwiesen.



Temp: Temperatur [°C]; NS: Niederschlag [mm]; Rad: Globalstrahlung [MJ/m<sup>2</sup>]; VPD: Dampfdruckdefizit [kPa]; LA: Blattfläche; NPP: Nettoprimärproduktion; WHC: Wasserspeicherfähigkeit des Bodens; N<sub>av</sub>: pflanzenverfügbarer Stickstoff; WD: verholzter Bestandesabfall; SOM: organische Bodenbestandteile; BA: Baumart; BB: Borkenkäfer.

Abb. 23: Modellkomponenten von *PICUS v1.41* (Quelle: SEIDL *et al.* 2006).

### 5.1.2 Verjüngung

Verjüngung bis 130cm Höhe wird in *vier Höhenklassen* abgebildet. Baumartenspezifischer Einwuchs in die unterste Höhenklasse (0-10cm) ist ein stochastischer Prozess und hängt von der Anzahl der verfügbaren keimfähigen Samen je Baumart, dem Lichtangebot am Waldboden sowie der prinzipiell bestockungsfähigen Fläche einer Kleinfläche ab. Ob sich eine Baumart in einem bestimmten Jahr verjüngt, wird durch einen Zufallsgenerator entschieden. Wachstum durch die Höhenklassen wird in Abhängigkeit eines Höhenzuwachspotentials, welches in Abhängigkeit von Lichtangebot und Umweltbedingungen modifiziert wird, geschätzt. Überschreitet das Kollektiv des *Jungwuchses* eine Höhe von 130cm, wird dieses mittels *artspezifischer Stückzahlen je ha* für *PICUS* aufbereitet. Unter 130cm Höhe wird jede Baumart in einer Höhenklasse durch ein repräsentatives Individuum definiert. Details hierzu finden sich unter anderem bei WOLTJER *et al.* (2008).

### 5.1.3 Baummortalität

Es wird wie schon in der Version *PICUS v1.2* eine *intrinsische* und eine *stressbedingte* Baum mortalität unterschieden (vgl. z.B. KEANE *et al.* 2001). Erstere ist eine Art *Hintergrundmortalität*, die die *zufällige Mortalität* darstellt (Blitzschlag, Pathogene). Die intrinsische Mortalität nimmt mit zunehmendem Baumalter zu. Die stressbedingte Mortalität basiert auf der Annahme, dass ein mehrere Jahre hintereinander unter ein zu definierendes Minimum abfallender BHD-Zuwachs ein Indikator für Stress ist, der eine erhöhte Sterbewahrscheinlichkeit zur Folge hat. Ein Zufallsgenerator entscheidet, ob ein Individuum innerhalb einer Simulations-Zeitschrittes (in diesem Fall in einem Jahr) abstirbt.

### 5.1.4 Biogeochemisches Bodenmodul

Eine interessante Erweiterung von *PICUS* bedeutete die Implementierung eines dynamischen biogeochemischen Bodenmoduls zur Schließung der C- und N-Kreisläufe. Das Bodenmodul des Ökosystemmodells *TRACE* (*Tracer Redistribution Among Compartments in Ecosystems*, vgl. CURRIE *et al.* 1999) wurde aufgrund folgender Kriterien gewählt:

- eine vergleichbare zeitliche Auflösung wie *PICUS v1.3*
- ein vergleichbarer Komplexitätsgrad
- eine verfügbare gute Dokumentation der Modellalgorithmen
- Verfügbarkeit des *source codes* (vgl. CURRIE & ABER 1997; CURRIE *et al.* 1999; CURRIE & NADELHOFFER 1999; CURRIE & HELMERS, *A user guide for the TRACE model. Version 4.1.2*, 2003; <http://www-personal.umich.edu/~wcurrie/index.html>, 19. 02. 2009).

Die Bodenprozesse wurden größtenteils von *TRACE* unverändert übernommen. Eine detaillierte Beschreibung findet sich bei CURRIE *et al.* (1999), CURRIE & NADELHOFFER (1999), CURRIE & ABER (1997) und CURRIE & HELMERS (*A user guide for the TRACE model. Version 4.1.2*, 2003) sowie auf der *website* <http://www-personal.umich.edu/~wcurrie/index.html> (19. 02. 2009).

*TRACE (Tracer Redistribution Among Compartments in Ecosystems)* ist ein biogeochemisches Prozessmodell, das den Wasser-, Kohlenstoff- und Stickstoffkreislauf von Waldökosystemen simuliert (vgl. CURRIE *et al.* 1999). Das Modell besteht aus einer Weiterentwicklung des *DOCMOD* Bodenprozessmodells (vgl. CURRIE & ABER 1997) in Kombination mit den oberirdischen Komponenten des *PnET*-Modells (vgl. ABER *et al.* 1997).

Das Bodenmodul unterscheidet zwei Bodenhorizonte, *Auflage* und *Mineralboden*. Das Modell differenziert generell zwischen Bestandesabfall, *verholztem Bestandesabfall (woody debris)* und *humosem Bodenmaterial*. Der Bestandesabfall wird in der Auflage in drei funktionale *Pools* mit unterschiedlichen Abbauraten differenziert; *verholzte Teile* werden nach dem Durchmesser in *groben* und in *feinen* verholzten Bestandesabfall unterteilt. Stickstoff-Umsetzungsprozesse wie *Mineralisierung*, *Nitrifizierung* und *mikrobielle Stickstoffassimilation* werden im Modell abgebildet,  $\text{NH}_4$  und  $\text{NO}_3$  werden explizit simuliert. Die *tatsächliche Evapotranspiration (AET)* wird als Indikator zur Modellierung des Effekts von Temperatur und Feuchtigkeit auf die Abbauraten herangezogen. Pflanzliche Stickstoff-Aufnahme erfolgt aus den beiden Bodenhorizonten.

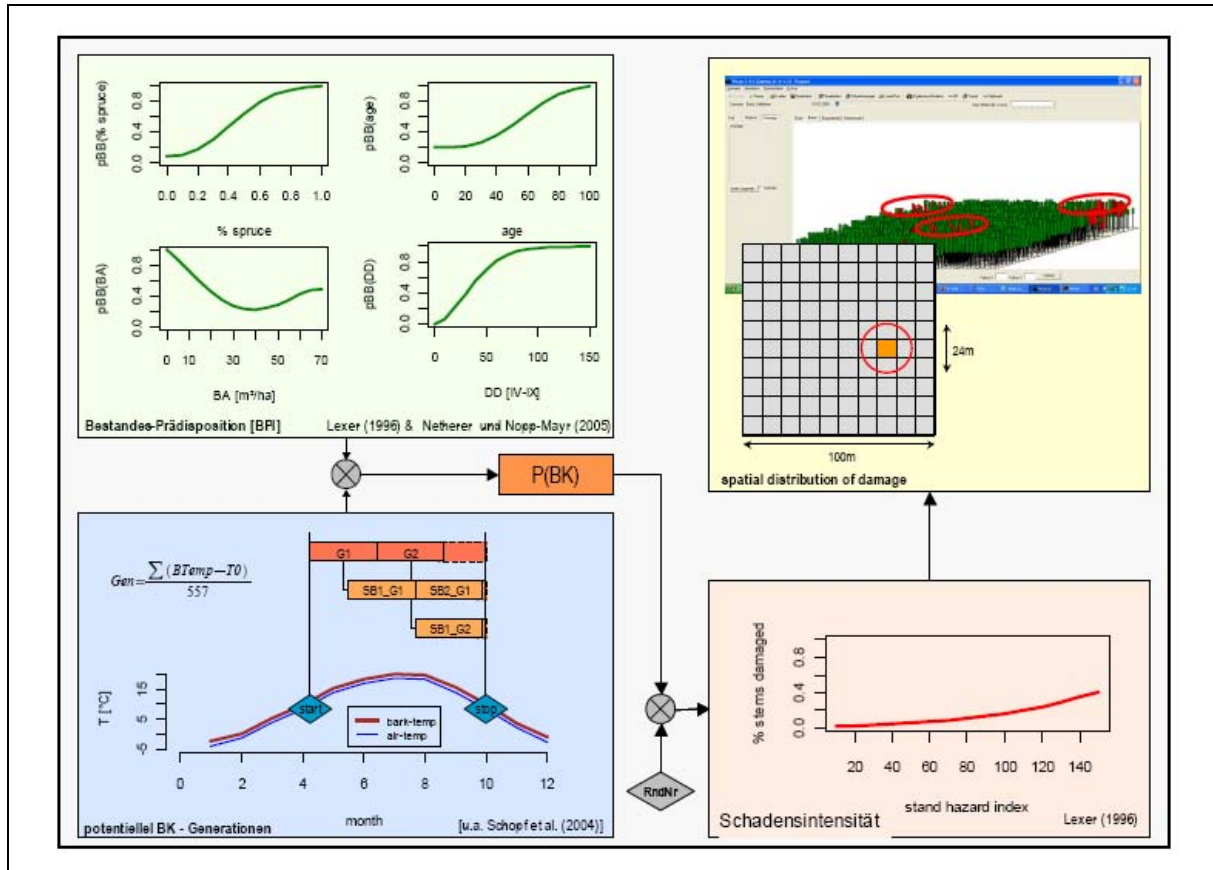
#### 5.1.5 Störungseinfluss durch Fichtenborkenkäfer

Das Borkenkäfer-Submodell besteht aus vier Komponenten:

- (1) Es werden den vorgestellten Modellkonzepten von SCHOPF *et al.* (Projekt-Endbericht, 2004) folgend die *potentiell möglichen Generationen* von *Ips typographus* (inklusive Geschwisterbruten) ausgehend von *geographischen Koordinaten* (Langtag-/ Kurztagbedingungen) und *Klimadaten* geschätzt.
- (2) Die Prädisposition von Waldbeständen wird anhand von *vier Indikatoren* (Alter, Fichtenanteil, Bestandesdichte, Trockentage in der Vegetationsperiode, z.B. Tage mit einem Matrixpotential im Wurzelhorizont  $< -2,0\text{bar}$ ) geschätzt. Dabei wird sowohl auf das Risikomodell im Rahmen eines Gutachtens von LEXER (1996) als auch auf NETHERER & PENNERSTORFER (2001) sowie auf NETHERER & NOPP-MAYR (2005) zurückgegriffen.
- (3) *Prädispositionsindex* und *Generationenzahl* bestimmen das Risiko eines Borkenkäferschadens je Zeitintervall (z.B. für ein Jahr). Eine gleichverteilte Zufallszahl bestimmt, ob ein Schaden eintritt oder nicht. Für ersteren Fall wird das Schadensmodell im Rahmen des erwähnten Gutachtens von LEXER (1996) zur Schätzung der Schadintensität herangezogen.
- (4) Schließlich muss der *geschätzte periodische Schaden* (Stammzahl pro ha) im simulierten Bestand ermittelt werden (vgl. LEXER & HÖNNINGER, *Simulated effects of bark beetle infestations on stand dynamics in Picea abies stands: coupling a patch model and a stand risk model*, 1998): Hiefür wird zunächst diejenige Kleinfläche identifiziert, die gemäß Prädispositionsindizes am stärksten gefährdet ist. Um diese Kleinfläche (*patch*) wird ein 12m-Radius gezogen (vgl. SEIDL, pers. Mitteilung, 2008). Innerhalb dieser Grenzen wird schließlich einzelnen Fichtenindividuen des Kollektivs BHD  $>10\text{cm}$  solange ein Borkenkäferbefall zugewiesen, bis die geschätzte Schadenshöhe erreicht ist.

Reicht ein Borkenkäferherd nicht aus, um die gesamte Schadhöhe abzudecken, werden weitere Befallsherde ausgewählt. Auf diese Weise werden charakteristische Schadbilder einer *Borkenkäferkalamität* simuliert.

Die Abbildung 24 zeigt die Elemente des Fichtenborkenkäfer-Submodells.



potentielle BK-Generationen: potentielle Borkenkäfer-Generationen

Abb. 24: Schematische Darstellung der Komponenten des Borkenkäferstörungsmoduls in *PICUS v1.41* (Quelle: SEIDL et al. 2006).

### 5.1.6 Management

In *PICUS v1.41* ist ein *Management-Modul* integriert, das die Simulation gängiger *Durchforstungs- und Verjüngungsverfahren* auf realistische Weise ermöglicht. Auf jedes Baumindividuum *ab 130cm Höhe* kann hierfür *separat* zugegriffen werden. In den Jungwuchsklassen *unter 130cm Höhe* können *Anteile* an Baumarten in den Höhenklassen angesprochen werden. Managementeingriffe können theoretisch in beliebiger Kombination jedes Simulationsjahres umgesetzt werden. Der Standardansatz sieht die Spezifikation von *Entnahmen* (*relativ* in Bezug auf Volumen, Stammzahl oder Grundfläche; *absolut* in Bezug auf Volumen, Stammzahl oder Grundfläche) in *fünf relativen Durchmesserklassen je Baumart* vor (siehe Abbildung 25).

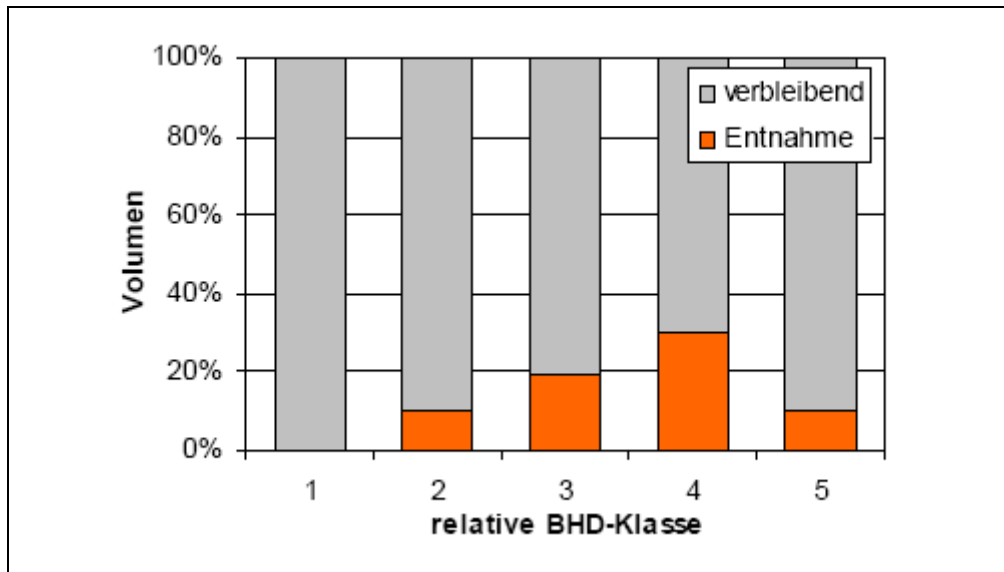


Abb. 25: Schema zur Spezifizierung von waldbaulichen Eingriffen dargestellt am Beispiel einer Auslesedurchforstung (Quelle: LEXER *et al.*, Projekt-Endbericht, 2007).

Genutzte Baumindividuen können entweder aus dem Bestand entnommen werden oder als *Totholz (Biotopholz)* im Bestand verbleiben. Die flexible Angabe von Anteilen an Biomassekompartimenten, die als *Schlagrücklass* im Bestand verbleiben ist ebenfalls möglich. Die Standardeinstellung sieht vor, dass Schaftderbholz ab 7cm Durchmesser entnommen wird, bei Laubbäumen auch entsprechendes Kronenholz (siehe Einzelstammsortentafeln).

Neben *Biomasse-Entnahmen* sind auch *künstliche* bzw. *Naturverjüngung* in flexibler Weise zu simulieren. Bei Naturverjüngung ist anzugeben, ob Sameninput *von außerhalb* des simulierten Bestandes bzw. *in welchen baumartenspezifischen Mengen* zu erwarten ist. Bei Naturverjüngung erfolgt die räumliche Verortung der Jungwuchspflanzen in Abhängigkeit des *Lichtangebots am Waldboden* und *der simulierten Samenverfügbarkeit* auf den Kleinflächen (*patches*). Kunstverjüngung ist zur Gänze zu *spezifizieren* (Stammzahlen, Pflanzverbände, Mischungsformen im Rahmen der 10 x 10m<sup>2</sup>-Auflösung des Modells).

#### 5.1.7 Evaluierung von *PICUS v1.41*

Die hier angewendete Modellversion *PICUS v1.41* wurde in mehreren detaillierten Evaluierungsstudien getestet. An dieser Stelle wird auf die Literatur verwiesen. Bestandes- und Baumwachstum wurde in strukturierten Mischbeständen anhand von Dauerversuchsflächen analysiert (vgl. SEIDL *et al.* 2005). Die Tests zeigten, dass diese Modellversion das Wachstumsverhalten in strukturierten Mischbeständen für mindestens 30 Jahre gut wiedergibt. Die Genauigkeit dieser Modellversion lag zumindest im Bereich, wie sie für empirische Waldwachstums-Simulatoren für vergleichbare Bestände erzielt wird. Zusätzlich wurde in Vorbereitung der Evaluierung auf repräsentativen Inventurpunkten der *Österreichischen Waldinventur (ÖWI)* die *Gesamtwuchsleistung (GWL)* von Reinbeständen über 100 Jahre unter aktuellem Klima simuliert und mit erhobenen Bonitätsdaten verglichen (vgl. SEIDL *et al.* 2008).

Von besonderer Relevanz für die Evaluierung ist die plausible Reaktion von Baumindividuen und Beständen auf Umweltfaktoren. In einer Modellvergleichsstudie wurde *PICUS* mit dem detaillierten physiologischen Wachstumsmodell *BIOMASS* (vgl. MC MURTRIE *et al.* 1990) in Bezug auf die simulierte Reaktion von Baumarten auf eine Klimaänderung verglichen. Das Ergebnis zeigte eine im Großen und Ganzen identische *response*-Oberfläche: *PICUS* schätzte im Experiment die Sensitivität der Fichte [*Picea abies* (L.) KARST.] gegenüber Trockenheit etwas höher ein als *BIOMASS* (vgl. LINDNER *et al.*, *SilviStrat model evaluation exercise*, 2005; SEIDL *et al.* 2005).

SEIDL *et al.* (2008) verglichen in einem großflächigen Experiment die simulierten Borkenkäferkalamitäten in Fichtenbeständen mit den aus den bezirksbezogen erhobenen Angaben zu aufgetretenen Schäden. Die Abbildung 26 zeigt ausgewählte Resultate dieser Evaluierung.

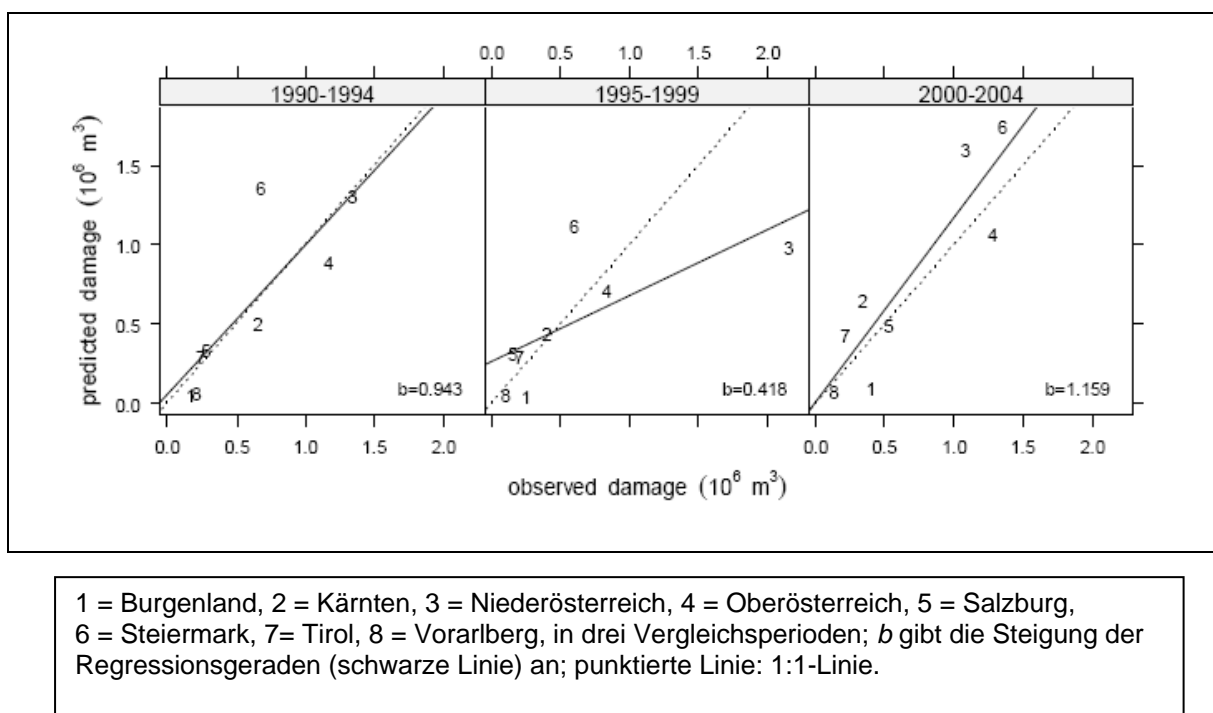


Abb. 26: Simulierte vs. erhobene Schäden unter aktuellem Klima durch Fichtenborkenkäfer (Quelle: SEIDL *et al.* 2008).

Die Ergebnisse von SEIDL *et al.* (2007b; 2008) zeigen, dass es auf regionaler Ebene sehr gut möglich ist, mittels des in *PICUS* integrierten Borkenkäferstörungsmoduls aufgetretene Befalls-Schäden zu reproduzieren, solange keine anderen Störungsfaktoren (wie etwa *Sturm*) mit diesen Borkenkäferstörungen interagieren (siehe dazu im mittleren Panel der Abbildung 26 den Datenpunkt 3, der wesentlich durch Windwürfe und Schneebruchschäden beeinflusst wurde).

## 5.2 Erhebung der Standortdaten

Das Projektgebiet für die vorliegende Arbeit befindet sich im Bezirk Amstetten (siehe Kapitel 4). Standortdaten wurden in den Waldorten *Abetzberg* und *Hametholz* erhoben. In den genannten Waldorten wurden neun Bestände ausgewählt, die verschiedene Bestandesentwicklungsphasen sekundärer Fichtenbestände im Nördlichen Alpenvorland sowie die vorhandenen Standortgegebenheiten umfassend repräsentieren.

Am *Abetzberg* wurden sechs Bestände und im *Hametholz* drei Bestände ausgewählt. Die Ermittlung von *Standortsmerkmalen* erfolgte über ein Stichprobenverfahren. Pro Bestand wurden im Regelfall vier Probekreise gelegt. Die Probepunkte wurden dauerhaft vermarktet, die Koordinaten mittels GPS eingemessen.

Die Stichprobenpunkte eines gegebenen Bestandes wurden auf einem nord-süd orientierten Raster angeordnet. Als erster Stichprobenpunkt eines Bestandes wurde der jeweils nördlichste Rasterpunkt ausgewählt, der mindestens eine Baumlänge von den Bestandesrändern entfernt sein musste (siehe Abbildung 27).

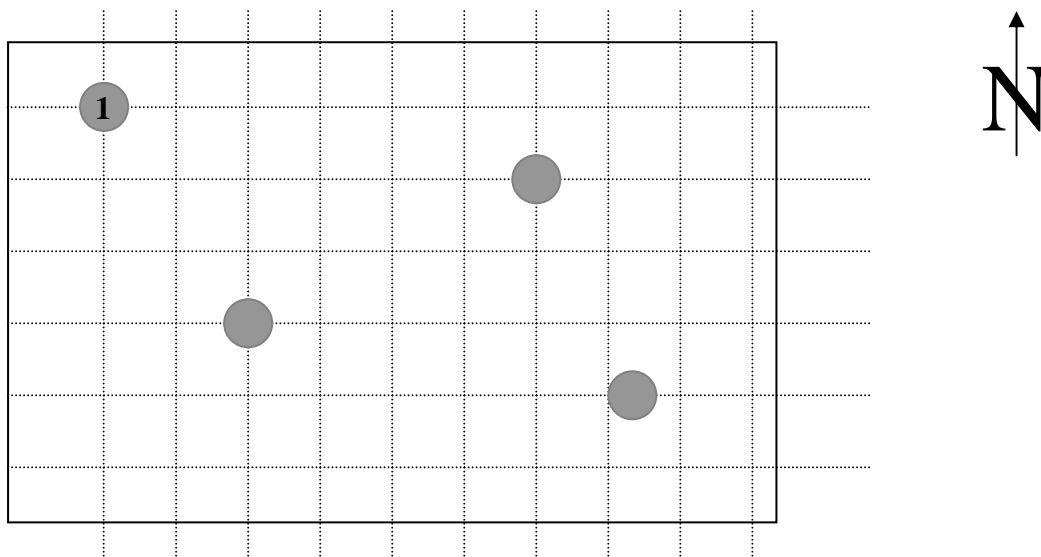


Abb. 27: Raster für die Anlage der Stichprobenpunkte (Quelle: *Inventur ClimChAlp*, Inst. für Waldbau, Univ. für Bodenkultur).

Die restlichen Stichprobenpunkte wurden auf einer Lageskizze mit einem eingezeichneten 30m-Raster möglichst gleichmäßig verteilt (siehe Abbildung 27). Danach wurden die Punkte zur Erhebung im Gelände aufgesucht.

Als Standortdaten wurden die Seehöhe in [m], die Hangneigung in [°], die Exposition in [°], die Topographie (*Oberhang, Mittelhang, Unterhang, Grabeneinhang, Talboden, Ebene* oder *Mulde*), die Geologie, die bestockungsfähige Fläche in [%], die Gründigkeit des Bodens in [cm], der Bodentyp, die Bodenart (Körnung/Textur), der prozentuelle Grobskelettgehalt im Oberboden, der Humustyp, die Mächtigkeit der Auflage in [cm], die Abfolge der Pedo-Horizonte in [cm], der Vegetationstyp, der Deckungsgrad in [%], die Höhenverteilung in [m] und die dominierende(n) Art(en) der Bodenvegetation erhoben.

Die erwähnten Standortmerkmale wurden auf einer konzentrischen Kreisfläche von 300m<sup>2</sup> um den Probepunkt aufgezeichnet (Stichprobeverfahren *fixe Probekreise*).

Für die Beschreibung gemessener Standortmerkmale dient die *Anleitung zur Forstlichen Standortskartierung in Österreich* von ENGLISCH & KILIAN (1998). Detaillierte bestandesspezifische Standortinformationen und das Datenerhebungsblatt werden im Anhang angeführt (siehe Tabellen A1 bis A10).



### 5.3 Klassifizierung der Standortdaten

Die Standortdaten wurden wie in der Tabelle 5 angegeben klassifiziert. In dieser Form werden sie als Input für das Waldwachstumsprogramm *PICUS* verwendet. Anhand der erhobenen Standortmerkmale wurden Standortstypen gebildet, die mit den in SEIDL *et al.* (2009) herangezogenen Standortseinheiten korrespondieren. Damit konnte in weiterer Folge auf die für die Initialisierung von *PICUS* notwendigen Parameter aus SEIDL *et al.* (2009) zurückgegriffen werden.

Tab. 5: Verwendete repräsentative Standortseinheiten im Projektgebiet (Quelle: SEIDL *et al.* 2009).

Merkmale	Standortseinheit <i>Parabraunerde</i>		Standortseinheit <i>Pseudogley</i>	
	<i>trockene</i> Variante	<i>frische</i> Variante	<i>trockene</i> Variante	<i>frische</i> Variante
Wasserspeicherkapazität [mm]	120	180	120	180
pH	5,68	5,68	4,33	4,33
C-Auflage [t/ha]	4,98	4,98	15,28	15,28
C-Mineralboden [t/ha]	85,77	85,77	106,82	106,82
N-Auflage [t/ha]	0,247	0,247	0,688	0,688
N-Mineralboden [t/ha]	10,83	10,83	9,53	9,53

## 5.4 Waldbauliche Produktionsprogramme (*Bestandesbehandlungskonzepte*)

### 5.4.1 Produktionsprogramm für *Fichtenreinbestände* im Nördlichen Alpenvorland (*Hauptwuchsgebiet 7*)

Die Bestandesbegründung erfolgt mit 2.500 Stück pro ha im Reihenverband 2,5m x 1,6m oder 3m x 1,3m (vgl. SPELLMANN 1995), bzw. einem Normalverband von 2m x 2m. Bei einer Oberhöhe (OH) von 12,5m (entspricht einem Alter von ca. 15 Jahren) wird die erste Reduktion der Stammzahl auf 1.600 Stück pro ha angesetzt (siehe Tabelle 6).

Tab. 6: Produktionsprogramm für *Fichtenreinbestände* im Nördlichen Alpenvorland.

OH [m]	Alter [Jahre]	Reduktion [N/ha]	Verbleibende Individuen [N/ha]	Nutzungsart
12,5	15	900	1.600	Stammzahlreduktion
20	30	600	1.000	Auslesedurchforstung
27	45	400	600	Auslesedurchforstung
30	65	250 - 300	350 - 300	Auslesedurchforstung
33	90	300 - 350	0	Endnutzung

Zum Abschätzen der Anzahl verbleibender Individuen für Oberhöhen bis ungefähr 25m dient die Faustformel von POLLANSCHÜTZ (1971) als Richtwert (1):

$$\text{Verbleibende Individuen nach Durchforstungseingriff} = 20.000 / \text{OH [N/ha]} \quad (1)$$

Im Alter 15 werden Rückegassen im Sinne später folgender Durchforstungseingriffe angelegt. Die *Durchforstungsintensität* (bzw. die *hektarbezogene Reduktion*) ist in dieser Phase mit 900 Stück pro ha beziffert. Das *Durchforstungsintervall* bis zum nächsten Eingriff liegt bei ca. 15 Jahren.

Im Alter 30 wird die erste *Auslesedurchforstung* vorgenommen, wobei der stärkste Bedränger potentieller Z-Bäume zu entnehmen ist. Pro ha soll ein Kollektiv von 300 bis 350 Individuen als Z-Bäume gefördert werden. Im Artikel *Gezielte Waldpflege für vitale, stabile Bäume* empfiehlt SCHUSTER (2009) die Freistellung von nicht mehr als 250 Z-Bäumen pro ha. Als Kriterien für die Z-Baum-Auswahl ab dem Alter von rund 30 Jahren werden ein BHD von mindestens 20cm, eine Oberhöhe von 20m und ein H/D-Verhältnis unter 80 festgelegt; die Kronenlänge soll zwischen der Hälfte und mindestens einem Drittel der Baumhöhe liegen. Im Sinne der Kronenpflege ist zu berücksichtigen, dass jeder Z-Baum im Endbestand mindestens über einen Standraum von mindestens 30m<sup>2</sup> verfügen muss, um den gewünschten Zuwachs innerhalb der Umtriebszeit zu erbringen. Das Intervall bis zum nächsten Durchforstungseingriff beträgt ca. 15 Jahre.

Ab einem Alter von etwa 45 Jahren und einer Oberhöhe von 27m erfolgt die Z-Baum-Auslese im Rahmen einer weiteren *Auslesedurchforstung*, bei welcher der stärkste Bedränger potentieller Z-Bäume geerntet wird. Theoretisch findet jeder verbleibende Baum nach diesem Eingriff einen Standraum von durchschnittlich knapp 17m<sup>2</sup> vor.

Das Intervall bis zum nächsten Durchforstungseingriff liegt wiederum bei rund 20 Jahren. Im Alter 65 und einer Oberhöhe von etwa 30m, nach dem Überschreiten der Hiebsunreife, wird ein weiterer Eingriff als *Ausleasedurchforstung* vorgenommen. Es wird der stärkste Bedränger der Z-Bäume geerntet. Spätestens nach dieser Entnahme setzt Hiebsruhe mit Vorratspflege der Z-Bäume ein: Der Zuwachs wird auf die Wertträger fokussiert; das Kronendach wird nunmehr im Sinne der Bestandesstabilität geschlossen gehalten. Das Intervall bis zum Kahlhieb liegt bei ca. 25 Jahren. Im Alter 90 und einer Oberhöhe von ungefähr 33m werden die verbliebenen Bäume mittels Kahlschlags geerntet und ein neuer Bestand ist zu begründen.

#### 5.4.2 Produktionsprogramm für *Lärchen-Buchenmischbestände* im Nördlichen Alpenvorland

Das Produktionsprogramm *Lärche-Buche* basiert auf einem Bestockungsziel von sechs Anteilen *Lärche* und vier Anteilen *Buche* (6 *Lä*; 4 *Bu*). Das Überschirmungsprozent des Hauptbestandes beträgt 100%. Das Produktionsziel dieses Bestandesbehandlungskonzeptes bezieht sich auf *wertvolles Lärchen-Nutzholz* (Zieldurchmesser 65cm und darüber). Die Buche dient in erster Linie als bestandes- und bodenpflegliche Mischbaumart (vgl. HOCHBICHLER, pers. Mitteilung, 2009). Die Umtriebszeit liegt im Mittel bei 100 (80-120) Jahren (siehe Tabelle 7).

Tab. 7: Produktionsprogramm für *Lärchen-Buchenmischbestände* im Nördlichen Alpenvorland (Quelle: HOCHBICHLER, pers. Mitteilung, 2009).

Wuchsklasse	Bereich	Zielsetzung	Maßnahme
Begründung	Etablierung	Bestandesbegründung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mulchen</li> <li>• Pflanzung (Engverband: 1.200 <i>Lä</i>, 3.000 <i>Bu</i>, (2,0m x 1,3 - 1,5m)</li> <li>• allfällige Nachbesserung</li> <li>• Kulturpflege</li> </ul>
Jungwuchs	$H \leq 130\text{cm}$	Mischungsregulierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Förderung (Erhaltung) von Mischbaumarten</li> </ul>
Dickung	$H > 130\text{cm}$ bis $D_{OH} < 10\text{cm}$	Mischungsregulierung und Qualitätsauslese	<ul style="list-style-type: none"> <li>• bei Bedarf Förderung (Erhaltung) von Mischbaumarten</li> <li>• bei Bedarf Begünstigung von vitalen, qualitativ entsprechenden Individuen der Lärche im Abstand von 5 - 6m</li> </ul>
Stangenholz	$D_{OH} 10 - 20\text{cm}$	Dichteregulierung, Standraumregulierung und Qualitätsauslese	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ab Erreichen einer Dürrastzone bei Lärche von 5 - 7m positive Auslese</li> <li>• <i>Lä</i>: Auswahl und Markierung von 60 (50 - 70) Z-Bäumen/ha aus mindestens <i>herrschender</i> Schicht;</li> <li>• Entnahme der 2 - 3 stärksten Bedränger;</li> <li>• Förderung qualitativ entsprechender Buche</li> </ul>
Baumholz	$D_{OH} 20 - 60\text{cm}$	Standraumregulierung und Verjüngung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durchforstungen: Entnahme der 1 (oder 2) stärksten Bedränger der Z-Bäume pro Dezennium bis <math>D_{OH} 40\text{cm}</math>; anschließend Vorratspflege;</li> <li>• Pflanzung (vor allem <i>Lä</i>) und Naturverjüngung (vor allem <i>Bu</i>)</li> </ul>

### 5.4.3 Produktionsprogramm für *Bergahorn-Eschenmischbestände* im Nördlichen Alpenvorland

Das Produktionsprogramm *Bergahorn-Esche* basiert auf einem Bestockungsziel von fünf Anteilen *Bergahorn* und fünf Anteilen *Esche* (5 *BAh*; 5 *Es*). Fallweise können Anteile von *Hainbuche*, *Lindenarten* (*Tilia* sp.) und *sonstigem Laubholz* integriert werden. Das Überschirmungsprozent des Hauptbestandes erreicht 70 bis 80%. Das Produktionsziel dieses Bestandesbehandlungskonzeptes bezieht sich auf *wertvolles Nutzholz* des Zieldurchmessers 60cm (vgl. HOCHBICHLER, pers. Mitteilung, 2009). Die Umtriebszeit liegt im Mittel bei 80 (70-90) Jahren (siehe Tabelle 8).

Tab. 8: Produktionsprogramm für *Bergahorn-Eschenmischbestände* im Nördlichen Alpenvorland (Quelle: HOCHBICHLER, pers. Mitteilung, 2009).

Wuchsklasse	Bereich	Zielsetzung	Maßnahme
Begründung	Etablierung	Bestandesbegründung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mulchen</li> <li>• Pflanzung (Engverband: 4.000 - 4.500 Es/BAh [2,2 - 2,5m x 0,8 - 1,2m] oder Weitverband: 800 - 1.500 Es/BAh (3m x 2,5m) oder Kleinflächenbepflanzung: 700 - 1.000 Es/BAh)</li> <li>• allfällige Nachbesserung; Kulturpflege;</li> <li>• Zaun oder Monosäulen</li> </ul>
Jungwuchs	H ≤ 130cm	Mischungsregulierung, Standraumregulierung und Qualitätsauslese	<ul style="list-style-type: none"> <li>• negative Auslese (Aushieb von Protzen und/oder <i>schlecht geformten, kranken</i> sowie <i>beschädigten</i> Individuen)</li> <li>• Formschnitte;</li> <li>• Förderung (Erhaltung) von Mischbaumarten</li> </ul>
Dickung	H > 130cm bis D <sub>OH</sub> < 10cm	Dichteregulierung und Qualitätsauslese	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Übergang zur positiven Auslese; Stammzahlverminderung im <i>Herrschenden</i> (Abstand ca. 3,0m); bei Bedarf Förderung (Erhaltung) von Mischbaumarten; Begünstigung von vitalen, qualitativ entsprechenden Individuen im Abstand von 6 - 7m</li> <li>• Entnahme der Bedränger</li> <li>• bei Bedarf Astung und Kronenpflege (2 - 3 Eingriffe)</li> </ul>
Stangenholz	D <sub>OH</sub> 10 - 20cm	Dichteregulierung, Standraumregulierung und Qualitätsauslese	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ab Erreichen der angestrebten astfreien Schaftlänge [5 - 7 (8)m] positive Auslese</li> <li>• BAh/Es: Auswahl und Markierung von 80 (70 - 90) Z-Bäumen/ha aus mindestens <i>herrschender</i> Schicht;</li> <li>• Entnahme der 2 - 3 stärksten Bedränger</li> </ul>
Baumholz	D <sub>OH</sub> 20 - 60cm	Standraumregulierung, Ernte und Verjüngung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durchforstungen: Entnahme der 1 (oder 2) stärksten Bedränger von Z-Bäumen pro Dezennium bis D<sub>OH</sub> = 40cm; anschließend Vorratspflege</li> <li>• Naturverjüngung (Schirmschlagverfahren)</li> </ul>

#### 5.4.4 Produktionsprogramm für *Stieleichen-Hainbuchenmischbestände* im HWG 7

Das Produktionsprogramm *Stieleiche-Hainbuche* basiert auf einem Bestockungsziel von sieben Anteilen *Stieleiche* und drei Anteilen *Hainbuche* (7 StEi; 3 Hbu). Alternativ zur Hainbuche eignen sich Linden für den dienenden Nebenbestand. Die Mindestgröße der Bestandeseinheiten (*Gruppen*) sollte 0,1ha nicht unterschreiten. Das Überschirmungsprozent des Hauptbestandes erreicht 70%. Das Produktionsziel dieses Bestandesbehandlungskonzeptes bezieht sich auf *wertvolles Nutzholz*. Die Umtriebszeit im Hauptwuchsgebiet 7 liegt im Mittel bei 100 (80-120) Jahren (siehe Tabelle 9).

Tab. 9: Produktionsprogramm für *Stieleichen-Hainbuchenmischbestände* im Nördlichen Alpenvorland (Quelle: HOCHBICHLER, pers. Mitteilung, 2009).

Wuchsklasse	Bereich	Zielsetzung	Maßnahmenart	Maßnahme
Begründung	Etablierung	Bestandesbegründung	Pflanzung  Kronenpflege	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mulchen</li> <li>• Pflanzung (N/ha): Engverband 3.500 - 4.000 StEi; 500 - 1.500 Hbu (2,2 - 2,5m x 0,8 - 1,2m) oder Weitverband 1.700 - 2.000 StEi (3 x 2m) oder Kleinflächenbepflanzung (2.500 StEi)</li> <li>• allfällige Nachbesserung; Kulturpflege</li> <li>• Zaun (Monosäulen sind für StEi nicht zweckmäßig)</li> </ul>
Jungwuchs	H ≤ 130cm	Mischungsregulierung, Dichteregulierung und Standraumregulierung	Jungwuchspflege	<ul style="list-style-type: none"> <li>• negative Auslese; Aushieb von Protzen und/ oder <i>schlecht geformten, kranken</i> sowie <i>beschädigten</i> Individuen</li> <li>• Erhaltung des Dichtschlusses</li> <li>• Formschnitte</li> <li>• Förderung (Erhaltung) von Mischbaumarten</li> </ul>
Dickung	H > 130cm bis D <sub>OH</sub> < 10cm	Mischungsregulierung, Dichteregulierung, Standraumregulierung und positive Auslese	Dickungspflege	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Übergang zur positiven Auslese; Stammzahlverminderung im <i>Herrschenden</i> (Abstand ca. 3,0m); bei Bedarf Förderung (Erhaltung) von Mischbaumarten; Begünstigung von vitalen, qualitativ entsprechenden Individuen im Abstand von 6 - 7m;</li> <li>• bei Bedarf Astung und Kronenpflege von 70 (60 - 80) N/ha (in 2 - 3 Eingriffen); Entnahme der Bedränger</li> </ul>
Stangenholz	D <sub>OH</sub> 10 - 20cm	Mischungsregulierung, Dichteregulierung, Standraumregulierung und positive Auslese	Durchforstung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ab Erreichen der angestrebten astfreien Schaftlänge [5 - 7 (8m)] positive Auslese:</li> <li>• StEi (Edellaubbäume): Auswahl und Markierung von 70 (60 - 80) Z-Bäumen/ha aus mindestens <i>herrschender</i> Schicht; Entnahme der 2 bis 3 stärksten Bedränger je Z-Baum</li> </ul>
Baumholz	D <sub>OH</sub> 20 - 60cm	Mischungsregulierung, Dichteregulierung, Standraumregulierung und Verjüngung	Durchforstung  Endnutzung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durchforstungen: Entnahme der 1 (oder 2) stärksten Bedränger je Z-Baum pro Dezennium bis D<sub>OH</sub> 40cm; anschließend Vorratspflege;</li> <li>• Naturverjüngung (Schirmschlagverfahren)</li> </ul>

## 5.5 Indikatoren zur Bewertung der Produktionsprogramme

In der Folge werden die Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicherung*, *Baumarteneignung*, *Biodiversität*, *Schadanfälligkeit*, *Kostenintensität* und *Grundwasserneubildung* charakterisiert. Diese Indikatoren wurden im Rahmen des Projekts *ClimChAlp* nach Übereinkunft mit der Niederösterreichischen Landesforstbehörde festgelegt (LEXER, pers. Mitteilung, 2009).

Die Indikatoren *Kohlenstoffspeicherung*, *Biodiversität* und *Grundwasserneubildung* quantifizieren einen Teil der *positiven externen Effekte*, welche die multifunktionale Waldwirtschaft parallel zur Holzproduktion erbringt (vgl. GLÜCK *et al.*, Vorlesung, 2002).

### 5.5.1 Produktivität

Die klimabedingte Änderung im Indikator *Produktivität* wird in der Simulation mit *PICUS v1.4* abgeschätzt. Es werden dabei prozentuelle Änderungen im oberirdischen Holzzuwachs in den drei Perioden (2000-2020, 2020-2050 und 2050-2100) relativ zum Basisklima der Periode über den durchschnittlichen Gesamtwuchs der Periode (dgz) quantifiziert.

### 5.5.2 Vorrat

Für die drei Untersuchungsperioden wird die *prozentuelle Änderung der stehenden Vorräte* als Indikator definiert. Betrachtet wird dabei die durchschnittliche Vorrats Höhe je Periode. Der Indikator kann direkt aus der Simulation mit *PICUS* bestimmt werden.

### 5.5.3 Kohlenstoffspeicherung (*Kohlenstoffsequestrierung*)

Die *prozentuelle Veränderung der ober- und unterirdischen Kohlenstoff-Pools* (tC pro ha) wird als klima- und managementsensitiver Indikator direkt in der Simulation mit *PICUS* ermittelt. Die *C-accounting*-Methode ist dabei ein mittlerer Bestandesvergleich (*mean C stock change*) in den drei Betrachtungszeiträumen.

### 5.5.4 Baumarteneignung

Die *Baumarteneignung* wird basierend auf dem Konzept der physiologischen Amplitude angeschätzt. Eine frühere Version dieses Baumarteneignungsmodells wurde von STEINER & LEXER (1998) vorgestellt (siehe Abbildung 28 und Tabelle 10).

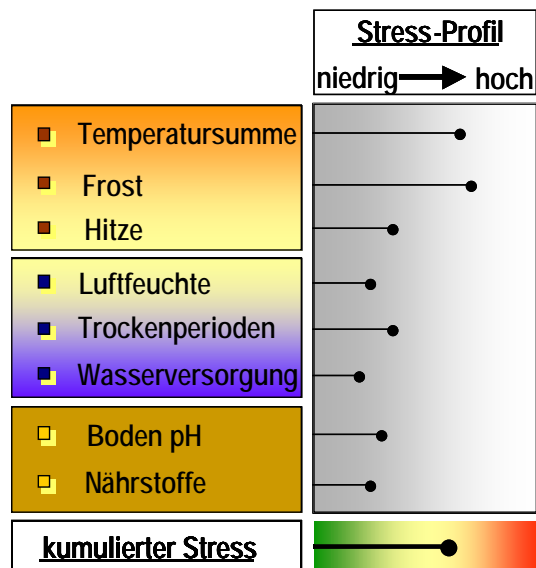


Abb. 28: Umweltfaktoren im Baumarteneignungsmodell (Quelle: LEXER, pers. Mitteilung, 2009).

Tab. 10: Umweltfaktoren im Baumarteneignungsmodell (Quelle: LEXER, pers. Mitteilung, 2009).

Faktorgruppen/ Faktoren	Beschreibung
Temperatur	
Wärmesumme	Temperatursumme > 0°C (wintergrüne Nadelbäume) oder >5°C (Laubbäume)
Frost	Winterminimumtemperatur approximiert durch die Temperatur des kältesten Monats
Hitze	maximale Temperatur Juli/ August
Wasserversorgung	
Dampfdruckdefizit	maximales Dampfdruckdefizit der Atmosphäre im Juli/ August
Bodentrockenheit	Wasserdefizit im Boden im Juli/ August
Wasserbilanz	Wasserbilanz über die Vegetationsperiode
Pseudovergleyung	ja/ nein
Nährstoffversorgung	
Boden-pH;	Azidität, Alkalinität
Boden-C/N	Stickstoffverfügbarkeit approximiert durch das C/N-Verhältnis im oberen Mineralboden
Durchwurzelbarkeit	abhängig vom Bodentyp
Gründigkeit	Gründigkeit

Dabei wird auf Basis von physiologischen Grundsätzen ein Skalar (0-1) der Stressbelastung (basierend auf Klima- und Bodendaten) berechnet. Dieser Schätzwert einer baumartenspezifischen autökologischen Eignung wird in *drei Kategorien* aggregiert (*gut*:  $\geq 0,75$ ; *mittel*  $0,75 < x < 0,25$ ; *gering*:  $\leq 0,25$ ).

Die Beurteilung des Indikators bezieht sich auf die Analyseperiode 2000-2100, wobei die drei Zeitperioden 2000-2020, 2020-2050 und 2050-2100 gesondert betrachtet werden. Für jedes Jahr wird ein Eignungswert bestimmt und der Median der Perioden kategorisiert. Die mit *PICUS* simulierten Baumartenanteile werden als Gewichtungsfaktoren verwendet. Der bestimmte Eignungswert bezieht sich also nicht auf generische Baumarten, sondern auf die jeweils simulierte Baumartenmischung (vgl. SEIDL & LEXER, Projektendbericht, 2008).

### 5.5.5 Biodiversität

*Biodiversität* wird über die beiden Sub-Indikatoren *stehendes Totholz* (> 10cm BHD) und *Baumartenvielfalt* repräsentiert. Werte für stehendes Totholz (m<sup>3</sup> pro ha) stehen direkt aus der Simulation mit *PICUS* zur Verfügung, Änderungen werden in Prozent der durchschnittlichen periodischen Totholzvorräte quantifiziert. Die Bewertung der Totholzvorräte erfolgt dabei in Anlehnung an Nachhaltigkeitsindikatoren für die Waldbewirtschaftung (*MCPFE, Walddialog*). Vorräte unter 3m<sup>3</sup> pro ha (Diskussionsgrundlage für den *Walddialog*) werden dabei als *gering* eingestuft. Als *hohe* Totholzvorräte werden Werte über 16m<sup>3</sup> pro ha eingestuft (vgl. SEIDL & LEXER, Projektendbericht, 2008). Aus Überlegungen der Biodiversität wären Totholzvorräte von bis zu 10% der stehenden Vorräte (etwa 32m<sup>3</sup> pro ha) empfehlenswert (vgl. MEYER 1999).

Die *Baumartendiversität* wird über den Shannon-Index (H') berechnet. Der Indikator berücksichtigt dabei sowohl die *Artenzahl* als auch die *relative Abundanz der Arten* (H' umso höher je mehr Arten und je gleichmäßiger die Verteilung der Artenanteile). Bezogen auf die sechs Hauptbaumarten, welche unter heutiger Bewirtschaftung berücksichtigt werden, kann dieser Index auch auf einen theoretischen Maximalwert normiert werden. Als Grenze für niedrige Artendiversität wird ein H' von 0,3 angesetzt (0,39 relativ zum maximalen H' aus sechs Baumarten). Unter diese Schwelle fallen beispielsweise Reinbestände, sowie Bestände mit nur zwei Baumartenanteilen. Als Schwelle für hohe Artendiversität wird ein H' von 0,5 (0,64 relativ zum maximalen H') vorgeschlagen. Darüber liegen alle Bestände mit mehr als drei Baumartenanteilen, sofern nicht eine Baumart dominiert (vgl. SEIDL & LEXER, Projektendbericht, 2008). Die Kombination der beiden Sub-Indikatoren *stehendes Totholz* und *Artendiversität* erfolgt gemäß Tabelle 11. Die Änderung der Indikatoren wird für die drei Betrachtungszeiträume 2000-2020, 2020-2050 und 2050-2100 beurteilt, wobei der Median der Jahreswerte in der Periode Verwendung findet.

Tab. 11: Aggregation des Indikators *Biodiversität* aus den Sub-Indikatoren *stehendes Totholz* und *Artendiversität* (Quelle: SEIDL & LEXER, Projektendbericht, 2008).

Artendiversität H'	stehendes Totholz (m <sup>3</sup> /ha)		
	gering (≤ 3)	mittel (3 ≤ x ≤ 16)	hoch (> 16)
gering (≤ 0,3)	gering	gering	mittel
mittel (0,3 ≤ x ≤ 0,5)	gering	mittel	mittel
hoch (> 0,5)	mittel	mittel	hoch



### 5.5.6 Schadanfälligkeit (*Vulnerabilität*)

Als *klimasensitive Schadfaktoren* werden die Aspekte *Borkenkäferschäden* (exemplarisch für Buchdrucker, *Ips typographus* L. Scol. Col.), *Windwurf* und *Schneebruch* als Sub-Indikatoren berücksichtigt. Borkenkäferschäden und ihre Rückkoppelungen auf Waldstruktur und Bewirtschaftung werden dabei dynamisch in *PICUS v1.4* simuliert. Als Indikator des Teilkriteriums *Borkenkäferschäden* wird der prozentuelle Schadanteil an der Gesamtproduktivität (dgz) definiert (vgl. SEIDL & LEXER, Projektendbericht, 2008).

Gefährdung durch *Windwurf* und *Schneebruch* wird über einen Prädispositionsansatz berücksichtigt (vgl. FÜHRER & NOPP, *Ursachen, Vorbeugung und Sanierung von Waldschäden*, 2001), wobei aufgrund des Studiendesigns nur die Bestandesprädisposition sowie ausgewählte, klimasensitive Standortskomponenten Verwendung finden. Die Aggregation zu einem Prädispositionsskalar (0 entspricht der *geringsten* Prädisposition, 1 bedeutet *höchste* Prädisposition) der einzelnen Schadfaktoren erfolgt gemäß FÜHRER & NOPP (*Ursachen, Vorbeugung und Sanierung von Waldschäden*, 2001). Die für den Faktor *Windwurf* berücksichtigten Prädispositionsfaktoren finden sich in der Tabelle 12. Die Tabelle 13 gibt die Prädispositionsfaktoren für *Schneebruch* wieder.

Die Kombination und Aggregation der drei Sub-Indikatoren erfolgt wie in den Tabellen 14 und 15 dargestellt. Dabei wird unter anderem eine Intensivierung von abiotischen Schadfaktoren und Borkenkäferschäden berücksichtigt. Während aus den Simulationsdaten Borkenkäferschäden bereits für die Untersuchungsperioden abgeleitet werden können, werden für Windwurf und Schneebruch die Berechnungen jährlich durchgeführt und der periodenspezifische Medianwert gebildet (vgl. SEIDL & LEXER, Projektendbericht, 2008).

Tab. 12: Prädispositionsfaktoren für den Indikator *Windwurf* und deren operationale Definition in der Simulation mit *PICUS* (Quelle: SEIDL & LEXER, Projektendbericht, 2008).

Indikator FÜHRER & NOPP, <i>Ursachen, Vorbeugung und Sanierung von Waldschäden</i> (2001)	operationale Definition (Simulation)	klimasensitiv
Baumartenzusammensetzung	Anteile der Baumarten an der Bestandesgrundfläche	(ja)
Bestandesoberhöhe (ordinal: 6 Klassen)	Oberhöhe des Bestandes nach ASSMANN	(ja)
Bodenwasser Winter <sup>1</sup>	max. relatives Bodenwasser DJF <sup>2</sup> , ordinal in 3 Klassen, <i>penalty-points</i> nach FÜHRER & NOPP, <i>Ursachen, Vorbeugung und Sanierung von Waldschäden</i> (2001) Indikator <i>Stauäссе</i>	ja
Altersstruktur (nominal: gleichaltrig/ ungleichaltrig)	an das Management gekoppelt bestimmen	nein
Ausgangspflanzenanzahl (ordinal: 3 Klassen)	über das <i>Bewirtschaftungsverfahren</i> (Naturverjüngung/ Kunstverjüngung) bestimmbar	nein
Pflegeregime (nominal: Stammzahlreduktion ja/ nein)	über das Produktionsprogramm bestimmbar	nein
Durchforstungsregime (nominal, 3 Klassen)	Durchforstungsstärke in der Bestandesentwicklung zu- oder abnehmend; über das Produktionsprogramm bestimmbar	nein
Hiebsruhe (nominal, Dauer und Beginn)	über das Produktionsprogramm bestimmbar	nein

1: in Anlehnung an FÜHRER & NOPP, *Ursachen, Vorbeugung und Sanierung von Waldschäden* (2001), modifiziert

2: Bodenwasser in den Wintermonaten *Dezember, Jänner und Februar*.

Tab. 13: Prädispositionsfaktoren für den Indikator *Schneebruch* und deren operationale Definition in der Simulation mit *PICUS* (Quelle: SEIDL & LEXER, Projektendbericht, 2008).

Indikator FÜHRER & NOPP, <i>Ursachen, Vorbeugung und Sanierung von Waldschäden</i> (2001)	operationale Definition (Simulation)	klimasensitiv
Baumartenzusammensetzung	Anteile der Baumarten an der Bestandesgrundfläche	(ja)
Bestandesklasse (nominal: 5 Klassen)	z.B. <i>Bestandesentwicklungsphasen</i> (Jungwuchs, Dickung, ...). Definition über den dg, aus der Simulation ableitbar	(ja)
Nassschneelagen - Seehöhe	Seehöhen-Kategorien aus FÜHRER & NOPP, <i>Ursachen, Vorbeugung und Sanierung von Waldschäden</i> (2001) mittels ÖWI-Klimatologie auf DJF <sup>1</sup> -Temperaturen umgerechnet	ja
Ausgangspflanzenanzahl (ordinal: 3 Klassen)	über das Bewirtschaftungsverfahren (Naturverjüngung/ Kunstverjüngung) bestimmbar	nein
Pflegeregime (nominal: Stammzahlreduktion ja/ nein)	über das Produktionsprogramm bestimmbar	nein
Stammzahlhaltung (N relativiert mit Oberhöhe; ordinal: 6 Klassen)	N/ha, Oberhöhe nach ASSMANN über alle Baumarten des Bestandes	(ja)
Grundflächenhaltung (G relativiert mit Oberhöhe, ordinal: 2 Klassen)	G/ha, Oberhöhe nach ASSMANN über alle Baumarten des Bestandes	(ja)
H/D-Wert (ordinal: 6 Klassen)	mittlerer Bestandes-H/D; LOREY'sche Mittelhöhe durch dg	(ja)

1: Temperaturen in den Wintermonaten *Dezember, Jänner* und *Februar*.

Tab. 14: Aggregation der abiotischen Schadfaktoren *Windwurf* und *Schneebruch* (Quelle: SEIDL & LEXER, Projektendbericht, 2008).

Schneebruch	Windwurf		
	gering ( $\leq 0,25$ )	mittel ( $0,25 \leq x \leq 0,75$ )	hoch ( $> 0,75$ )
gering ( $\leq 0,25$ )	gering	mittel	mittel
mittel ( $0,25 \leq x \leq 0,75$ )	mittel	mittel	hoch
hoch ( $> 0,75$ )	mittel	hoch	hoch

Tab. 15: Aggregation der Indikatoren für *Borkenkäferschäden* und *abiotische Schadfaktoren* (Quelle: SEIDL & LEXER, Projektendbericht, 2008).

Borkenkäferschäden	abiotische Schadfaktoren		
	gering	mittel	hoch
gering ( $\leq 5\%$ )	gering	mittel	mittel
mittel ( $5\% \leq x \leq 15\%$ )	mittel	hoch	hoch
hoch ( $> 15\%$ )	mittel	hoch	hoch

### 5.5.7 Kostenintensität (*Bewirtschaftungskosten*)

Der Indikator *Kostenintensität* soll den in unterschiedlichen Produktionsprogrammen notwendigen Kostenaufwand quantifizieren. Es geht dabei nicht um eine absolute Projektion der Bewirtschaftungskosten, was schon aufgrund der technologischen Entwicklung und der Unsicherheiten in Bezug auf Preis- und Kostenentwicklungen nicht möglich ist. Bewertet wird dabei, unter heutigen Relationen in den unterschiedlichen waldbaulichen Kostenfaktoren, die Änderung in der Bewirtschaftungsintensität durch Klimawandel (z.B. gestiegene Kalamitätsnutzungen) und durch alternative Produktionsprogramme. Es werden dabei nur direkte waldbauliche Kosten sowie Kosten der Holzernte berücksichtigt. Der Indikator wird als prozentuelle Änderung der Kosten (€ pro ha) ermittelt und kann aus der simulierten Bestandesentwicklungs-Trajektorie (geplante Bewirtschaftung, Kalamitätsnutzungen) abgeleitet werden (vgl. SEIDL & LEXER, Projektendbericht, 2008).

### 5.5.8 Grundwasserneubildung

Als Indikator für die Grundwasserneubildung wird die Tiefensickerung in [mm] Wassersäule aus der bestandesspezifisch berechneten Wasserbilanz herangezogen. Für die drei Beurteilungsperioden (2001-2020, 2021-2050 und 2051-2100) wird der jährliche durchschnittliche Wert dieses Elements als Indikatorwert festgelegt.

## 5.6 Simulations-Experimente

Für jeden der ausgewiesenen Standorte wurden je eine *trockene* und eine *frische* Variante (definiert über die Wasserspeicherkapazität) mit den dafür als *geeignet* eingeschätzten Baumartenmischungen unter aktuellem Klima (repräsentiert durch die Klimanormalperiode 1961-1990) und unter drei transienten Klimaänderungsszenarien (siehe Kapitel 6.1 und Tabelle 16) simuliert. Das Produktionsprogramm *Fichte (business as usual)* wurde für alle Standorte simuliert.

Tab. 16: Simulationsschema für das Projektgebiet.

Klimaänderungsszenario	Standortseinheit	Produktionsprogramm			
		<i>Fi-BAU</i>	<i>Lä-Bu</i>	<i>BAh-Es</i>	<i>StEi-Hbu</i>
<i>CC-A1B</i> <i>CC-A2</i> <i>CC-B1</i>	trockene Parabraunerde	X	X	X	
<i>CC-A1B</i> <i>CC-A2</i> <i>CC-B1</i>	frische Parabraunerde	X	X	X	
<i>CC-A1B</i> <i>CC-A2</i> <i>CC-B1</i>	trockener Pseudogley	X			X
<i>CC-A1B</i> <i>CC-A2</i> <i>CC-B1</i>	frischer Pseudogley	X			X

## 6. Daten

### 6.1 Klimaänderungsszenarien

Für die vorliegende Arbeit wurden drei Klimaänderungsszenarien gewählt, die als *CC-A1B*, *CC-A2* und *CC-B1* bezeichnet werden. Diese Klimaänderungsszenarien für das Projektgebiet im Nördlichen Alpenvorland basieren auf Szenarioläufen des *Globalen Klimamodells ECHAM5* (vgl. ROECKNER *et al.*, 2006; [http://www.mad.zmaw.de/IPCC\\_DDC/html/SRES\\_AR4/index.html](http://www.mad.zmaw.de/IPCC_DDC/html/SRES_AR4/index.html), 03. 03. 2009), welche mit einfachen Methoden regionalisiert wurden (vgl. SEIDL & LEXER 2008).

Je nach Szenario und Waldort nimmt die mittlere Jahrestemperatur im Verlauf des 21. Jahrhunderts mehr oder weniger stark zu. Bezüglich des Jahresniederschlags tritt wenig Veränderung auf; die Fluktuationen sind jedoch groß. Zunächst folgen die Kurzbeschreibungen der drei Klimaänderungsszenarien *CC-A1B*, *CC-A2* und *CC-B1* (vgl. IPCC, 2007):

- Die *CC-A1-Modellgeschichte* bzw. *-Szenarien-Familie* beschreibt eine zukünftige Welt mit sehr raschem Wirtschaftswachstum, einer Mitte des 21. Jahrhunderts kulminierenden und danach rückläufigen Weltbevölkerung, und rascher Einführung neuer und effizienterer Technologien. Wichtige grundlegende Themen sind *Annäherung von Regionen*, *Entwicklung von Handlungskompetenz* sowie *zunehmende kulturelle und soziale Interaktion* bei gleichzeitiger substantieller *Verringerung regionaler Unterschiede der Pro-Kopf-Einkommen*. Die *CC-A1-Szenarien-Familie* teilt sich in drei Gruppen auf, die unterschiedliche Ausrichtungen technologischer Änderungen im Energiesystem beschreiben. Die drei *CC-A1-Gruppen* unterscheiden sich in ihrer technologischen Hauptstoßrichtung: fossil-intensiv (*CC-A1FI*), nichtfossile Energiequellen (*CC-A1T*) oder eine ausgewogene Nutzung aller Quellen (*CC-A1B*), wobei ausgewogene Nutzung als eine *nicht allzu große Abhängigkeit von einer bestimmten Energiequelle und durch die Annahme eines ähnlichen Verbesserungspotentials für alle Energieversorgungs- und -verbrauchstechnologien* definiert ist (vgl. IPCC, 2007).
- Die *CC-A2-Modellgeschichte* bzw. *-Szenarien-Familie* beschreibt eine heterogene Welt: Das Grundthema ist *Autarkie* und *Bewahrung lokaler Identitäten*. Regionale Fruchtbarkeitsmuster konvergieren nur langsam, was eine *stetig zunehmende Bevölkerung* zur Folge hat. Die wirtschaftliche Entwicklung ist vorwiegend regional orientiert, das Pro-Kopf-Wirtschaftswachstum und technologische Veränderungen sind bruchstückhafter und langsamer als in anderen Modellgeschichten (vgl. IPCC, 2007).
- Die *CC-B1- Modellgeschichte* bzw. *-Szenarien-Familie* beschreibt eine konvergierende Welt, mit der gleichen, Mitte des 21. Jahrhunderts kulminierenden und danach rückläufigen Weltbevölkerung wie in der *CC-A1-Modellgeschichte*, jedoch mit *raschen Änderungen wirtschaftlicher Strukturen* in Richtung einer Dienstleistungs- und Informationswirtschaft, bei gleichzeitigem *Rückgang des Materialverbrauchs* und *Einführung von ressourceneffizienten Technologien*. Das Schwergewicht liegt auf globalen Lösungen für eine wirtschaftliche, soziale und umweltgerechte Nachhaltigkeit, einschließlich erhöhter sozialer Gerechtigkeit, aber ohne zusätzliche Klima-Initiativen (vgl. IPCC, 2007).

Die Abbildung 29 zeigt den Szenariofächer des *IPCC* (2007) in Bezug auf die globale Temperaturveränderung.

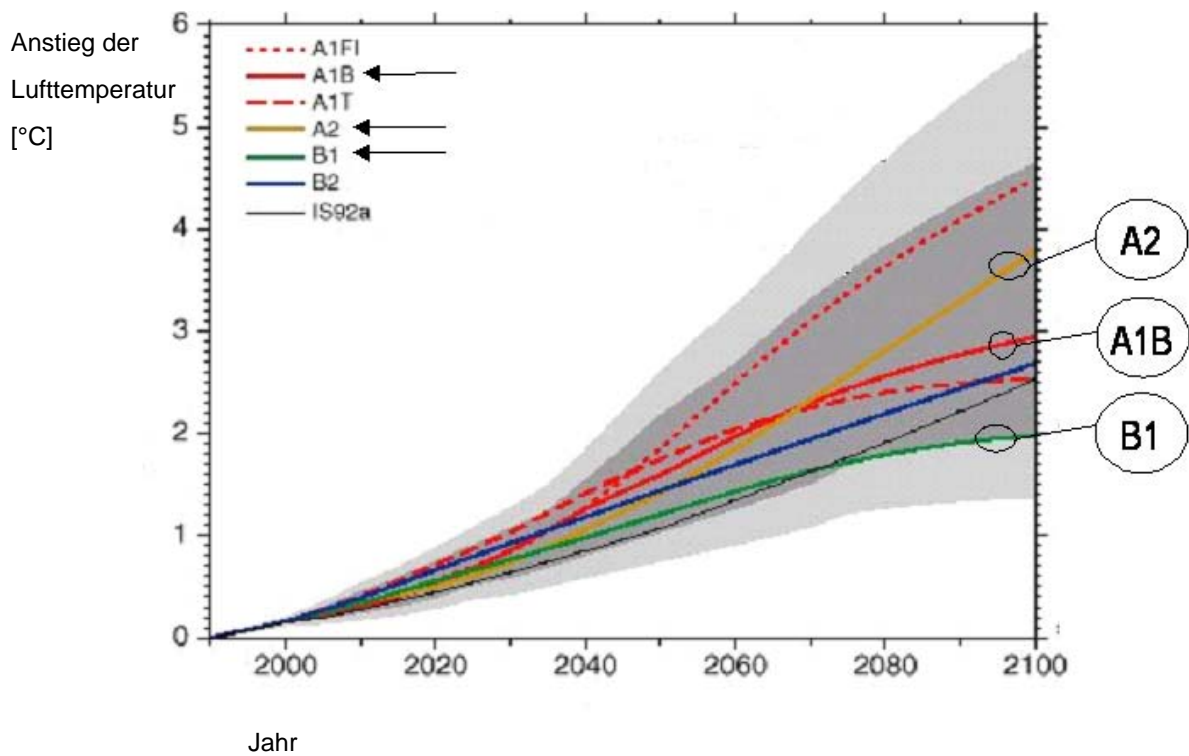


Abb. 29: Szenariofächer des *IPCC* in Bezug auf die Temperaturveränderung (global). Markiert sind die in gegenständlicher Arbeit verwendeten Emissionsszenarien *CC-A1B*, *CC-A2* und *CC-B1* (Quelle: *IPCC*, 2007).

### 6.1.1 Waldort *Abetzberg*

#### 6.1.1.1 Klimaänderungsszenario *CC-A1B*

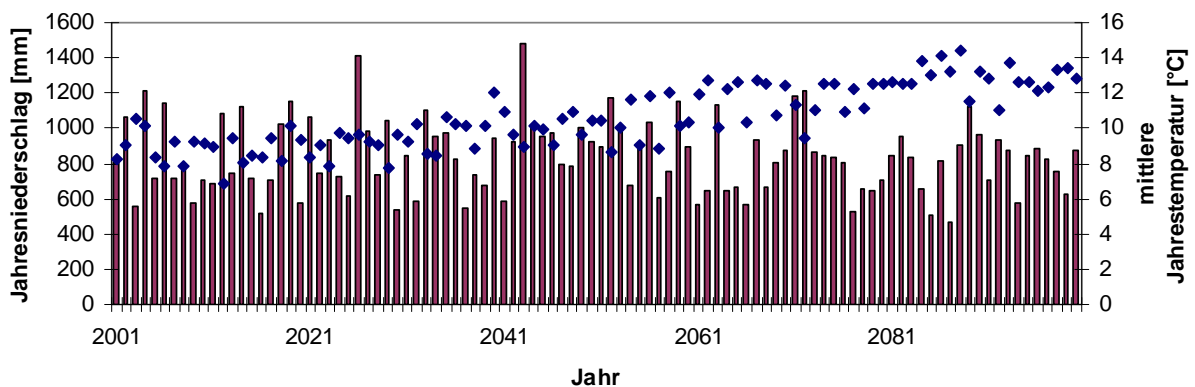


Abb. 30: Klimaänderungsszenario *CC-A1B* für den Waldort *Abetzberg* (Quelle: LEXER, pers. Mitteilung, 2007). Im Diagramm stellen Balken den *Jahresniederschlag* und rhombische Punkte die *mittlere Jahrestemperatur* dar.

Tab. 17: *Mittlere Jahrestemperatur, Jahresniederschlag, mittleres Dampfdruckdefizit und mittlere tägliche Globalstrahlung* ausgewählter Perioden des Klimaänderungsszenarios CC-A1B für den Waldort *Abetzberg* (Quelle: LEXER, pers. Mitteilung, 2007).

Periode	mittlere Jahrestemperatur [°C]	Jahresniederschlag [mm]	Dampfdruckdefizit [kPa]	Globalstrahlung [MJ/m <sup>2</sup> ]
2001 - 2020	8,8	831	0,35	10,31
2040 - 2060	9,8	880	0,37	10,75
2080 - 2100	12,9	795	0,37	11,07

### 6.1.1.2 Klimaänderungsszenario CC-A2

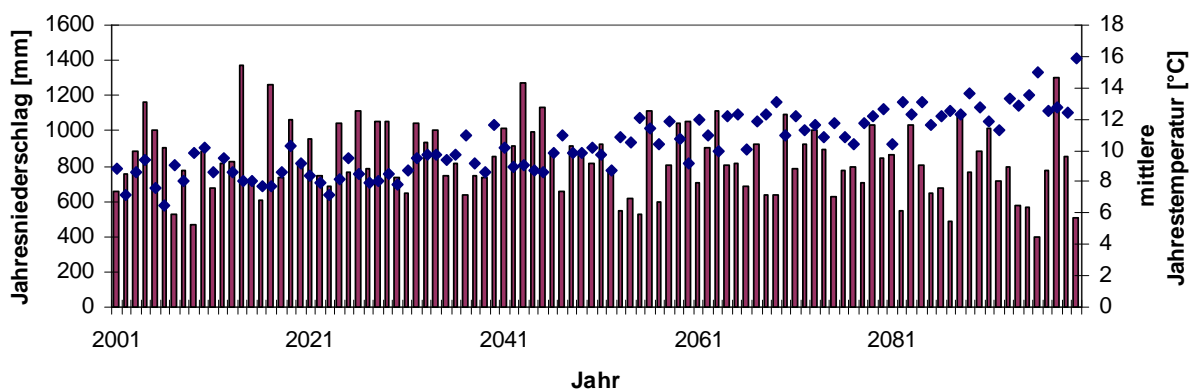


Abb. 31: Klimaänderungsszenario CC-A2 für den Waldort *Abetzberg* (Quelle: LEXER, pers. Mitteilung, 2007). Im Diagramm stellen Balken den *Jahresniederschlag* und rhombische Punkte die *mittlere Jahrestemperatur* dar.

Tab. 18: *Mittlere Jahrestemperatur, Jahresniederschlag, mittleres Dampfdruckdefizit und mittlere tägliche Globalstrahlung* ausgewählter Perioden des Klimaänderungsszenarios CC-A2 für den Waldort *Abetzberg* (Quelle: LEXER, pers. Mitteilung, 2007).

Periode	mittlere Jahrestemperatur [°C]	Jahresniederschlag [mm]	Dampfdruckdefizit [kPa]	Globalstrahlung [MJ/m <sup>2</sup> ]
2001 - 2020	8,6	843	0,35	10,02
2040 - 2060	10,1	872	0,36	10,89
2080 - 2100	12,8	768	0,36	10,98



### 6.1.1.3 Klimaänderungsszenario CC-B1

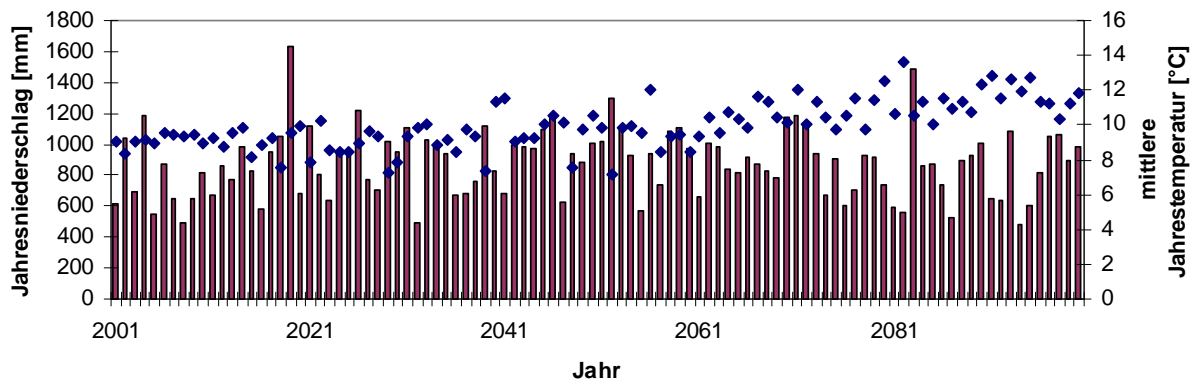


Abb. 32: Klimaänderungsszenario CC-B1 für den Waldort *Abetzberg* (Quelle: LEXER, pers. Mitteilung, 2007). Im Diagramm stellen Balken den *Jahresniederschlag* und rhombische Punkte die *mittlere Jahrestemperatur* dar.

Tab. 19: *Mittlere Jahrestemperatur, Jahresniederschlag, mittleres Dampfdruckdefizit und mittlere tägliche Globalstrahlung* ausgewählter Perioden des Klimaänderungsszenarios CC-B1 für den Waldort *Abetzberg* (Quelle: LEXER, pers. Mitteilung, 2007).

Periode	mittlere Jahrestemperatur [°C]	Jahresniederschlag [mm]	Dampfdruckdefizit [kPa]	Globalstrahlung [MJ/m <sup>2</sup> ]
2001 - 2020	9,1	828	0,35	10,19
2040 - 2060	9,7	950	0,37	10,44
2080 - 2100	11,6	832	0,37	11,08

Die Tabelle 20 stellt die Mittelwerte der drei betrachteten Klimaänderungsszenarien dem *baseline*-Szenario, stochastisch generiert aus den Daten der Periode 1961-1990, für drei ausgewählte Perioden (2001-2020, 2040-2060 und 2080-2100) gegenüber. Die mittlere Jahrestemperatur des *baseline*-Szenarios wird vom jeweiligen Klimaänderungsszenario subtrahiert (relativer Vergleich). Bezüglich des Jahresniederschlags wird das Verhältnis zwischen den drei Klimaänderungsszenarien und dem *baseline*-Szenario gebildet.

Tab. 20: Vergleich der Parameter *mittlere Jahrestemperatur* und *Jahresniederschlag* für die Klimaänderungsszenarien *CC-A1B*, *CC-A2* und *CC-B1* vs. *baseline*-Szenario (stochastisch generiert aus den Daten der Periode 1961-1990) am Waldort *Abetzberg* für die Perioden 2001-2020, 2040-2060 und 2080-2100 (Quelle: LEXER, pers. Mitteilung, 2007).

Periode	mittlere Jahrestemperatur [°C]			Jahresniederschlag [mm]		
	<i>CC-A1B</i>	<i>baseline</i>	Delta $\Delta$	<i>CC-A1B</i>	<i>baseline</i>	Verhältnis
2001 - 2020	8,8	8,3	$\pm 0,5$	831	827	1,0
2040 - 2060	9,8	8,1	$\pm 1,7$	880	897	1,0
2080 - 2100	12,9	8,5	$\pm 4,4$	795	837	0,9
Periode	mittlere Jahrestemperatur [°C]			Jahresniederschlag [mm]		
	<i>CC-A2</i>	<i>baseline</i>	Delta $\Delta$	<i>CC-A2</i>	<i>baseline</i>	Verhältnis
2001 - 2020	8,6	8,3	$\pm 0,3$	843	827	1,0
2040 - 2060	10,1	8,1	$\pm 2,0$	872	897	1,0
2080 - 2100	12,8	8,5	$\pm 4,3$	768	837	0,9
Periode	mittlere Jahrestemperatur [°C]			Jahresniederschlag [mm]		
	<i>CC-B1</i>	<i>baseline</i>	Delta $\Delta$	<i>CC-B1</i>	<i>baseline</i>	Verhältnis
2001 - 2020	9,1	8,3	$\pm 0,8$	828	827	1,0
2040 - 2060	9,7	8,1	$\pm 1,6$	950	897	1,1
2080 - 2100	11,6	8,5	$\pm 3,1$	832	837	1,0

## 6.1.2 Waldort *Hametholz*

### 6.1.2.1 Klimaänderungsszenario *CC-A1B*

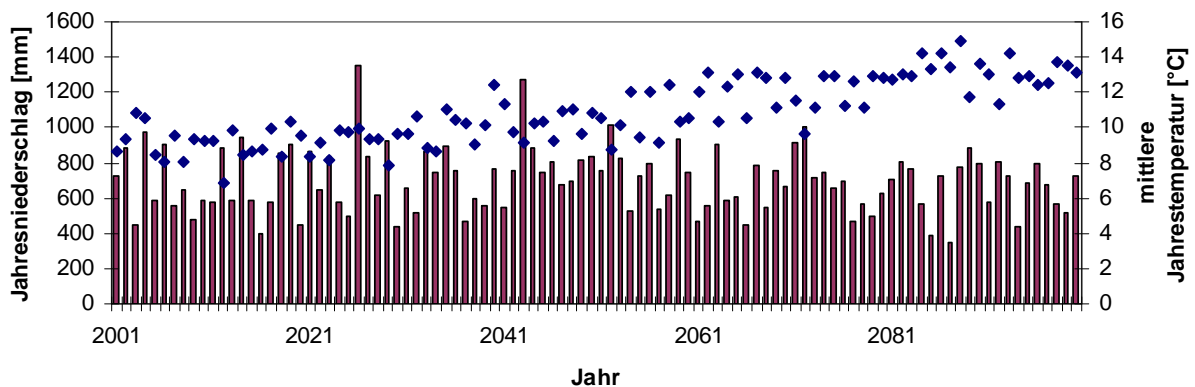


Abb. 33: Klimaänderungsszenario *CC-A1B* für den Waldort *Hametholz* (Quelle: LEXER, pers. Mitteilung, 2007). Im Diagramm stellen Balken den *Jahresniederschlag* und rhombische Punkte die *mittlere Jahrestemperatur* dar.

Tab. 21: *Mittlere Jahrestemperatur, Jahresniederschlag, mittleres Dampfdruckdefizit und mittlere tägliche Globalstrahlung* ausgewählter Perioden des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* für den Waldort *Hametholz* (Quelle: LEXER, pers. Mitteilung, 2007).

Periode	mittlere Jahrestemperatur [°C]	Jahresniederschlag [mm]	Dampfdruckdefizit [kPa]	Globalstrahlung [MJ/m <sup>2</sup> ]
2001 - 2020	9,1	678	0,37	10,84
2040 - 2060	10,4	774	0,40	11,17
2080 - 2100	13,2	663	0,39	11,66

### 6.1.2.2 Klimaänderungsszenario *CC-A2*

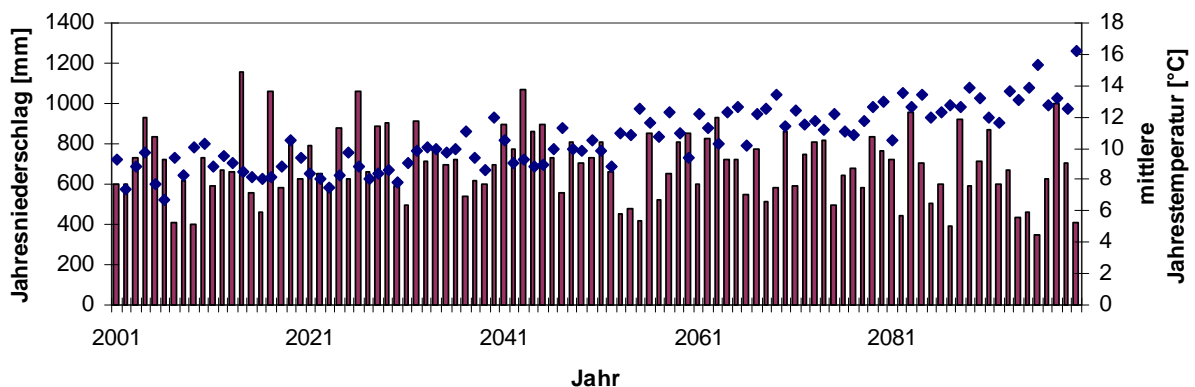


Abb. 34: Klimaänderungsszenario *CC-A2* für den Waldort *Hametholz* (Quelle: LEXER, pers. Mitteilung, 2007).

Tab. 22: *Mittlere Jahrestemperatur, Jahresniederschlag, mittleres Dampfdruckdefizit und mittlere tägliche Globalstrahlung* ausgewählter Perioden des Klimaänderungsszenarios CC-A2 für den Waldort *Hametholz* (Quelle: LEXER, pers. Mitteilung, 2007).

Periode	mittlere Jahrestemperatur [°C]	Jahresniederschlag [mm]	Dampfdruckdefizit [kPa]	Globalstrahlung [MJ/m <sup>2</sup> ]
2001 - 2020	8,8	689	0,37	10,53
2040 - 2060	10,4	725	0,39	11,30
2080 - 2100	13,0	640	0,38	11,57

### 6.1.2.3 Klimaänderungsszenario CC-B1

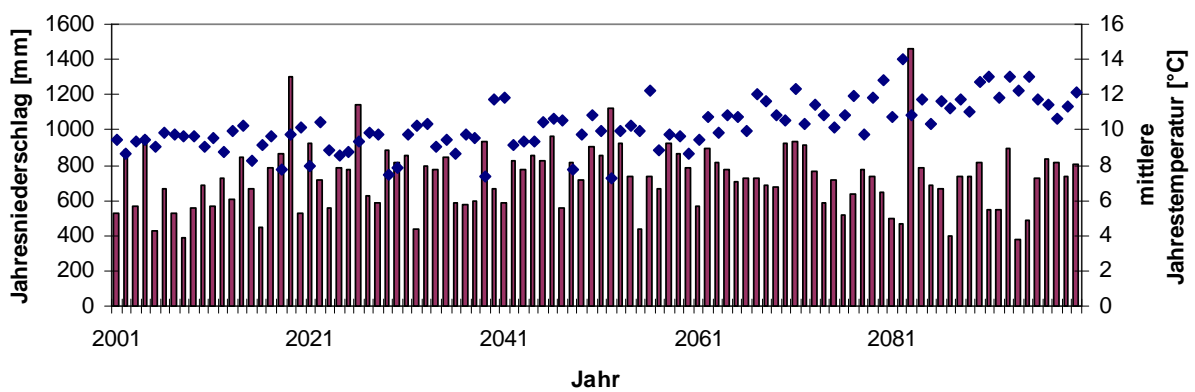


Abb. 35: Klimaänderungsszenario CC-B1 für den Waldort *Hametholz* (Quelle: LEXER, pers. Mitteilung, 2007). Im Diagramm stellen Balken den *Jahresniederschlag* und rhombische Punkte die *mittlere Jahrestemperatur* dar.

Tab. 23: *Mittlere Jahrestemperatur, Jahresniederschlag, mittleres Dampfdruckdefizit und mittlere tägliche Globalstrahlung* ausgewählter Perioden des Klimaänderungsszenarios CC-B1 für den Waldort *Hametholz* (Quelle: LEXER, pers. Mitteilung, 2007).

Periode	mittlere Jahrestemperatur [°C]	Jahresniederschlag [mm]	Dampfdruckdefizit [kPa]	Globalstrahlung [MJ/m <sup>2</sup> ]
2001 - 2020	9,4	676	0,37	10,71
2040 - 2060	9,9	789	0,40	10,84
2080 - 2100	11,9	698	0,39	11,65

Tab. 24: Vergleich der Parameter *mittlere Jahrestemperatur* und *Jahresniederschlag* für die Klimaänderungsszenarien *CC-A1B*, *CC-A2* und *CC-B1* vs. *baseline*-Szenario (stochastisch generiert aus den Daten der Periode 1961-1990) am Waldort *Hametholz* für die Perioden 2001-2020, 2040-2060 und 2080-2100 (Quelle: LEXER, pers. Mitteilung, 2007).

Periode	mittlere Jahrestemperatur [°C]			Jahresniederschlag [mm]		
	<i>CC-A1B</i>	<i>baseline</i>	Delta $\Delta$	<i>CC-A1B</i>	<i>baseline</i>	Verhältnis
2001 - 2020	9,1	8,5	$\pm 0,6$	678	676	1,0
2040 - 2060	10,5	8,3	$\pm 2,2$	774	749	1,0
2080 - 2100	13,2	8,8	$\pm 4,4$	663	703	0,9
Periode	mittlere Jahrestemperatur [°C]			Jahresniederschlag [mm]		
	<i>CC-A2</i>	<i>baseline</i>	Delta $\Delta$	<i>CC-A2</i>	<i>baseline</i>	Verhältnis
2001 - 2020	8,8	8,5	$\pm 0,3$	689	676	1,0
2040 - 2060	10,4	8,3	$\pm 2,1$	725	749	1,0
2080 - 2100	13,0	8,8	$\pm 4,2$	640	703	0,9
Periode	mittlere Jahrestemperatur [°C]			Jahresniederschlag [mm]		
	<i>CC-B1</i>	<i>baseline</i>	Delta $\Delta$	<i>CC-B1</i>	<i>baseline</i>	Verhältnis
2001 - 2020	9,4	8,5	$\pm 0,9$	676	676	1,0
2040 - 2060	9,9	8,3	$\pm 1,6$	789	749	1,1
2080 - 2100	11,9	8,8	$\pm 3,1$	698	703	1,0

## 6.2 Standortdaten

Als Standortdaten werden die *Seehöhe*, die *Topographie*, die *Geologie*, die *bestockungsfähige Fläche*, die *Gründigkeit des Bodens* (in cm), der *Bodentyp*, die *Bodenart*, der *prozentuelle Grobskelettanteil* im Oberboden und der *Humustyp* klassifiziert (siehe Kapitel 5.2). Das Datenerhebungsblatt befindet sich im Anhang (siehe Tabelle A10). Die Beschreibung der *Gründigkeit* und des *Grobanteils* im Oberboden basiert auf der *Anleitung zur Forstlichen Standortskartierung in Österreich* (ENGLISCH & KILIAN, 1998). Unter *Gründigkeit* versteht man die Mächtigkeit aller Bodenhorizonte über dem festen Gestein. Die Tabellen 25 und 26 zeigen, wie die Gründigkeit und der Grobbodenanteil klassifiziert wurden (vgl. Anleitung von ENGLISCH & KILIAN, 1998). Diese Standortmerkmale geben auch Aufschluss über die *Wasserhaushaltsklasse* und die *Trophiestufe*.

Tab. 25: Klassifikation der Gründigkeit von Waldböden in Österreich (Quelle: Anleitung von ENGLISCH & KILIAN, 1998).

sehr flachgründig	bis 15cm
flachgründig	bis 30cm
mittelgründig	bis 60cm
tiefgründig	bis 120cm
sehr tiefgründig	tiefer als 120cm

Tab. 26: Beurteilung des Grobbodenanteils (Quelle: Anleitung von ENGLISCH & KILIAN, 1998).

Bezeichnung	% vom Bodenvolumen
geringer Grobanteil	0 - 10
mäßiger Grobanteil	10 - 20
hoher Grobanteil	20 - 40
sehr hoher Grobanteil	40 - 80
vorwiegend Grobanteil	> 80

### 6.2.1 Lage und Standort des Bestandes *Abetzberg 1*

Der Bestand *Abetzberg 1* liegt in einer Seehöhe von 385m an einem *Oberhang*. Ausgangsmaterial der Bodenbildung ist die *Molasse*. Die bestockungsfähige Fläche liegt bei 100 Prozent. Die Böden sind *mittel-* bis *tiefgründig* (siehe Tabelle 25). Der Grobanteil im Oberboden ist *gering* (siehe Tabelle 26). Als Bodentyp wurde *Pseudogley* angesprochen, als Humustyp tritt *Moder* auf.

Die Bodenart (*lehmiger Ton* und *toniger Lehm*) kann trotz hoher Wasserspeicherkapazität (*WHC*) die Wasserversorgung und die Stabilität der Bestockung beeinträchtigen, weil Diskontinuitäten der Textur im *Solum* (*Staukörper*) ein Hindernis für die Durchwurzelung unangepasster Baumarten (z.B. *Fichte*) darstellen: Pseudogleye sind durch periodischen Sauerstoffabschluss von Bodenschichten gekennzeichnet. Die Wasserhaushaltsklasse wechselt zwischen *feucht* und *trocken*. Beim Bestand

*Abetzberg 1* handelt es sich wegen teilweiser anaerober Bedingungen im Wurzelraum um einen potentiell wüchsigen *Eichen-Zwangsstandort* hoher Trophiestufe. Die vorliegende Standortsinformation wird in der Tabelle A1 im Anhang zusammengefasst.

### 6.2.2 Lage und Standort des Bestandes *Abetzberg 2*

Der Bestand *Abetzberg 2* liegt in einem Seehöhenbereich zwischen 350 und 360m in einem *Grabeneinhang* bis *Mittelhang*. Ausgangsmaterial der Bodenbildung ist die *Molasse*. Die bestockungsfähige Fläche liegt bei 100 Prozent. Die Böden sind *mittel-* bis *tiefgründig* (siehe Tabelle 25). Der Grobanteil im Oberboden wird als *gering* eingestuft (siehe Tabelle 26). Als Bodentyp ist ausschließlich *Parabraunerde*, als Humustyp *Moder* anzutreffen. Die ausgewogene Textur des Oberbodens (*toniger Lehm* und *Lehm*) gewährleistet eine relativ hohe Wasserspeicherfähigkeit. Die Wasserhaushaltsklasse ist wegen ortsfremden Wasserzuzugs (Tagwasser und *interflow*) am Hangfuß als *frisch* zu beurteilen.

Ab 700mm Jahresniederschlag werden Parabraunerden als gute Waldböden eingestuft (vgl. SCHUME *et al.*, Proseminar, 2001). Die Aufzeichnungen der Klimastation Amstetten (vgl. ZAMG, 2007) ergeben für die Klimanormalperiode 1961-1990 eine durchschnittliche Jahresniederschlagssumme von 856mm (siehe Kapitel 4.2.2). Wegen erwarteter größerer Schwankungen der Jahresniederschläge im Klimawandel könnten die Risiken der forstwirtschaftlichen Produktion, insbesondere im Wuchsgebiet 7.2, dem Ostteil, weiter ansteigen (siehe Abbildungen 16 und 29 bis 35). Die Wasserspeicherfähigkeit lehmiger bis toniger Böden kann periodische Trockenzeiten bei entsprechender Gründigkeit des *Solums* teilweise überbrücken. Tiefwurzelnde Baumarten haben dadurch Konkurrenzvorteile gegenüber flachwurzelnden Mitbewerbern. Darüber hinaus verringert regelmäßige Waldpflege etwaige Interzeptionsverluste im Bestandesinneren und passt zudem die Anzahl der Verbraucher an die verfügbaren Ressourcen an (*symmetrische Konkurrenz* bei Bodenwasser und Bodennährstoffen, *asymmetrische Konkurrenz* bei Licht; vgl. NEWTON 1998; KATZENSTEINER & SIEGHARDT, Vorlesung, 2004).

Der Standort *Abetzberg 2* verfügt über eine hohe Trophiestufe und über eine gute Bonität (Ertragsklasse): Basensättigung, Nährstoff- und Wasserversorgung sind also ziemlich günstig und der Standort hat ein erhebliches Potential zur Wertholzproduktion mit Edellaubbaumarten. Die vorliegende Standortsinformation wird in der Tabelle A2 im Anhang zusammengefasst.

### 6.2.3 Lage und Standort des Bestandes *Abetzberg 3*

Der Bestand *Abetzberg 3* liegt in einer Seehöhe von 390m an einem *Mittelhang*. Ausgangsmaterial der Bodenbildung ist die *Molasse*. Die bestockungsfähige Fläche liegt bei 100 Prozent. Die Böden sind *mittel-* bis *tiefgründig* (siehe Tabelle 25). Der Grobanteil im Oberboden wird als *gering* eingestuft (siehe Tabelle 26). Als Bodentyp überwiegt *Parabraunerde*, als Bodenart *Lehm*. Auf Standorten, die zu *tonigem Lehm* tendieren, tritt vermehrt Tagwassereinfluss (Bodentyp *Pseudogley*) auf. Als Humustyp dominiert jedenfalls der *Moder*. Die ausgewogene Textur des Oberbodens (*toniger Lehm* und *Lehm*) gewährleistet eine verhältnismäßig hohe Wasserspeicher-

fähigkeit. Die Trophiestufe und die Ertragsklasse dieses Standortes sind ziemlich hoch. Daher besteht auch hier ein beträchtliches Potential zur Wertholzproduktion mit Edellaubbaumarten. Die vorliegende Standortinformation wird in der Tabelle A3 im Anhang zusammengefasst.

#### 6.2.4 Lage und Standort des Bestandes *Abetzberg 4*

Der Bestand *Abetzberg 4* liegt in einer Seehöhe von 390m an einem *Mittelhang*. Ausgangsmaterial der Bodenbildung ist die *Molasse*. Die bestockungsfähige Fläche liegt bei 100 Prozent. Die Böden sind *mittelgründig* (siehe Tabelle 25). Der Grobanteil im Oberboden wird als *gering* eingestuft (siehe Tabelle 26). Als Bodentyp tritt ausschließlich *Parabraunerde* in Erscheinung. Überwiegender Humustyp ist der *Moder*. Die ausgewogene Textur des Oberbodens (*Lehm*) gewährleistet eine optimale Wasserspeicherefähigkeit. Dieser Standort verfügt über eine relativ hohe Trophiestufe. Damit ist eine fundamentale Voraussetzung für eine Wertholzproduktion mit Edellaubbaumarten erfüllt. Die vorliegende Standortinformation wird in der Tabelle A4 im Anhang zusammengefasst.

#### 6.2.5 Lage und Standort des Bestandes *Abetzberg 5*

Der Bestand *Abetzberg 5* liegt in einer *Ebene* mit 380m Seehöhe. Ausgangsmaterial der Bodenbildung ist die *Molasse*. Die bestockungsfähige Fläche liegt bei 100 Prozent. Die Böden sind *mittelgründig* (siehe Tabelle 25). Der Grobanteil im Oberboden wird als *hoch* bis *sehr hoch* eingestuft (siehe Tabelle 26). Auftretende Bodentypen sind einerseits *Braunerde* und andererseits *Parabraunerde*, der dominante Humustyp ist der *Moder*. Die Körnung des Oberbodens (*sandiger Lehm*) spiegelt die Dynamik der *Lessivierung* auf diesem Standort wider: Tonpartikel werden *mit perkolierendem Tagwasser (ombrogen bedingt)* aus oberflächennahen Bodenporen des Eluvial-Horizontes in darunter befindliche Hohlräume verlagert, wo dem Regenwasser die erodierende Kraft entzogen wird.

Die Trophiestufe hängt vor allem von der Nachbeschaffung der Nährstoffe im Oberboden (Pufferbereich, Verwitterungsrate) und deren Aufschließung (Bioverfügbarkeit) ab. Bei *reliktischem Bodenmaterial* ist das Potential von Nährstoffimporten bzw. Verlusten am Mikrostandort zu berücksichtigen, je nach dem, ob es sich um eine *Akkumulations-* oder um eine *Depletionslage (Erosionslage)* handelt. Die vorliegende Standortinformation wird in der Tabelle A5 im Anhang zusammengefasst.

#### 6.2.6 Lage und Standort des Bestandes *Abetzberg 6*

Der Bestand *Abetzberg 6* liegt in einer Seehöhe von 370m an einem *Mittelhang*. Ausgangsmaterial der Bodenbildung ist die *Molasse*. Die bestockungsfähige Fläche liegt bei 100 Prozent. Die Böden sind *mittel-* bis *tiefgründig* (siehe Tabelle 25). Der Grobanteil im Oberboden wird als *gering* eingestuft (siehe Tabelle 26). Als Bodentyp tritt ausschließlich die *Parabraunerde* auf. Als Humustyp überwiegt der *Moder*. Die Tendenz zu *mullartigem Moder* ist auf frühere Laubbestockungen zurückzuführen. Die Textur des Oberbodens (*Lehm*) gewährleistet eine optimale Wasserspeicherefähigkeit. Dieser wüchsige Standort verfügt über eine hohe Trophiestufe. Die



vorliegende Standortsinformation wird in der Tabelle A6 im Anhang zusammengefasst.

#### 6.2.7 Lage und Standort des Bestandes *Hametholz 1*

Der Bestand *Hametholz 1* liegt in einer Seehöhe von 290m an einem *Oberhang*. Ausgangsmaterial der Bodenbildung ist die *Molasse*. Die bestockungsfähige Fläche liegt bei 100 Prozent. Die Böden sind *mittelgründig* (siehe Tabelle 25). Der Grobanteil im Oberboden wird als *gering* eingestuft (siehe Tabelle 26). Als Bodentyp kommt ausschließlich der *Pseudogley* vor. Der dominante Humustyp ist der *Moder*. Die Körnung des Oberbodens (*schluffiger Ton*) deutet einen substratbedingten Staukörper und eine zwischen *feucht* und *trocken* wechselnde Wasserhaushaltsklasse an. Die vorliegende Standortsinformation wird in der Tabelle A7 im Anhang zusammengefasst.

#### 6.2.8 Lage und Standort des Bestandes *Hametholz 2*

Der Bestand *Hametholz 2* liegt in einer Seehöhe von 280m an einem *Oberhang*. Ausgangsmaterial der Bodenbildung ist die *Molasse*. Die bestockungsfähige Fläche liegt bei 100 Prozent. Die Böden sind *mittelgründig* (siehe Tabelle 25). Der Grobanteil im Oberboden wird als *gering* eingestuft (siehe Tabelle 26). Als Bodentyp tritt ausschließlich der *Pseudogley* in Erscheinung. Als Humustyp überwiegt der *Moder*. Die Textur des Oberbodens (*Ton*) deutet einen substratbedingten Staukörper und eine besonders stark zwischen *feucht* und *trocken* wechselnde Wasserhaushaltsklasse an. Die vorliegende Standortsinformation wird in der Tabelle A8 im Anhang zusammengefasst.

#### 6.2.9 Lage und Standort des Bestandes *Hametholz 3*

Der Bestand *Hametholz 3* liegt in einer Seehöhe von 290m an einem *Oberhang*. Ausgangsmaterial der Bodenbildung ist die *Molasse*. Die bestockungsfähige Fläche liegt bei 100 Prozent. Die Böden sind *mittelgründig* (siehe Tabelle 25). Der Grobanteil im Oberboden wird als *gering* eingestuft (siehe Tabelle 26). Als Bodentyp ist ausschließlich der *Pseudogley* vertreten. Als Humustyp dominiert der *Moder*. Die Körnung des Oberbodens (*lehmiger Ton*) deutet einen substratbedingten Staukörper und eine zwischen *feucht* und *trocken* wechselnde Wasserhaushaltsklasse an. Die vorliegende Standortsinformation wird in der Tabelle A9 im Anhang zusammengefasst.

## 7. Ergebnisse

### 7.1 Allgemeine Trends

Die *mäßig frische bis frische* Standortseinheit ist meistens produktiver und vorratsreicher als die *trockene bis mäßig frische*, sowohl beim terrestrischen Bodentyp (*Parabraunerde*) als auch beim semi-terrestrischen Bodentyp (*Pseudogley*).

Die Standortseinheit *Parabraunerde* kommt im *Hametholz* nicht vor. Weil aber die vorliegende Arbeit als Studie für die Behandlung sekundärer Fichtenbestände im Nördlichen Alpenvorland gedacht ist, wurde die Standortseinheit *Parabraunerde* sowohl für den Waldort *Abetzberg* als auch für das *Hametholz* simuliert.

Im niederschlagsreicheren, westlich gelegenen Klimaraum *Abetzberg* beträgt die Grundwasserneubildung etwa 300mm pro Jahr. Im kontinentaleren, östlich liegenden Klimaraum *Hametholz* sind es ca. 200mm pro Jahr.

Die graduellen Unterschiede hinsichtlich der Wasserhaushaltsklasse werden in der Folge als die zwei Varianten *frisch* und *trocken* unterschieden.

Die Tabellen A11 bis A30 im Anhang beziehen sich auf die Abbildungstabellen mit den verschiedenen Klimaszenarien. Die Tabellen A31 bis A50 im Anhang enthalten die Zahlenwerte für den Abbildungstyp mit den Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* (das Szenario mit dem größten Temperaturanstieg, siehe Kapitel 6.1) relativ zum heutigen Klima.

Abbildungen zu den Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima scheinen für die Indikatoren *Biodiversität*, *Schadanfälligkeit* und *Kostenintensität* dann nicht auf, wenn sich die Klimaszenarien vom *baseline*-Szenario nicht unterscheiden.

Der Indikator *Grundwasserneubildung* zeigt für das Klimaänderungsszenario *CC-A1B* in Relation zum *baseline*-Szenario für alle Standortseinheiten, Varianten und Analyseperioden positive Veränderungen.

Das konventionelle Produktionsprogramm *Fichte* (Bestandesbehandlungskonzept *Fichte, business as usual*, siehe Kapitel 5.4.1) kennzeichnet eine sehr hohe potentielle *Produktivität*, die erwartungsgemäß für die bestandsspezifischen Simulationen innerhalb der zweiten Periode (2021-2050) kulminiert. Große Schwankungen zwischen den drei betrachteten Klimaänderungsszenarien ab der zweiten Periode beruhen auf der Koinzidenz mit dem potentiellen Fichtenborkenkäferbefall, der ab der Stangenholzphase und insbesondere in der Baumholzphase eintritt: Die großflächig einheitliche Durchmesserstruktur vorhandener Fichten-Altersklassenwaldbestände wird am Übergang zur Baumholzphase als Habitat für Fichtenborkenkäferarten zunehmend attraktiv. Dieser Trend spiegelt sich in beachtlichen Abweichungen der drei Klimaänderungsszenarien vom *baseline*-Szenario wider. Als Folge ist besonders der Indikator *Kohlenstoffspeicherung* in der dritten Periode (2051-2100) betroffen. (Generell sind die Unterschiede zwischen den Klimaänderungsszenarien für das waldbauliche Produktionsprogramm *Fichte* stark ausgebildet).

Die Klimaänderungsszenarien für die Produktionsprogramme *Lärche-Buche* (siehe Kapitel 5.4.2) und *Bergahorn-Esche* (siehe Kapitel 5.4.3) zeigen ebenfalls häufig Produktivitäten und Vorräte, die aufgrund der Wuchsdynamik in der zweiten Periode (2021-2050) ihr Maximum erzielen. Im Klimaänderungsszenario *CC-A1B* zeigt die dritte Periode (2051-2100) für die Produktionsprogramme *Lärche-Buche* und *Bergahorn-Esche* jedoch im Gegensatz zum konventionellen Produktionsprogramm *Fichte* ebenfalls noch eine gute Produktivität.

Laubhölzer integrierende Programme haben im Gegensatz zum konventionellen, auf *Fichte* ausgerichteten Produktionsprogramm eine über die gesamte Analyseperiode hinweg ziemlich stabile Vorratsentwicklung.

Wenn äquivalente Standortseinheiten der Klimaräume *Abetzberg* und *Hametholz* in Relation gesetzt werden (mit den Standortvarianten *frische und trockene Parabraunerde* sowie *frischer und trockener Pseudogley*), fallen die Indikatoren *Produktivität* und *Vorrat* im Klimaraum *Hametholz*, insbesondere für das Klimaänderungsszenario *CC-A1B* niedriger aus als im Klimaraum *Abetzberg*, vermutlich wegen geringerer Seehöhe und besonders schwerer Böden im *Hametholz* (siehe Anhang, Tabellen A7 bis A9). Diese Feststellung trifft auf die Produktionsprogramme *Fichte-BAU*, *Bergahorn-Esche* und *Lärche-Buche* zu, nicht aber auf die Produktionsprogramme *Stieleiche-Hainbuche* aller Standortvarianten, sowie *Lärche-Buche* auf der *frischen* Variante der Standortseinheit *Parabraunerde*.

## 7.2 Produktionsprogramm *Fichte-BAU*

Da das Interesse am Anpassungsvermögen bzw. der Toleranz der Fichte im Klimawandel besonders hoch ist, wurde das konventionelle Produktionsprogramm *Fichte-BAU* für die zwei Klimaräume (*Abetzberg* und *Hametholz*), die zwei Standorteinheiten (*Parabraunerde* und *Pseudogley*) und die zwei Varianten (*frisch* und *trocken*) mit dem Waldökosystemmodell *PICUS* simuliert (siehe auch Tabelle 16). Waldbauliche Details zu diesem Produktionsprogramm sind im Kapitel 5.4.1 dargestellt.

Die Produktivität gipfelt in allen Szenarien in der zweiten Periode (2021-2050). Im Vergleich zum *baseline*-Szenario ist die Produktivität in allen drei Klimaänderungsszenarien geringer (siehe Abbildungen 36 bis 43), vielleicht am meisten ausgeprägt in der dritten Periode (2051-2100).

Die Werte für den Vorrat im *baseline*-Szenario steigen stetig an und reichen bis zu knapp 700 m<sup>3</sup> pro ha in der dritten Periode auf *frischer Parabraunerde* im Klimaraum *Abetzberg*, während unter dem Klimaänderungsszenario *CC-A1B* ein Wert von etwa 200 m<sup>3</sup> pro ha simuliert wird. Die Differenzen zwischen *baseline*-Szenario und Klimaänderungsszenarien steigen beim Vorrat von Periode zu Periode an (siehe Abbildungen 36 bis 43).

Analog zu Produktivität und Vorratsentwicklung kulminiert auch die Kohlenstoffspeicherung (bzw. *Kohlenstoffsequestrierung*) wie erwartet in der zweiten Periode (2021-2050). In der dritten Periode ist die Tendenz rückläufig, was auch hier in Zusammenhang mit Störungen durch Fichtenborkenkäferbefall gebracht werden kann (siehe Abbildungen 36 bis 43).

Im *baseline*-Szenario sind die Werte für den Indikator *Kohlenstoffspeicherung* weit aus höher als in allen betrachteten Klimaänderungsszenarien. Die Differenzen sind nicht so akzentuiert wie beim Vorrat, vergrößern sich aber im Verlauf der Analyseperiode, einerseits durch große Zuwächse im *baseline*-Szenario, andererseits durch erhebliche Verluste, insbesondere im Klimaänderungsszenario *CC-A1B* (siehe Abbildungen 36 bis 43).

Die *Baumarteneignung* nimmt für die drei Klimaänderungsszenarien erwartungsgemäß in der dritten Periode (2051-2100) ab, während das *baseline*-Szenario hier stabil bleibt. Die *Biodiversität* (ausgedrückt über *Baumartenvielfalt* und *stehendes Totholz*) ist jedenfalls permanent *gering* und die *Schadanfälligkeit* überwiegend *hoch*. Die *Kostenintensität* ist meistens *mittel* (siehe Abbildungen 36 bis 43).

Die Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum *baseline*-Szenario sind für die Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicher* und *Baumarteneignung* durchwegs negativ (siehe Abbildungen 44a bis 51b). Unabhängig von Klimaraum und Standortseinheit sind die negativen Veränderungen in der dritten Periode (2051-2100) größer als in der ersten Periode (2001-2020).

Im Verlauf der Analyseperiode erfährt der Indikator *Biodiversität* weder Zu- noch Abnahmen. Die *Schadanfälligkeit* nimmt meist mittel- bis langfristig (2051-2100) um eine Klasse zu, während sich die Kostenintensität in diesem Zeitraum nicht verändert (siehe Abbildungen 44a bis 51b).

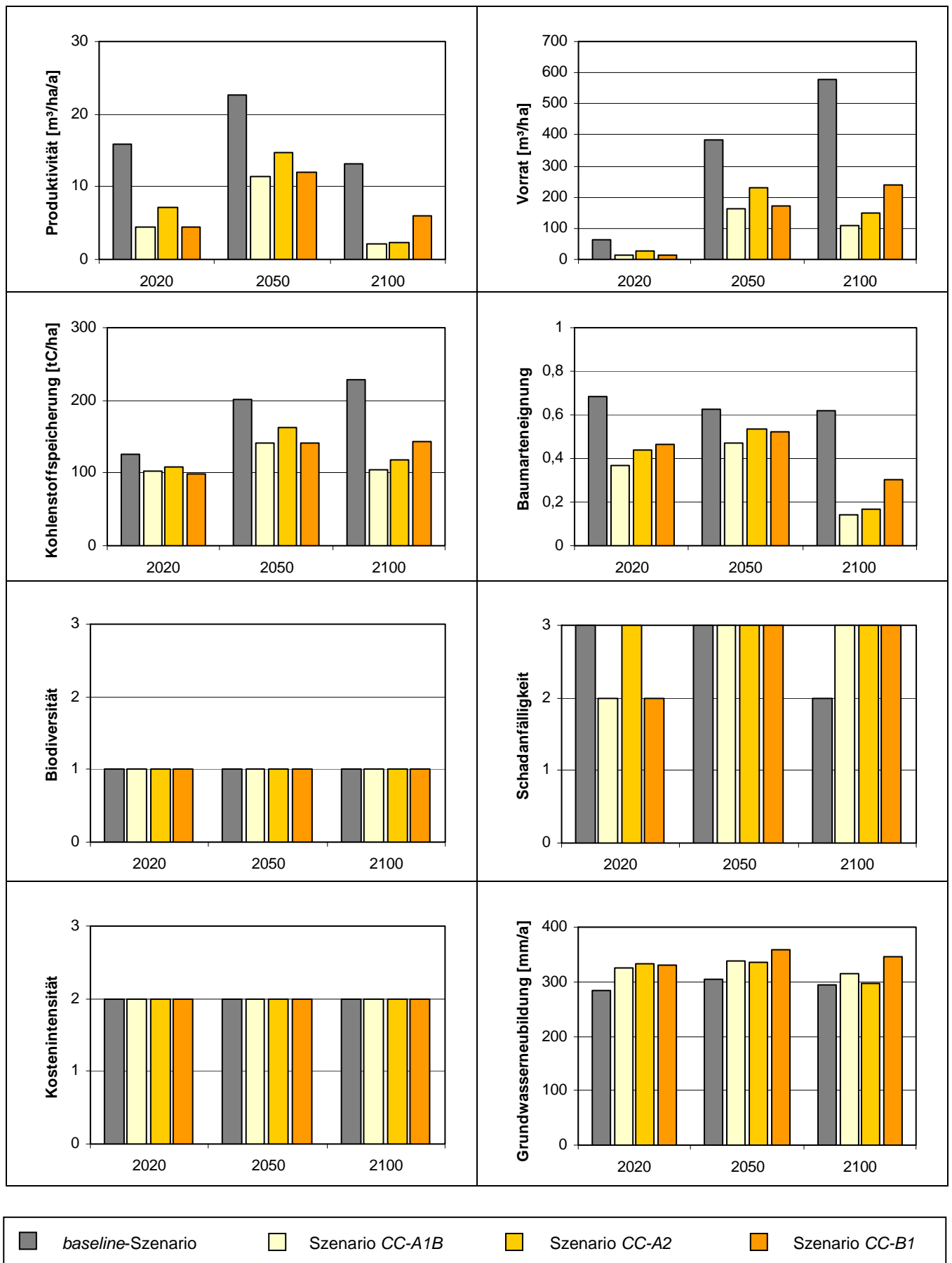
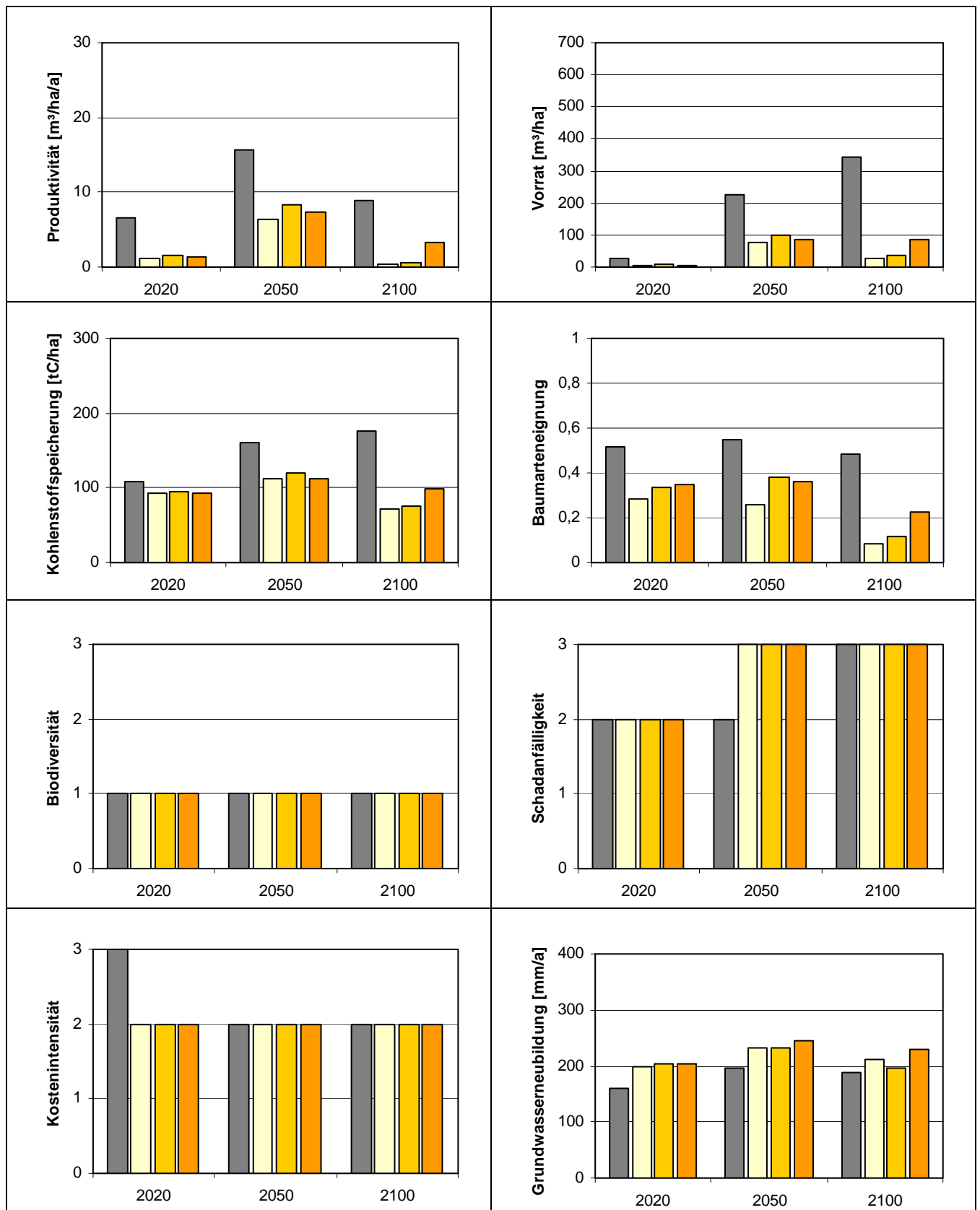


Abb. 36: Indikatoren für das Produktionsprogramm *Fi-BAU* auf *trockener Parabraunerde* im Klima-  
raum *Abetzberg*.



*baseline*-Szenario
  Szenario CC-A1B
  Szenario CC-A2
  Szenario CC-B1

Abb. 37: Indikatoren für das Produktionsprogramm *Fi-BAU* auf *trockener Parabraunerde* im Klimaraum *Hametholz*.

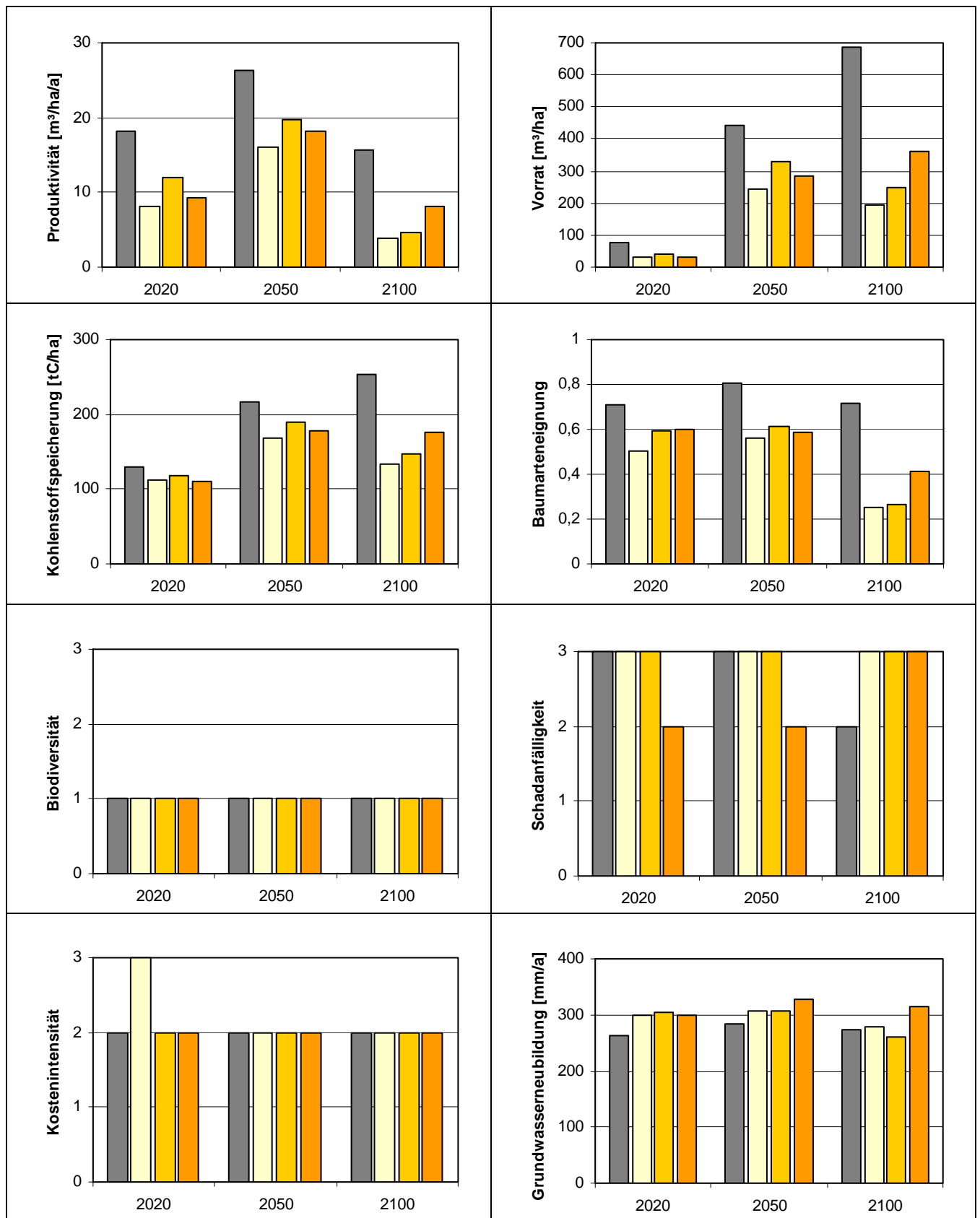


Abb. 38: Indikatoren für das Produktionsprogramm *Fi-BAU* auf *frischer Parabraunerde* im Klimaraum *Abetzberg*.

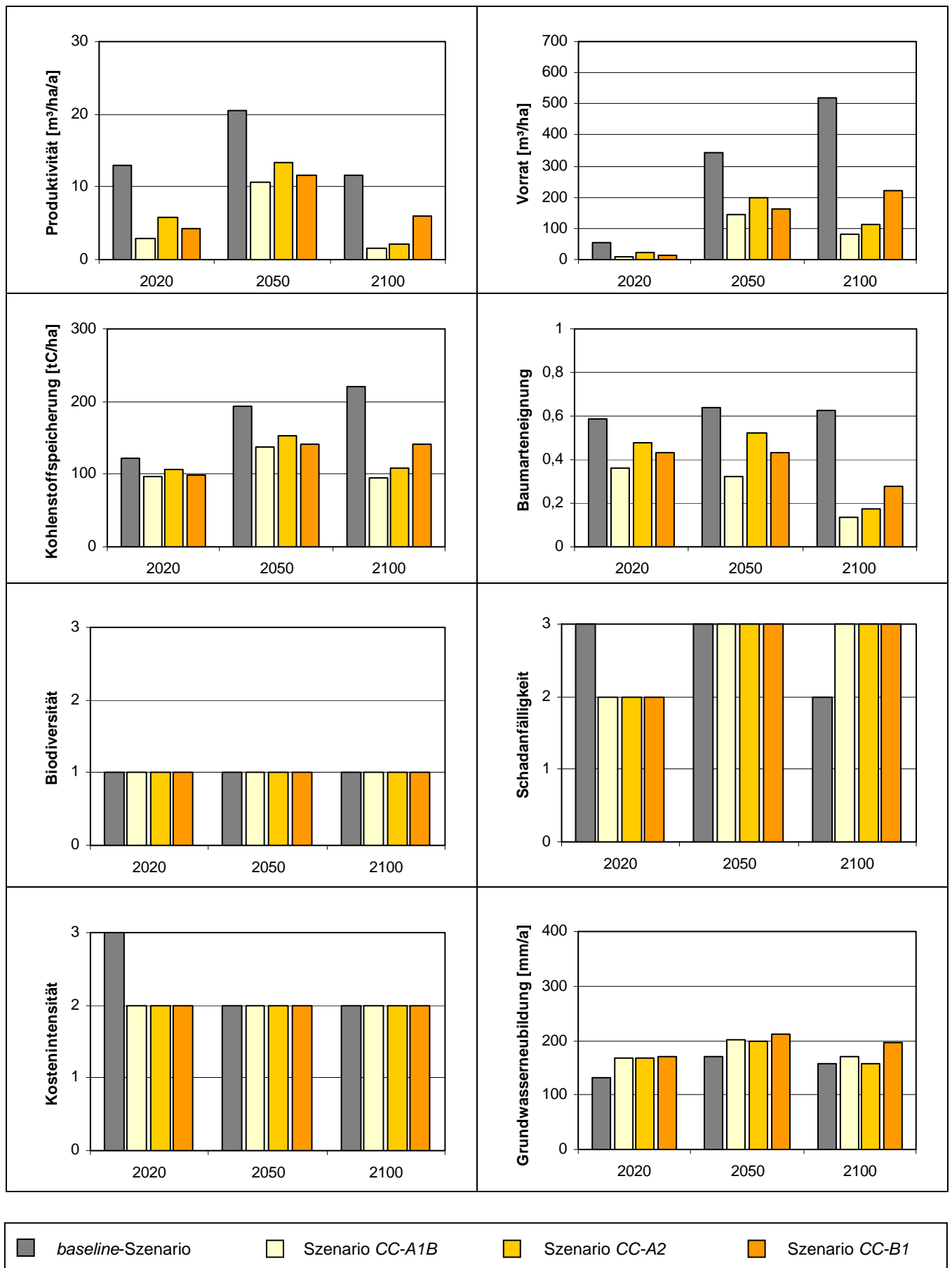


Abb. 39: Indikatoren für das Produktionsprogramm *Fi-BAU* auf *frischer Parabraunerde* im Klimaraum *Hametholz*.



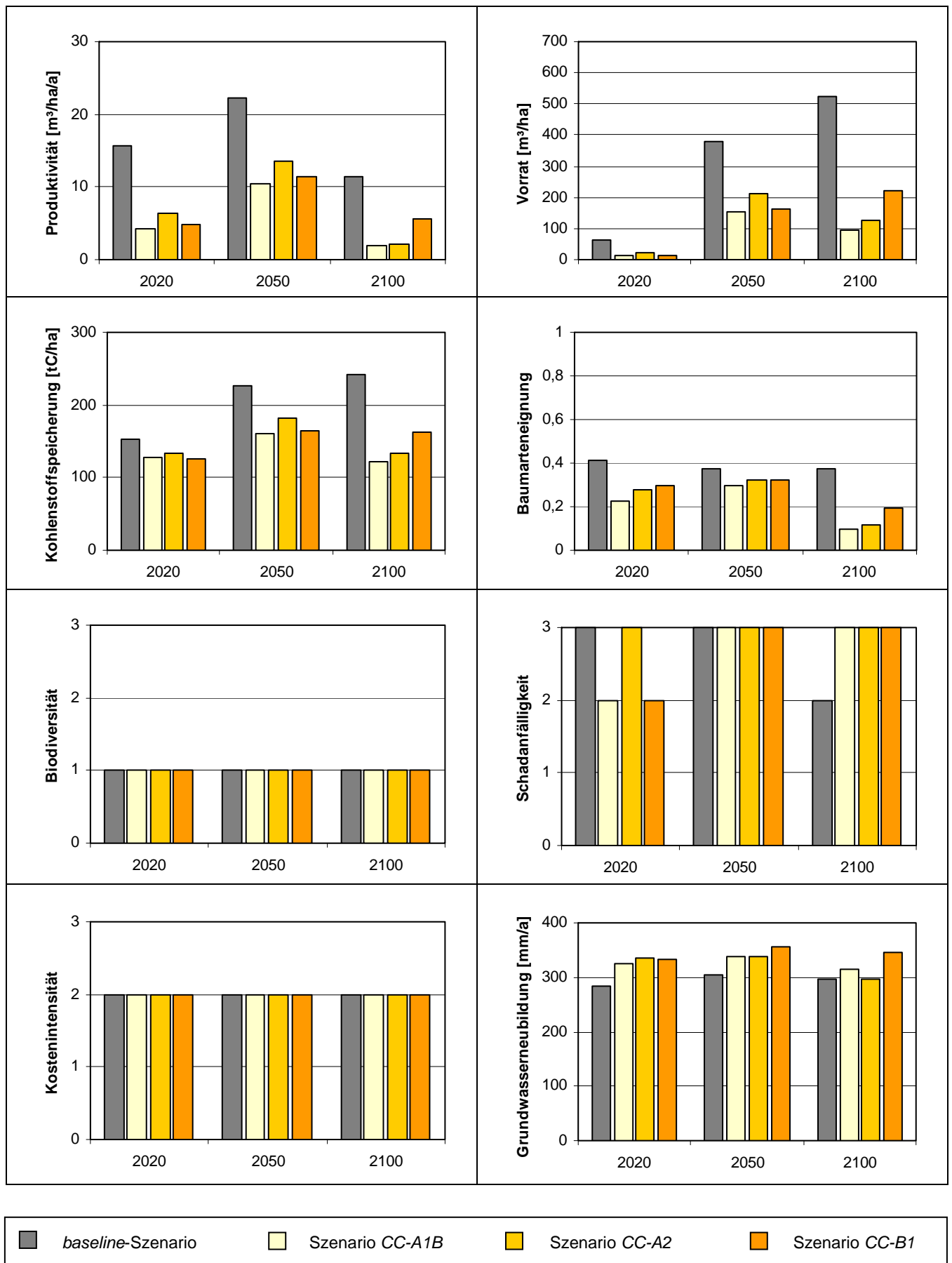


Abb. 40: Indikatoren für das Produktionsprogramm *Fi-BAU* auf *trockenem Pseudogley* im Klimaraum *Abetzberg*.

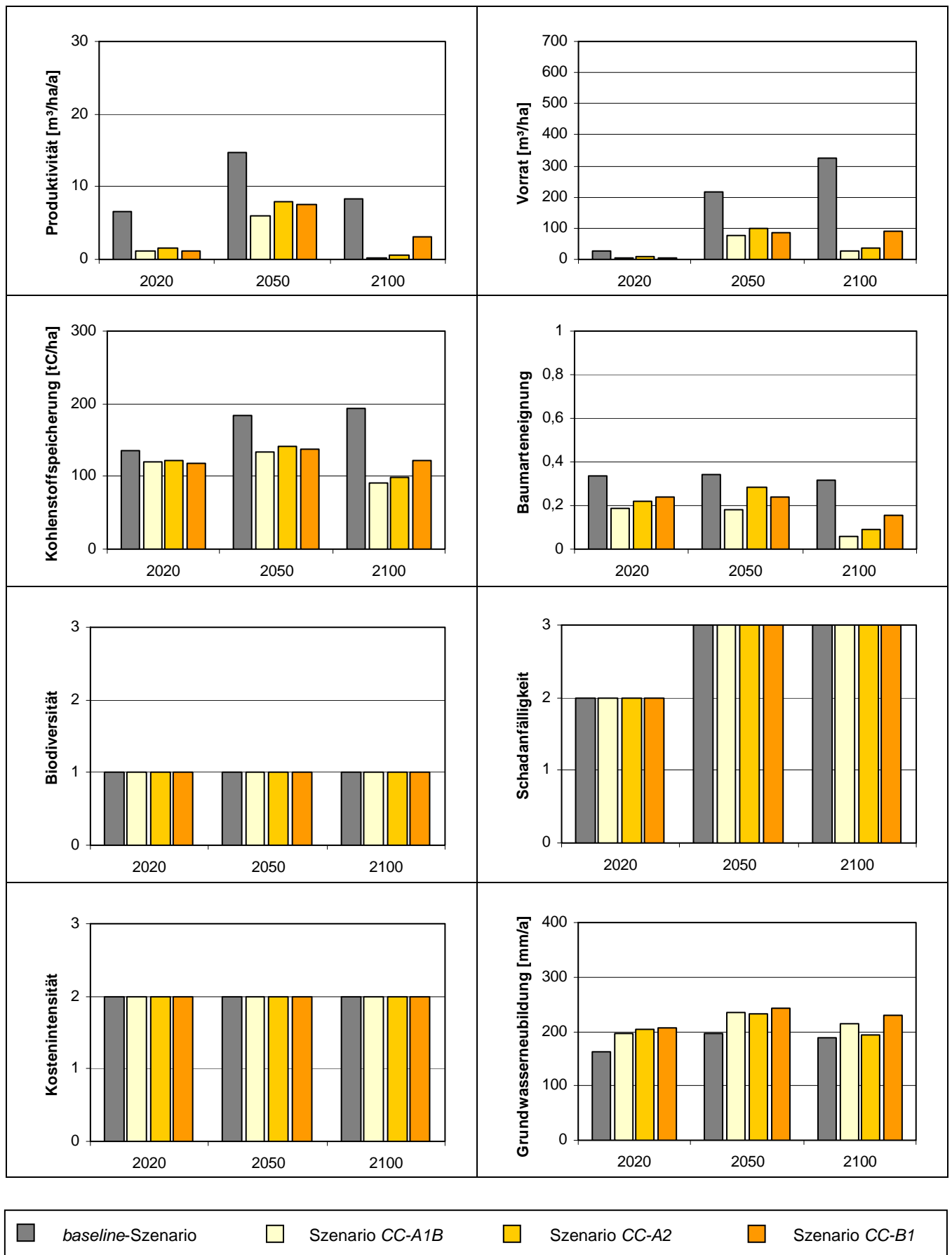


Abb. 41: Indikatoren für das Produktionsprogramm *Fi-BAU* auf *trockenem Pseudogley* im Klimaraum *Hametholz*.

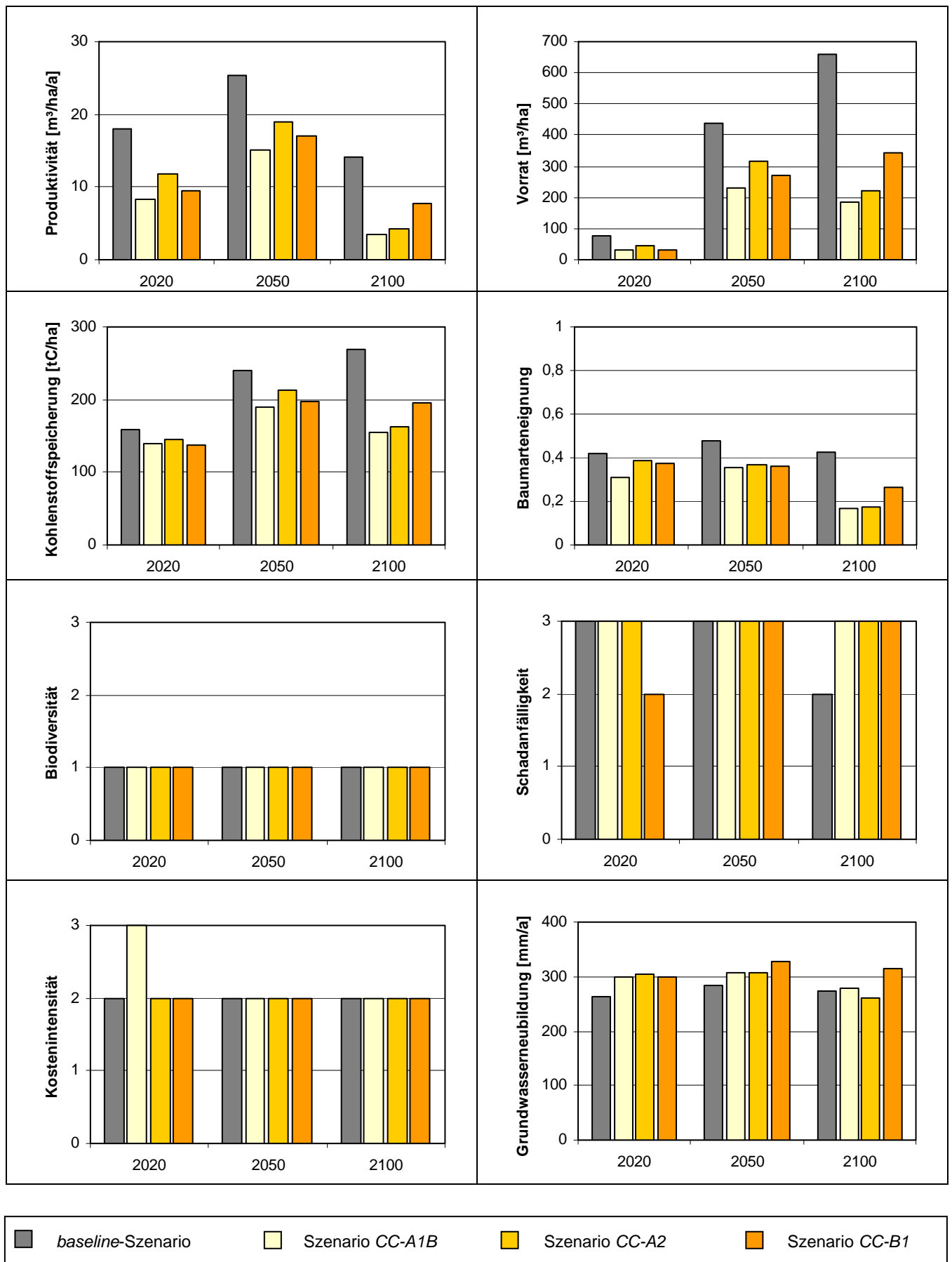


Abb. 42: Indikatoren für das Produktionsprogramm *Fi-BAU* auf *frischem Pseudogley* im Klimaraum *Abetzberg*.

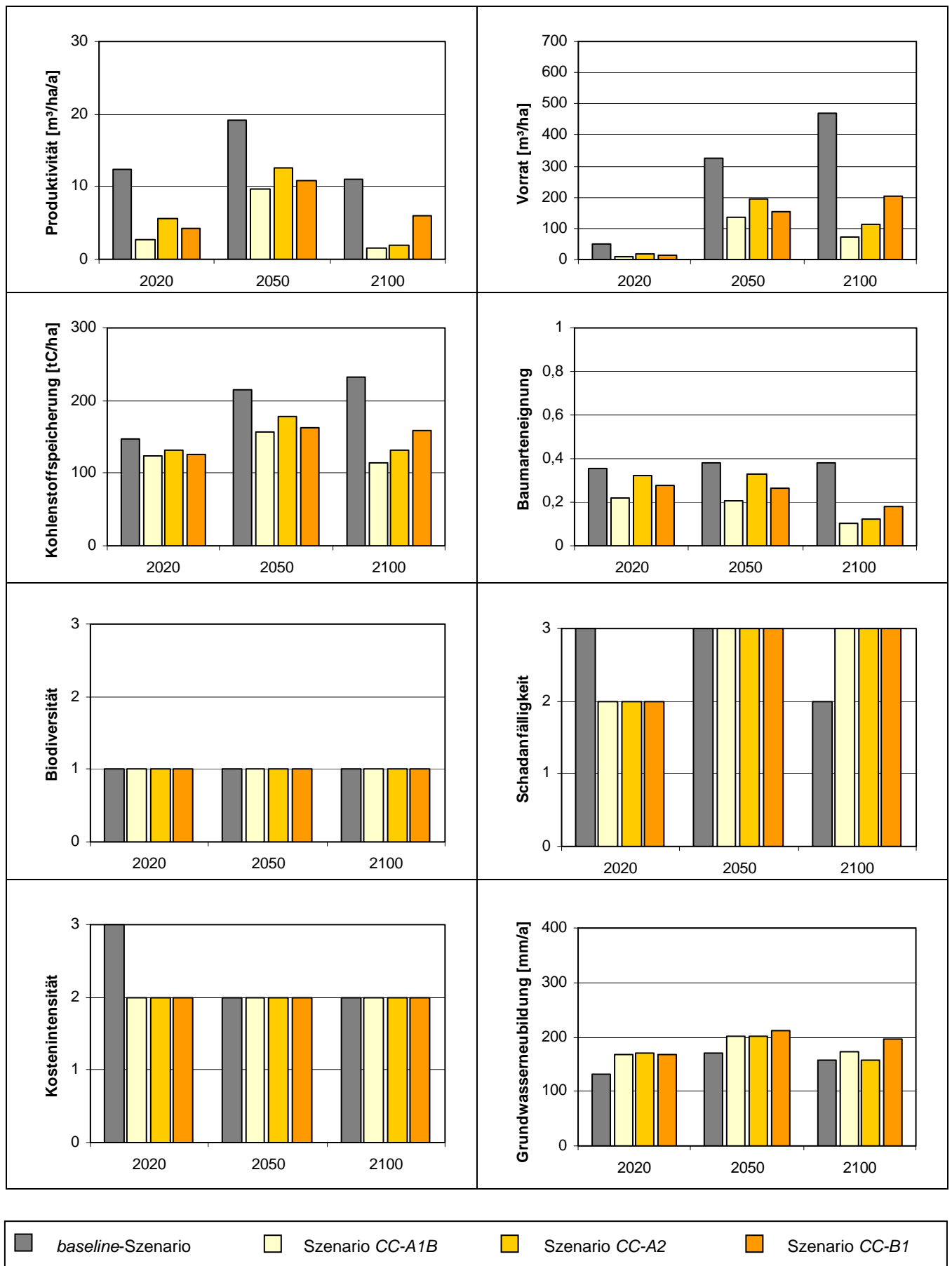


Abb. 43: Indikatoren für das Produktionsprogramm *Fi-BAU* auf *frischem Pseudogley* im Klimaraum *Hametholz*.

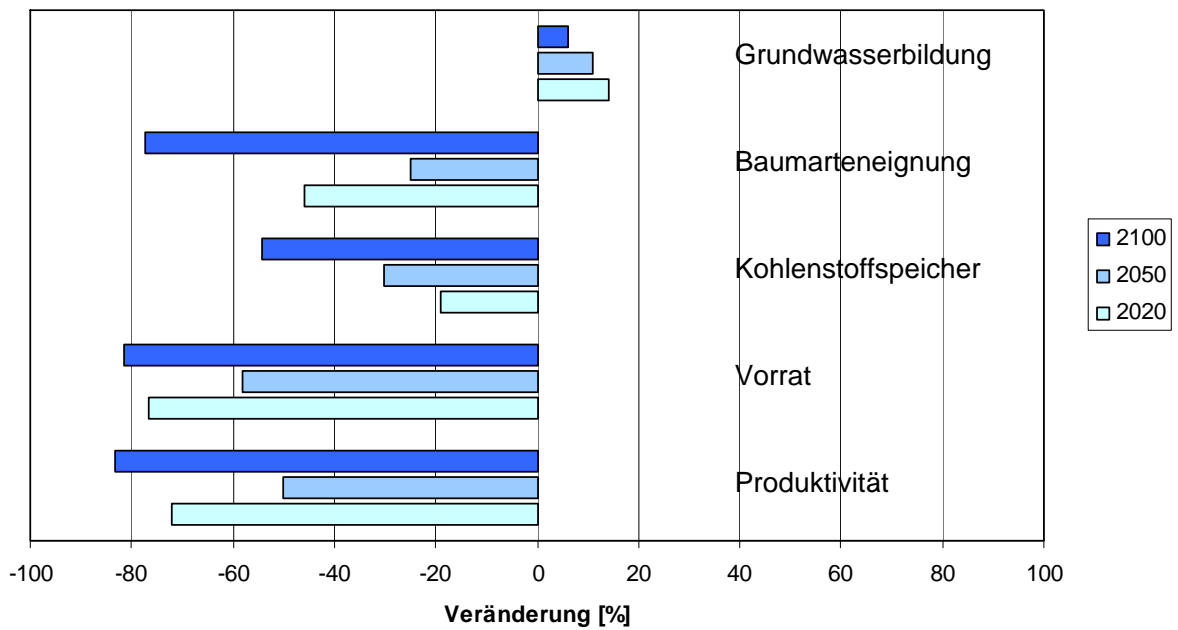


Abb. 44a: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicherung*, *Baumarteneignung* und *Grundwasserneubildung* des Produktionsprogramms *Fi-BAU* auf *trockener Parabraunerde* im Klimaraum *Abetzberg*.

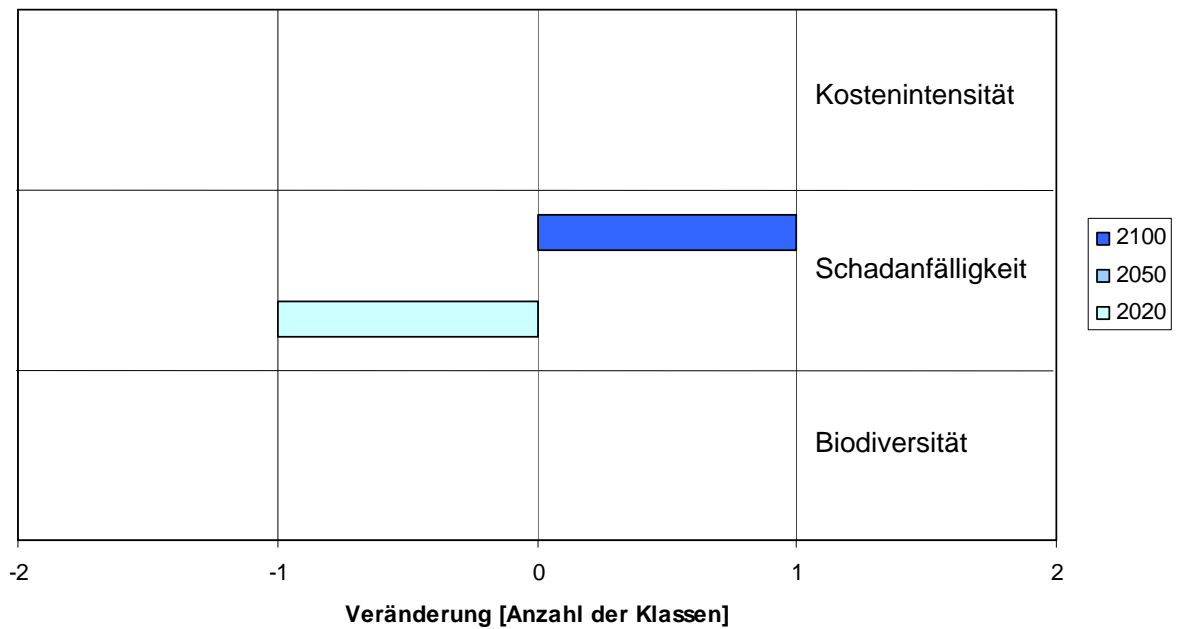


Abb. 44b: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Biodiversität*, *Schadanfälligkeit* und *Kostenintensität* des Produktionsprogramms *Fi-BAU* auf *trockener Parabraunerde* im Klimaraum *Abetzberg*.

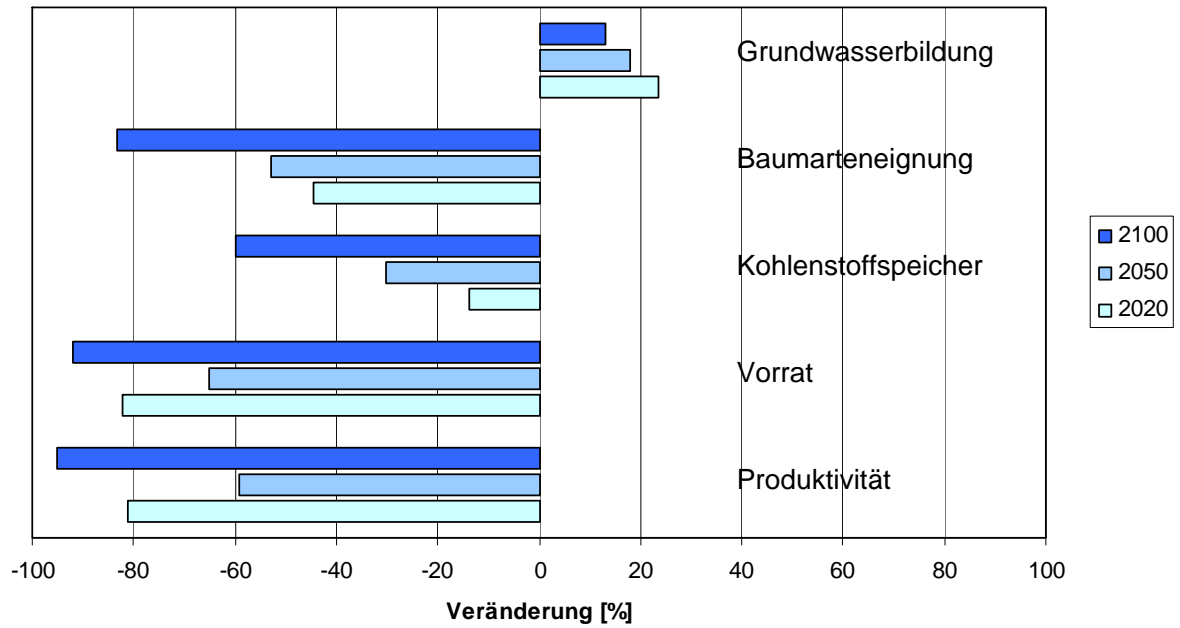


Abb. 45a: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicherung*, *Baumarteneignung* und *Grundwasserneubildung* des Produktionsprogramms *Fi-BAU* auf *trockener Parabraunerde* im Klimaraum *Hametholz*.

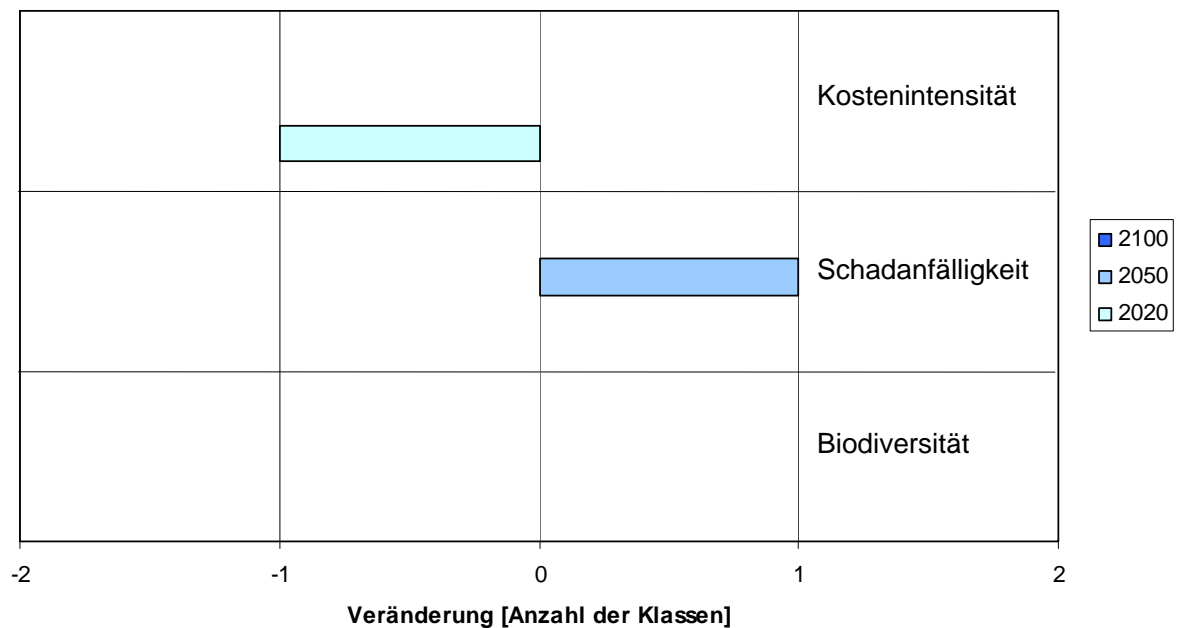


Abb. 45b: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Biodiversität*, *Schadanfälligkeit* und *Kostenintensität* des Produktionsprogramms *Fi-BAU* auf *trockener Parabraunerde* im Klimaraum *Hametholz*.

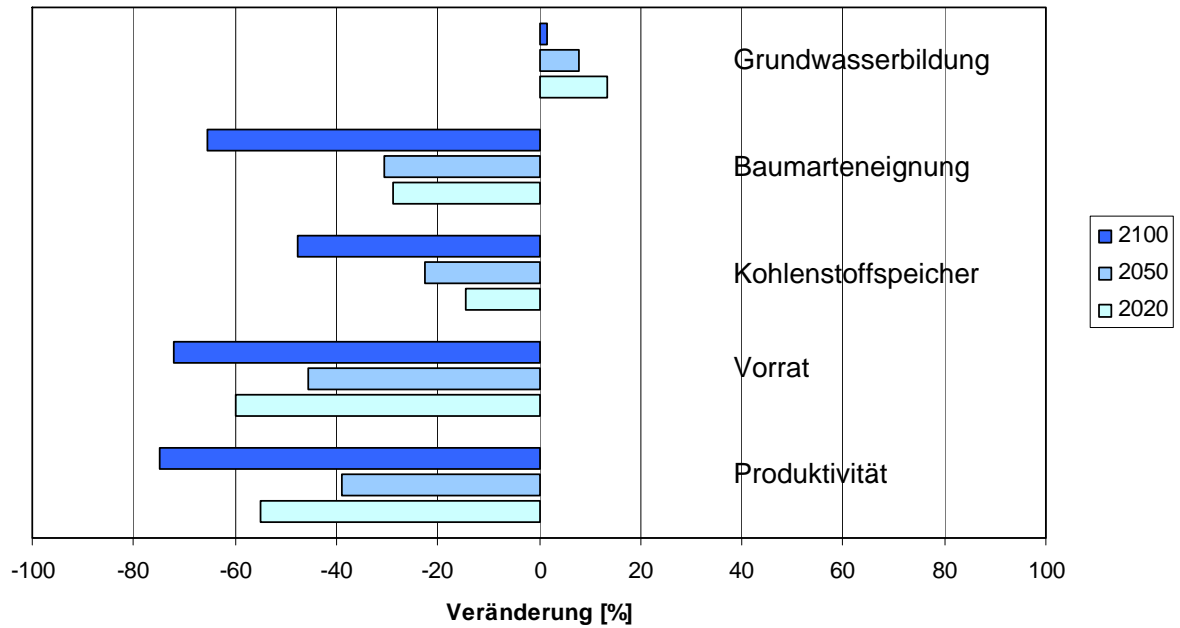


Abb. 46a: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicher*, *Baumarteneignung* und *Grundwasserneubildung* des Produktionsprogramms *Fi-BAU* auf *frischer Parabraunerde* im Klimaraum *Abetzberg*.

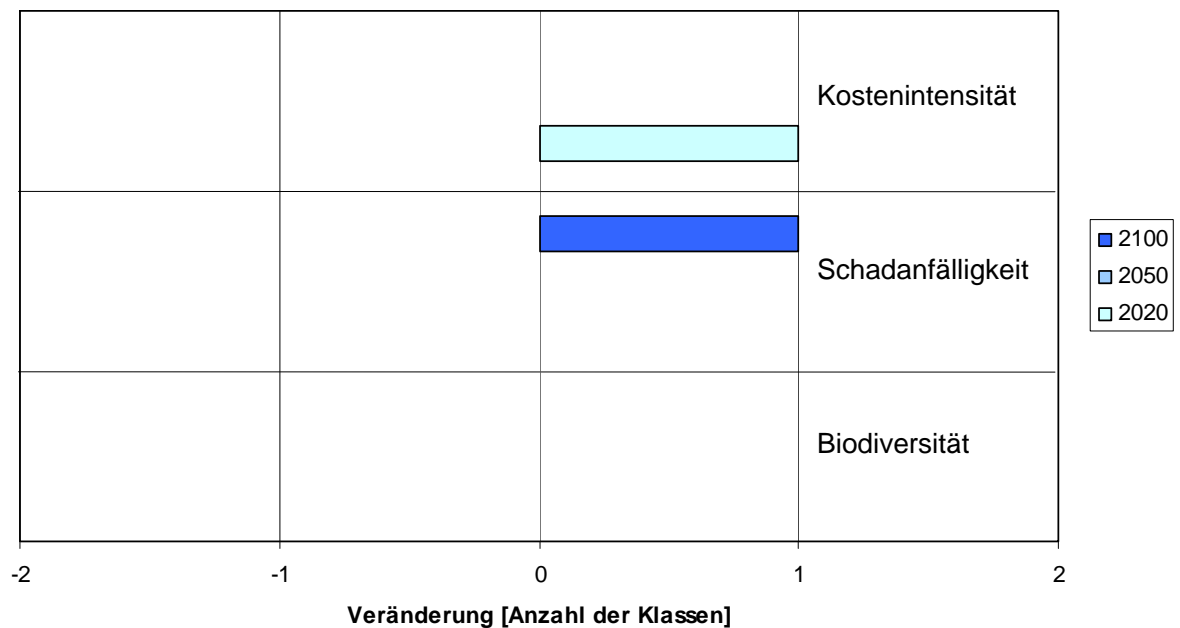


Abb. 46b: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Biodiversität*, *Schadanfälligkeit* und *Kostenintensität* des Produktionsprogramms *Fi-BAU* auf *frischer Parabraunerde* im Klimaraum *Abetzberg*.

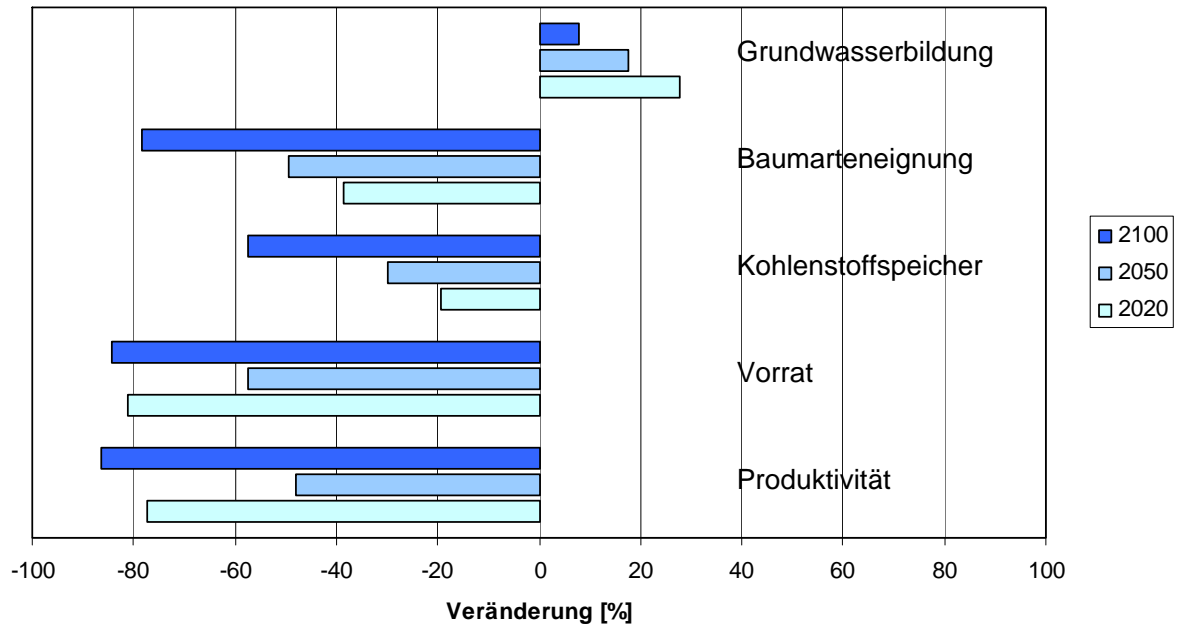


Abb. 47a: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicherung*, *Baumarteneignung* und *Grundwasserneubildung* des Produktionsprogramms *Fi-BAU* auf *frischer Parabraunerde* im Klimaraum *Hametholz*.

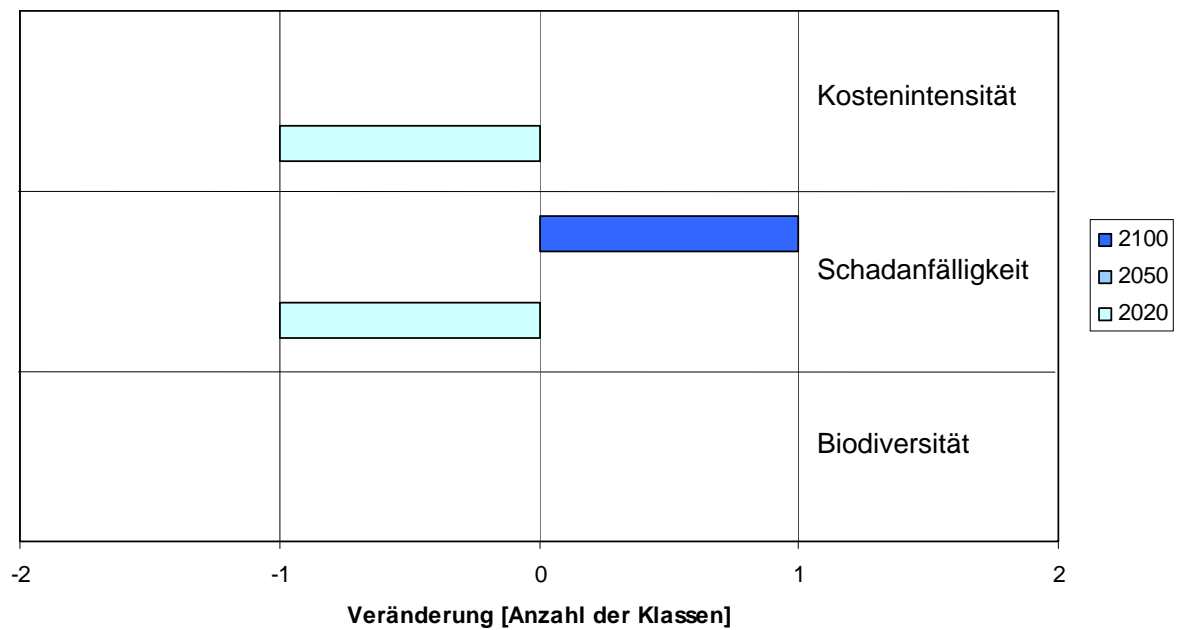


Abb. 47b: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Biodiversität*, *Schadanfälligkeit* und *Kostenintensität* des Produktionsprogramms *Fi-BAU* auf *frischer Parabraunerde* im Klimaraum *Hametholz*.



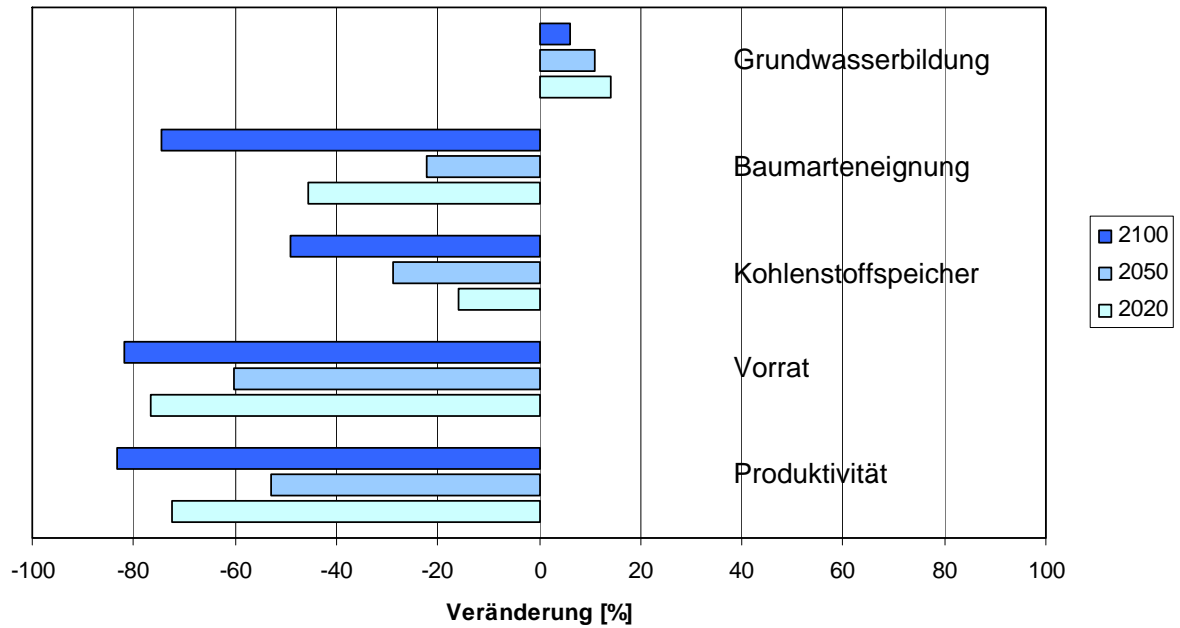


Abb. 48a: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicher*, *Baumarteneignung* und *Grundwasserneubildung* des Produktionsprogramms *Fi-BAU* auf trockenem *Pseudogley* im Klimaraum *Abetzberg*.

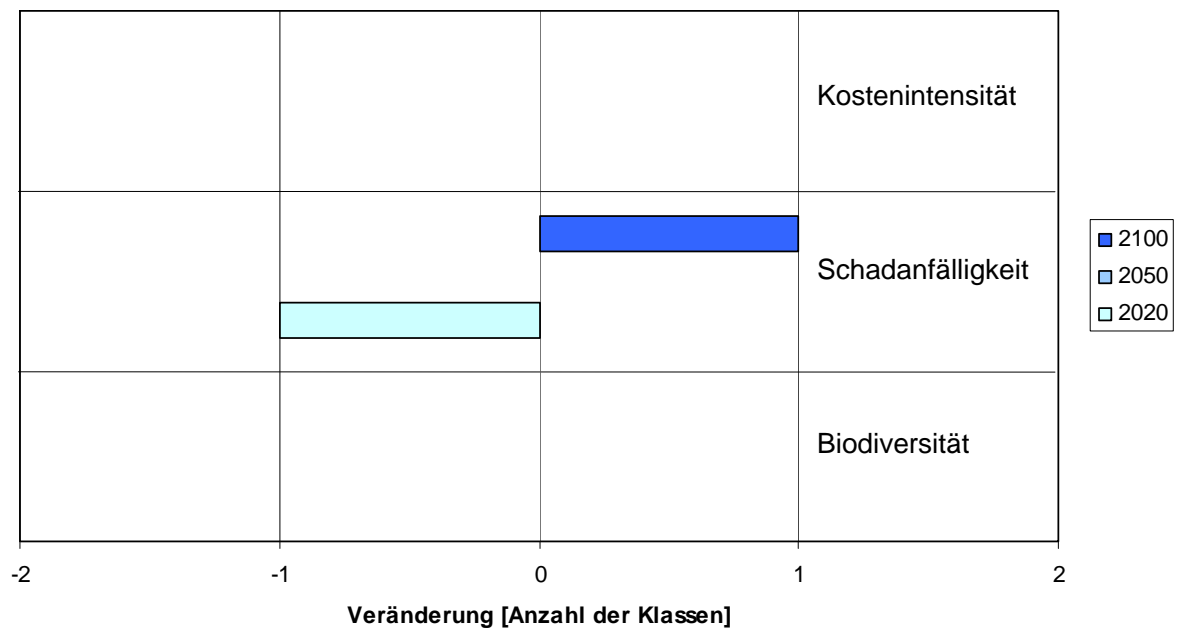


Abb. 48b: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Biodiversität*, *Schadanfälligkeit* und *Kostenintensität* des Produktionsprogramms *Fi-BAU* auf trockenem *Pseudogley* im Klimaraum *Abetzberg*.

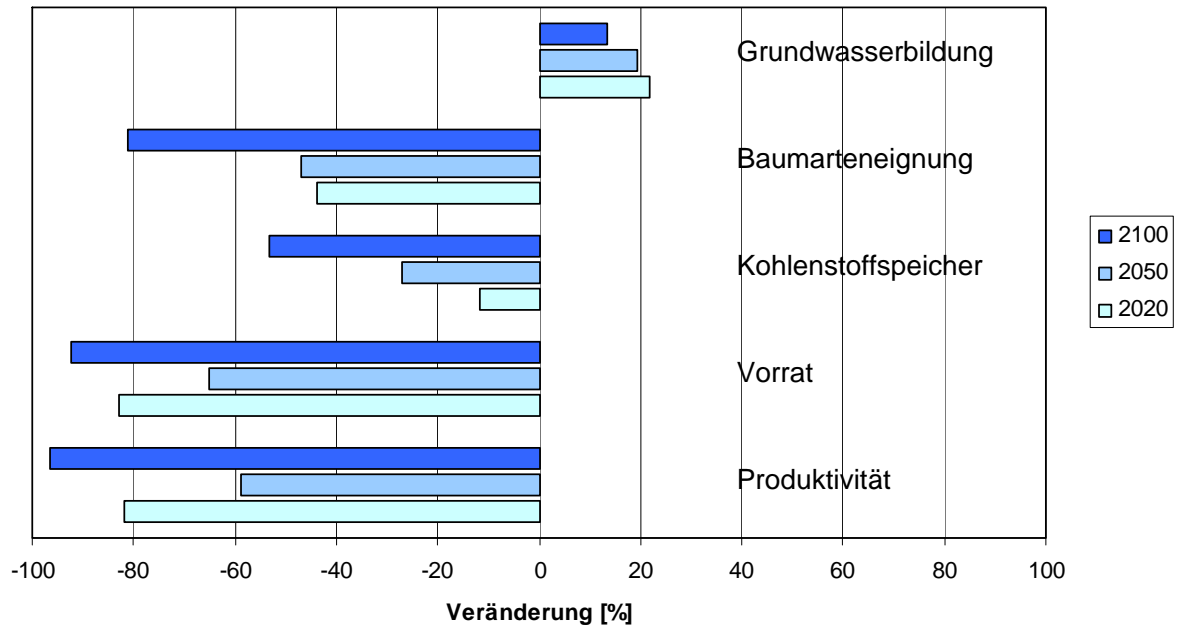


Abb. 49: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicherung*, *Baumarteneignung* und *Grundwasserneubildung* des Produktionsprogramms *Fi-BAU* auf trockenem *Pseudogley* im Klimaraum *Hametholz*.

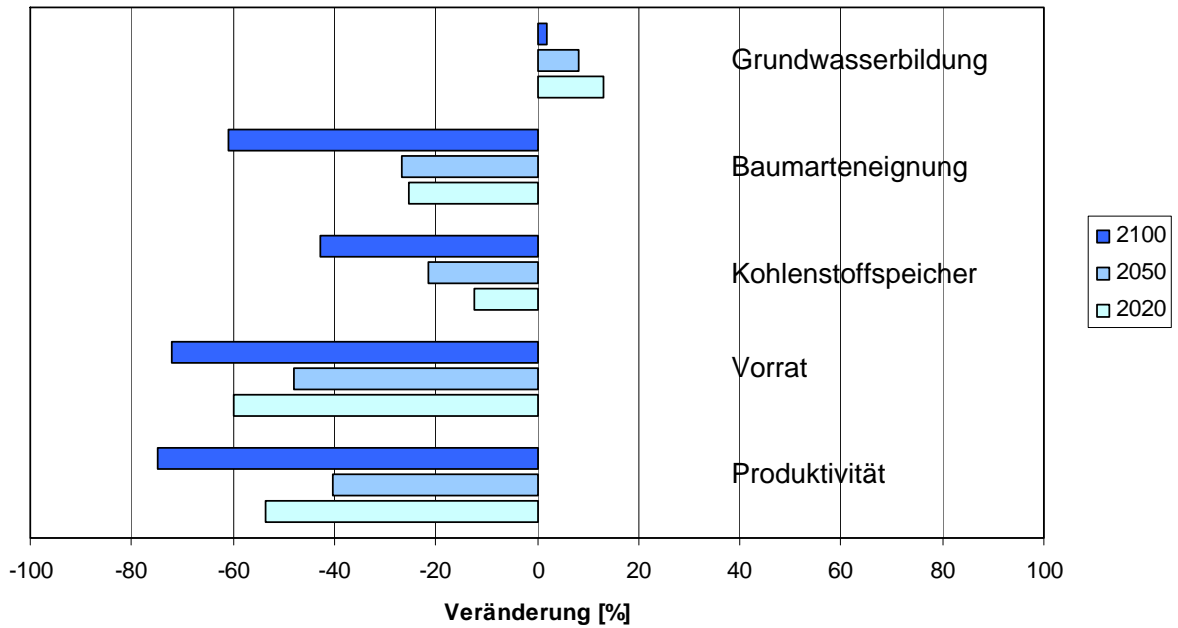


Abb. 50a: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicher*, *Baumarteneignung* und *Grundwasserneubildung* des Produktionsprogramms *Fi-BAU* auf *frischem Pseudogley* im Klimaraum *Abetzberg*.

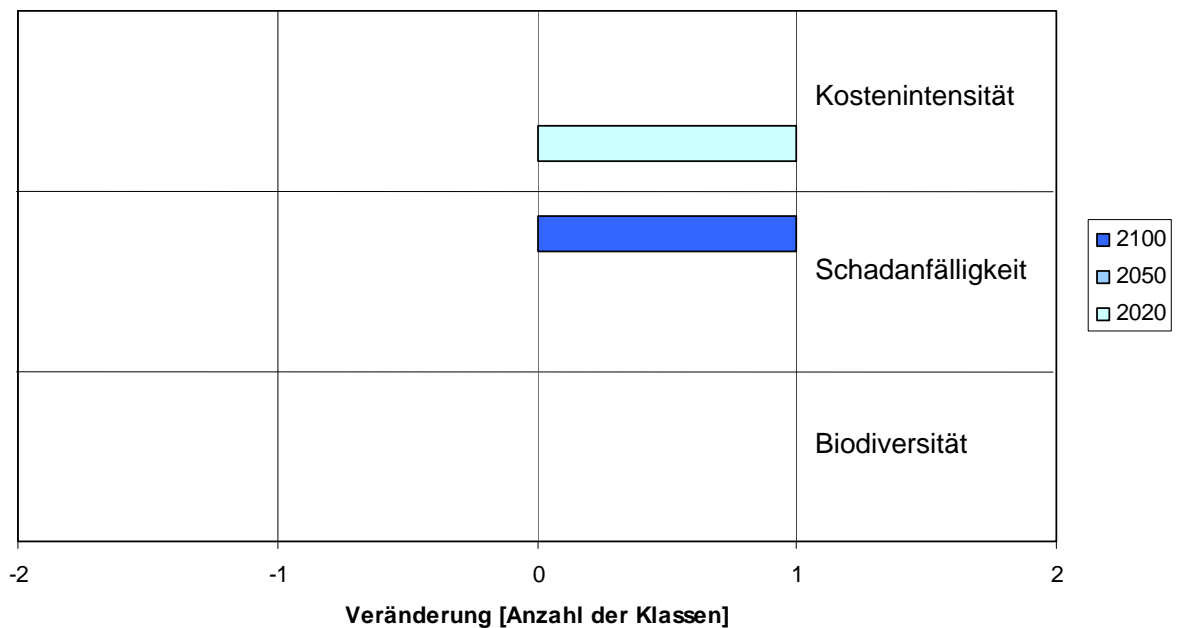


Abb. 50b: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Biodiversität*, *Schadanfälligkeit* und *Kostenintensität* des Produktionsprogramms *Fi-BAU* auf *frischem Pseudogley* im Klimaraum *Abetzberg*.

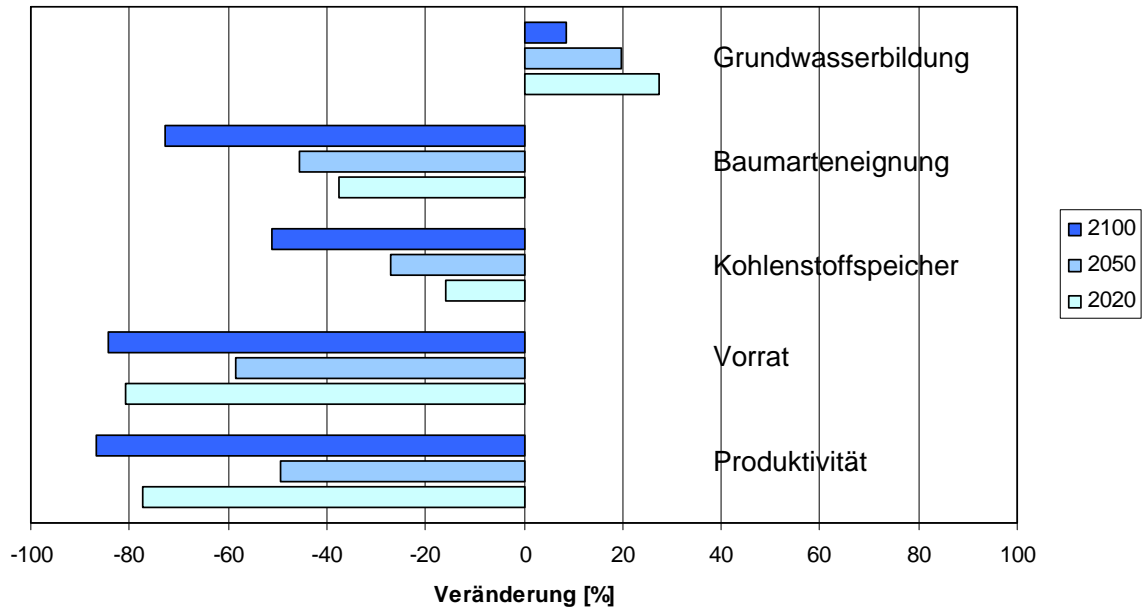


Abb. 51a: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicher*, *Baumarteneignung* und *Grundwasserneubildung* des Produktionsprogramms *Fi-BAU* auf *frischem Pseudogley* im Klimaraum *Hametholz*.

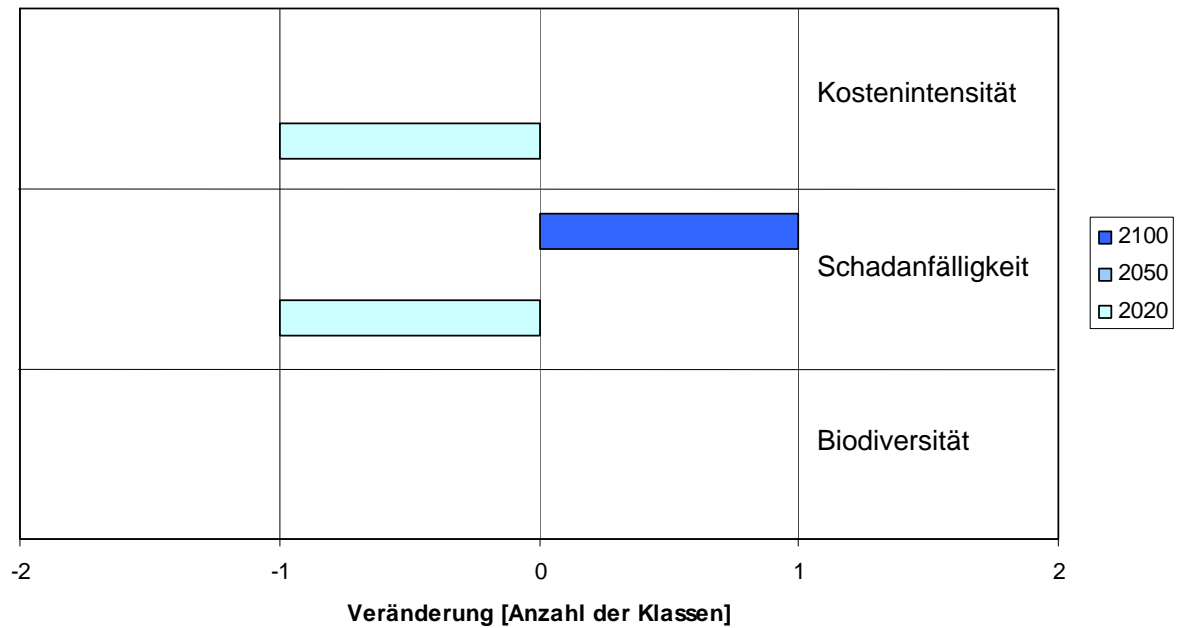


Abb. 51b: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Biodiversität*, *Schadanfälligkeit* und *Kostenintensität* des Produktionsprogramms *Fi-BAU* auf *frischem Pseudogley* im Klimaraum *Hametholz*.

### 7.3 Produktionsprogramm *Lärche-Buche*

Das Produktionsprogramm *Lärche-Buche* wurde ausschließlich auf der *frischen* und auf der *trockenen* Variante der Standortseinheit *Parabraunerde* in den zwei Klimaräumen *Abetzberg* und *Hametholz* simuliert (siehe auch Tabelle 16), weil diese Baumarten auf *Pseudogley* *nicht geeignet* sind: Einerseits sinkt auf der Standortseinheit *Pseudogley* die Konkurrenzfähigkeit und andererseits steigt die Schadanfälligkeit. Dieses waldbauliche Produktionsprogramm wird im Kapitel 5.4.2 näher beschrieben (vgl. HOCHBICHLER, pers. Mitteilung, 2009).

Die Lärche stellt durchaus eine interessante alternative Mischbaumart für sekundäre Fichtenbestände dar.

In der Simulation mit dem Waldökosystemmodell *PICUS* nimmt im Projektgebiet der Vorrat für *Lärche-Buche* über die drei Analyseperioden unter Klimaänderung meist stetig zu, ist jedoch kleiner als im *baseline*-Szenario (siehe Abbildungen 52 bis 55). Für die Produktivität gipfelt das *baseline*-Szenario im Allgemeinen in der zweiten Periode (2021-2050). Die Differenzen zwischen den betrachteten Klimaänderungsszenarien und dem *baseline*-Szenario verringern sich meist in der dritten Periode (2051-2100).

Die Werte des *baseline*-Szenarios für den Vorrat steigen hingegen stetig an und reichen in der dritten Periode auf *frischer Parabraunerde* im Klimaraum *Abetzberg* bis zu knapp 400m<sup>3</sup> pro ha, während das Klimaänderungsszenario *CC-A1B* hier nur mehr einen Wert knapp über 200m<sup>3</sup> pro ha aufweist. Die Differenzen zwischen *baseline*-Szenario und einbezogener Klimaänderungsszenarien steigen beim Vorrat in jeder Periode an (siehe Abbildungen 52 bis 55).

In einigen Klimaänderungsszenarien fällt die *Kohlenstoffspeicherung* im Klimaraum *Hametholz* etwas kleiner aus als im Klimaraum *Abetzberg*. Generell ist die Kohlenstoffspeicherung im *baseline*-Szenario größer. Die Variabilitäten nehmen zwar von Periode zu Periode zu, sind aber nicht immer so markant ausgebildet wie bei den Indikatoren Produktivität und Vorrat (siehe Abbildungen 52 bis 55). Die Schwankungen zwischen den Klimaänderungsszenarien sind nicht so auffällig wie beim konventionellen, auf *Fichte* ausgelegten Produktionsprogramm (siehe Abbildungen 36 bis 43).

In den ersten beiden Perioden (2001-2050) verfügt diese Mischung über eine mäßige *Baumarteneignung*, die aber, im Unterschied zum *baseline*-Szenario, im Klimawandel in der dritten Periode (2051-2100) rückläufig ist. Auf *trockener Parabraunerde* im Klimaraum *Hametholz* ist die Baumarteneignung am geringsten. Die Indikatoren *Biodiversität* und *Schadanfälligkeit* sind meist *mittel*. Der Indikator *Kostenintensität* deutet auf hohen Investitionsbedarf in den ersten beiden Perioden hin (siehe Abbildungen 52 bis 55).

Die *frische* Variante der Standortseinheit *Parabraunerde* ist produktiver und vorratsreicher als die *trockene* Variante. Eine Ausnahme davon bemerkt man im Klimaraum *Abetzberg*, und für die Klimaänderungsszenarien *CC-A1B* und *CC-A2* ab der dritten Periode (2051-2100). Beim Vorrat treten tendenziell ab der zweiten Analyseperiode größere Unterschiede auf (siehe Abbildungen 52 bis 55).

Die Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum *baseline*-Szenario sind für die Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicher* und *Baumarteneignung* meist negativ. Auf der *frischen* Variante der Standortseinheit *Parabraunerde* im Klimaraum *Hametholz* sowie auf *trockener Parabraunerde* im Klimaraum *Abetzberg* steigert sich aber die Produktivität in der dritten Periode (2051-2100) um etwa 20% (siehe Abbildungen 56a bis 59b).

Auf der *frischen* Variante der Standortseinheit *Parabraunerde* im Klimaraum *Hametholz* sowie auf der *trockenen* Variante der Standortseinheit *Parabraunerde* im Klimaraum *Abetzberg* nimmt der Indikator *Biodiversität* in der dritten Periode (2051-2100) um eine Klasse zu. Ansonsten werden bei der Biodiversität keine Veränderungen evident. Der Indikator *Schadanfälligkeit* nimmt in der dritten Periode meist um eine Klasse ab. Nur im Klimaraum *Abetzberg* auf *frischer Parabraunerde* verändert sich der Indikator nicht. Der Indikator *Kostenintensität* variiert nicht (siehe Abbildungen 56a bis 59b).

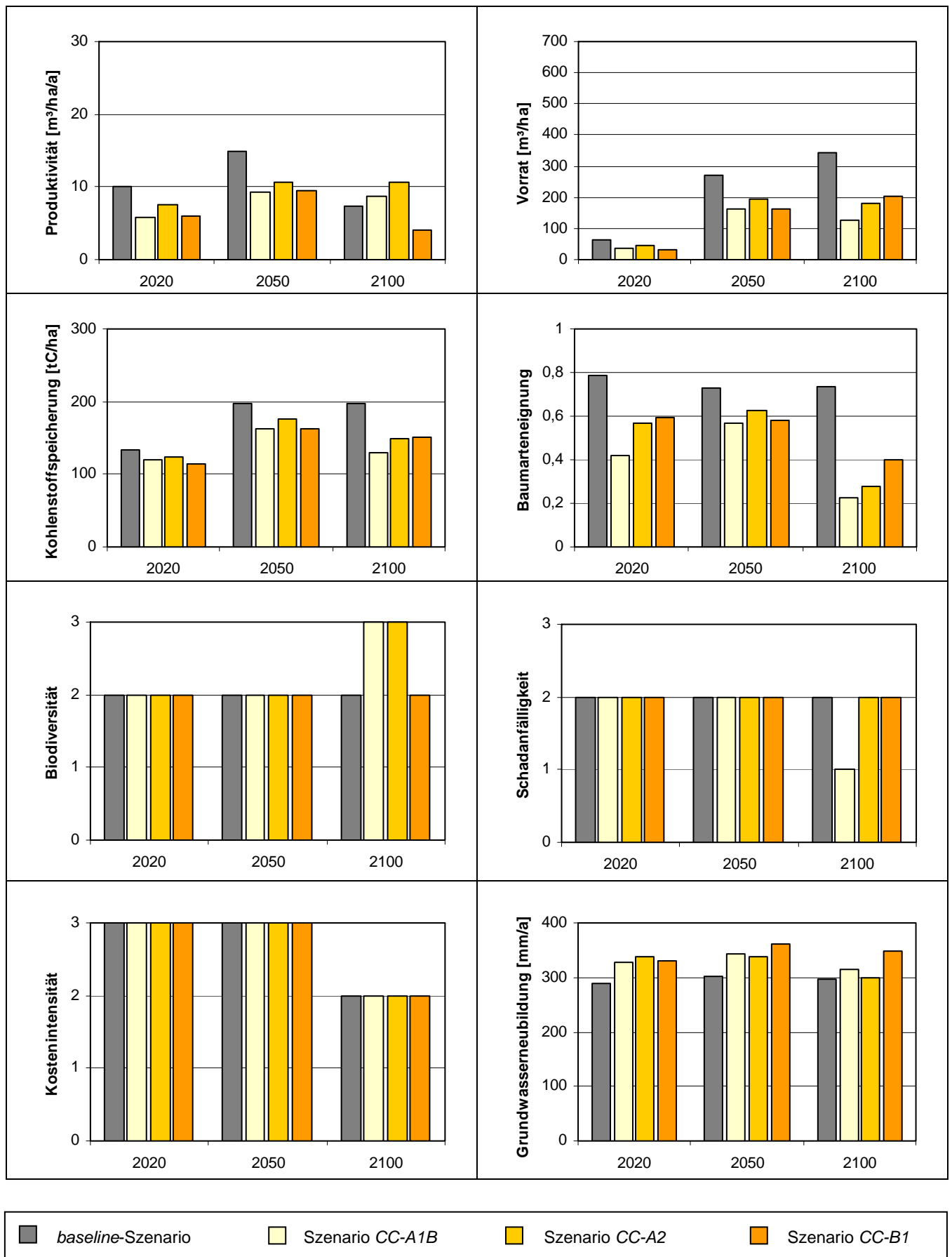


Abb. 52: Indikatoren für das Produktionsprogramm *Lä-Bu* auf *trockener Parabraunerde* im Klimaraum *Abetzberg*.

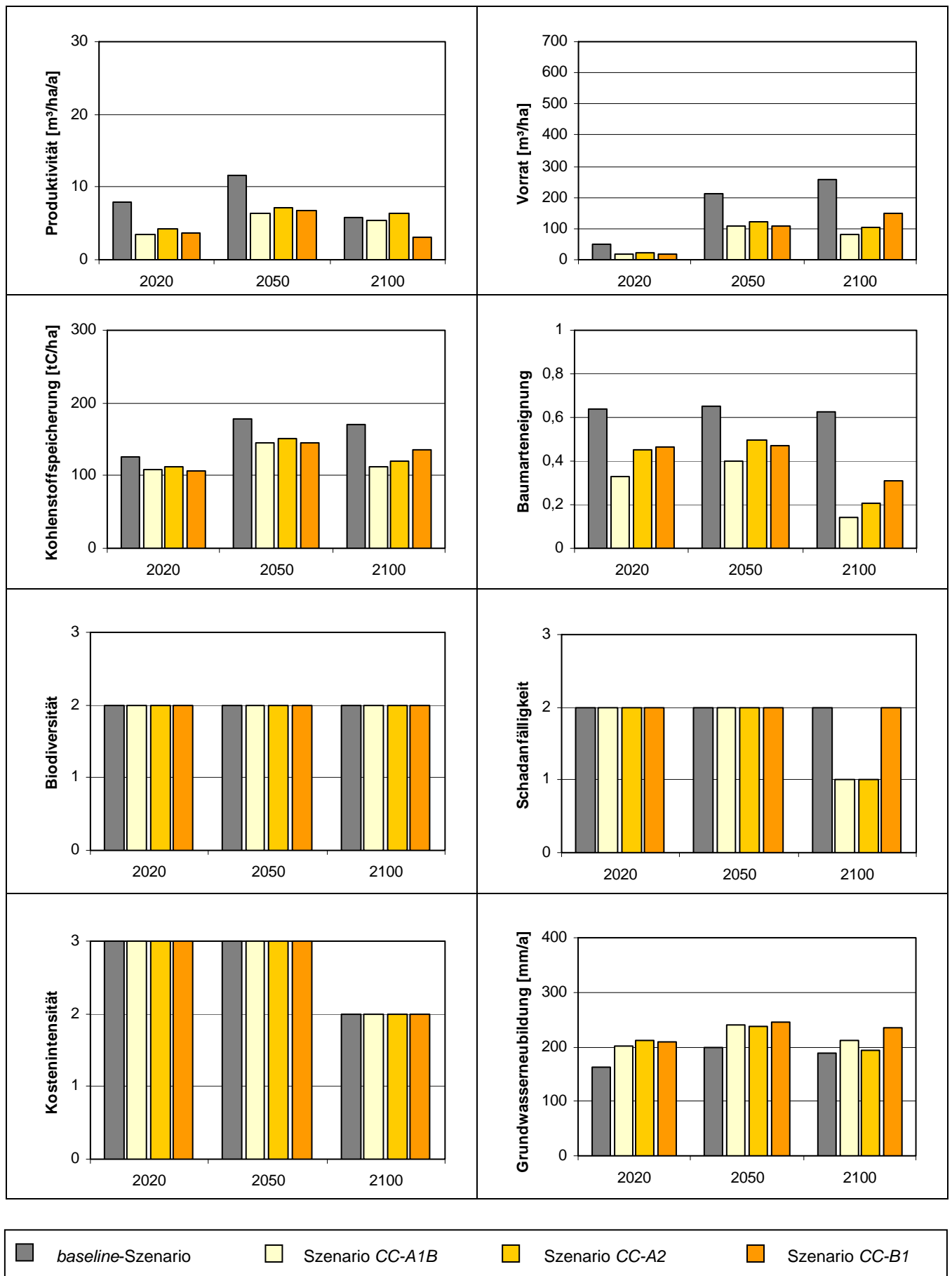
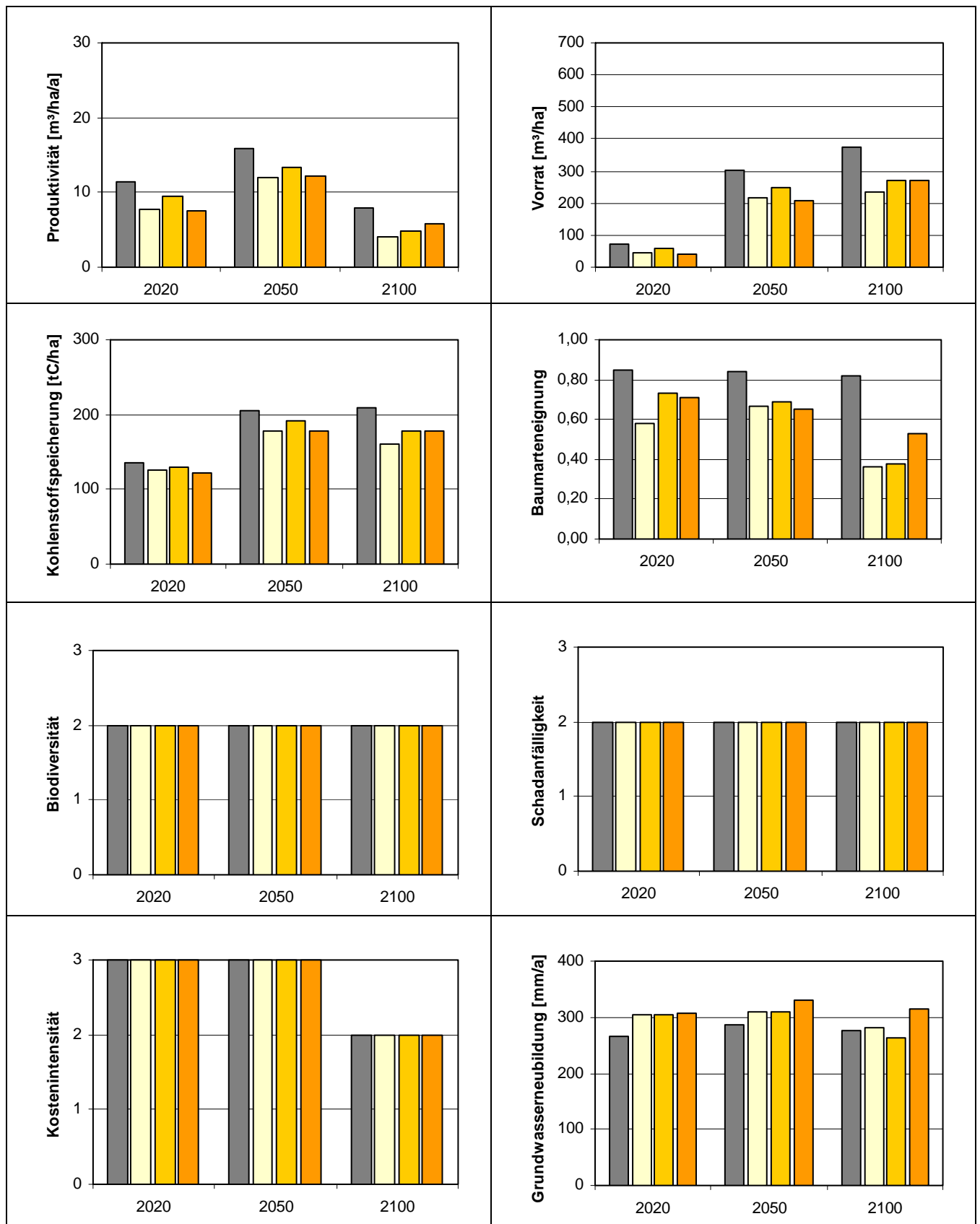


Abb. 53: Indikatoren für das Produktionsprogramm *Lã-Bu* auf *trockener Parabraunerde* im Klimaraum *Hametholz*.





*baseline-Szenario*
 Szenario CC-A1B
  Szenario CC-A2
  Szenario CC-B1

Abb. 54: Indikatoren für das Produktionsprogramm *Lä-Bu* auf *frischer Parabraunerde* im Klimaraum *Abetzberg*.

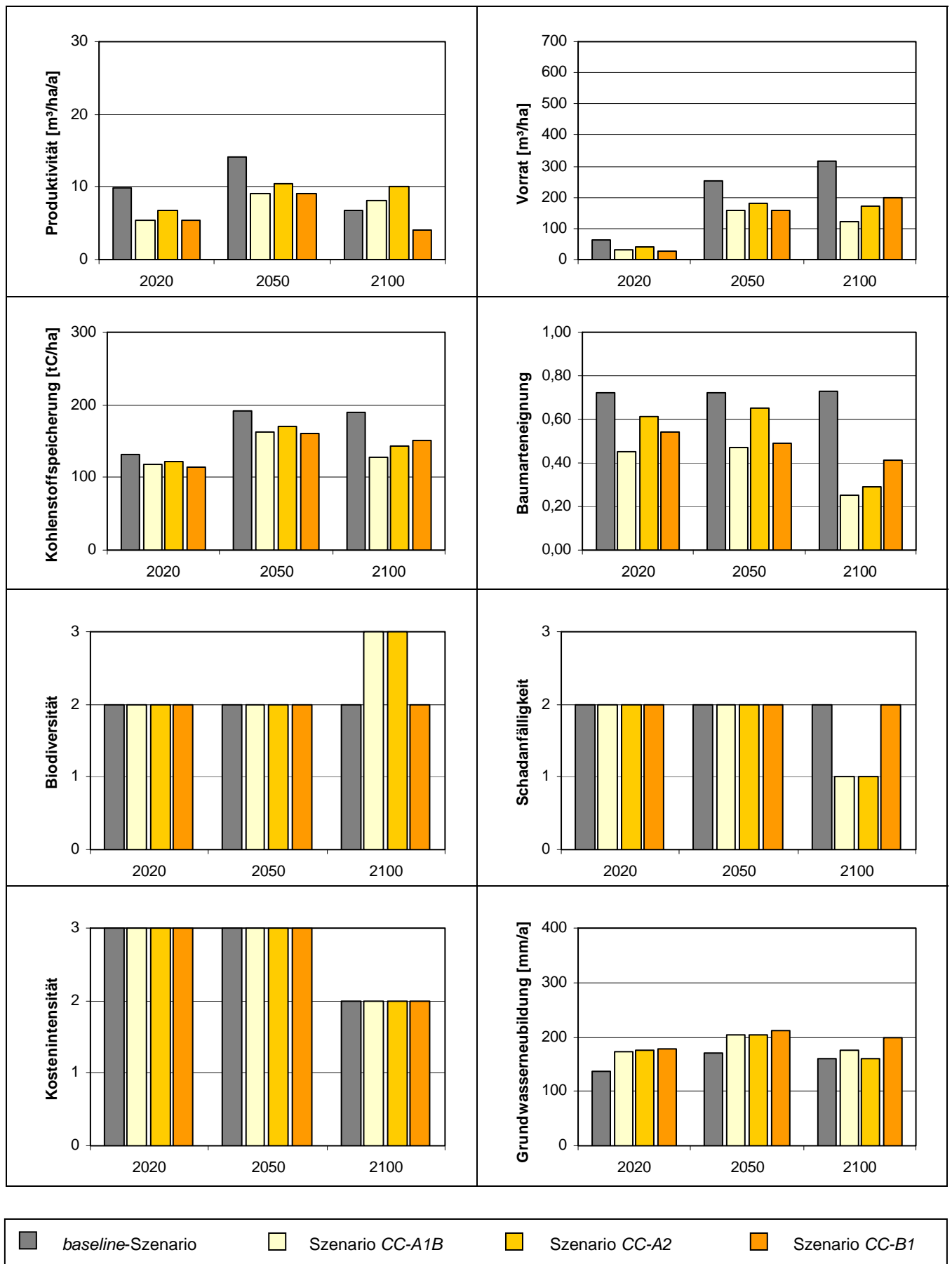


Abb. 55: Indikatoren für das Produktionsprogramm Lã-Bu auf frischer Parabraunerde im Klimaraum Hametholz.

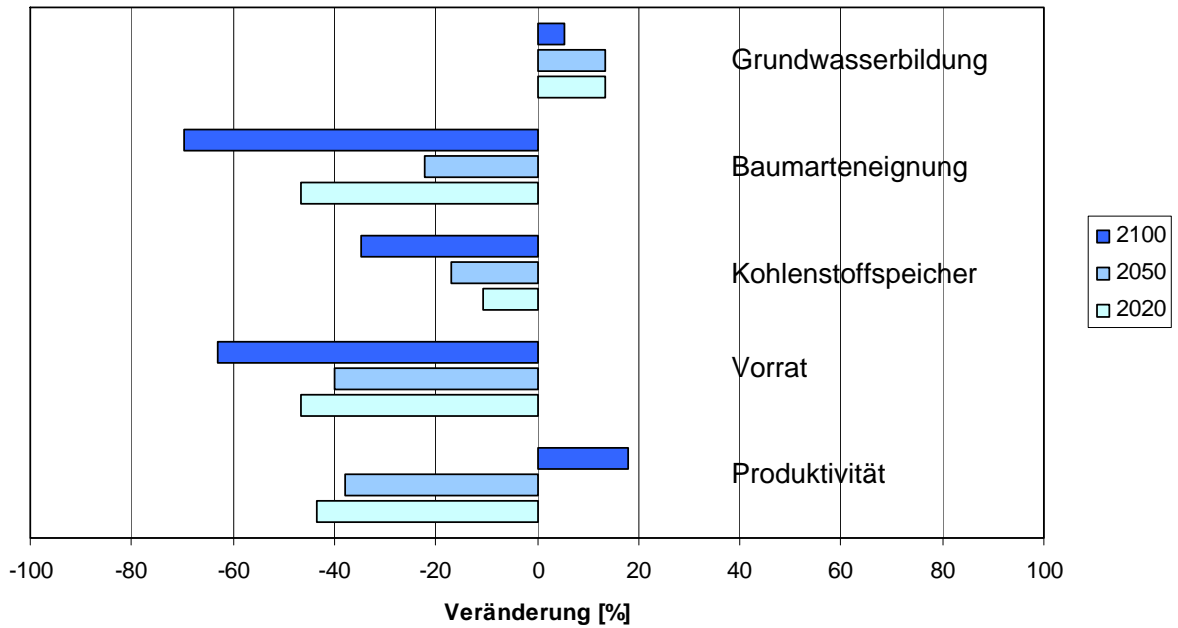


Abb. 56a: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicher*, *Baumarteneignung* und *Grundwasserneubildung* des Produktionsprogramms *Lä-Bu* auf *trockener Parabraunerde* im Klimaraum *Abetzberg*.

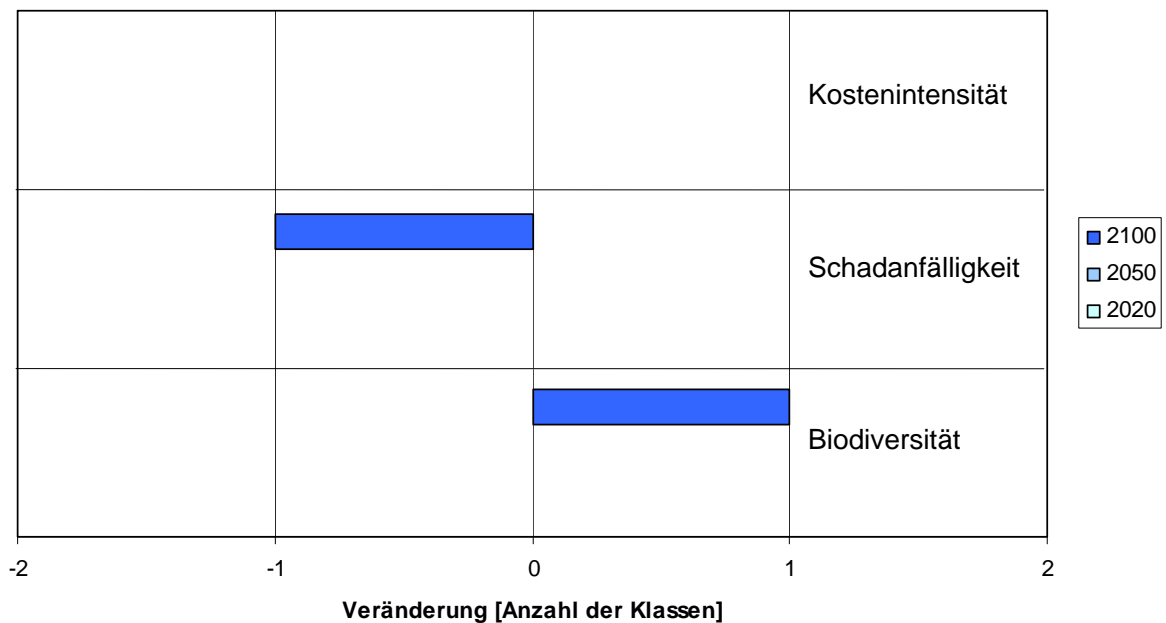


Abb. 56b: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Biodiversität*, *Schadanfälligkeit* und *Kostenintensität* des Produktionsprogramms *Lä-Bu* auf *trockener Parabraunerde* im Klimaraum *Abetzberg*.

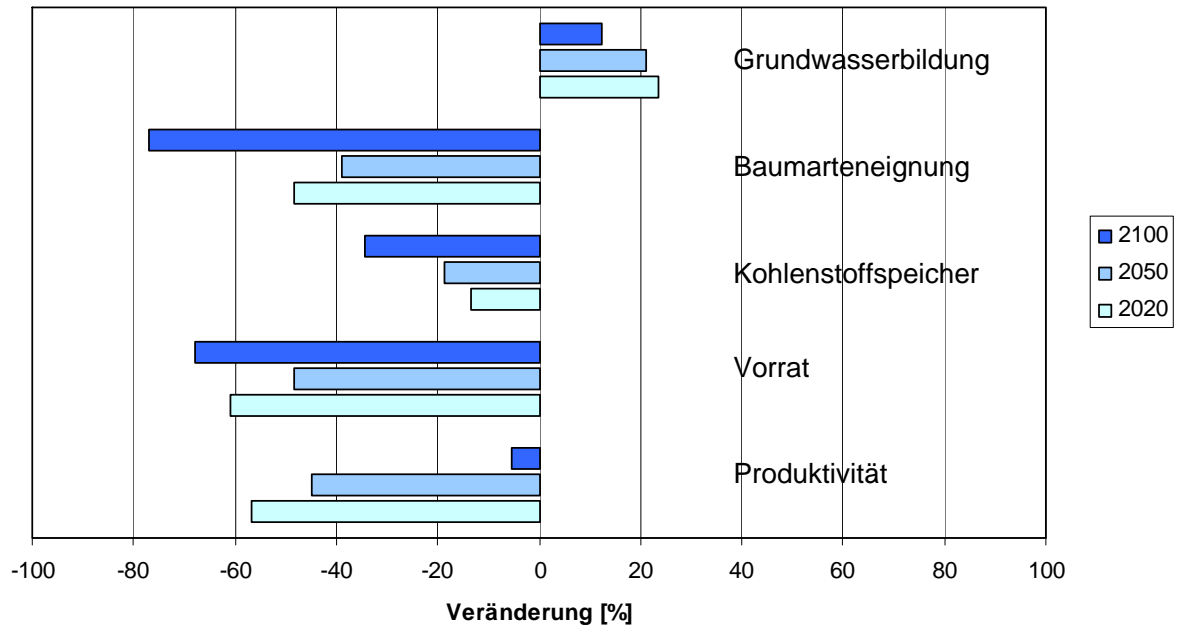


Abb. 57a: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicher*, *Baumarteneignung* und *Grundwasserneubildung* des Produktionsprogramms *Lä-Bu* auf *trockener Parabraunerde* im Klimaraum *Hametholz*.

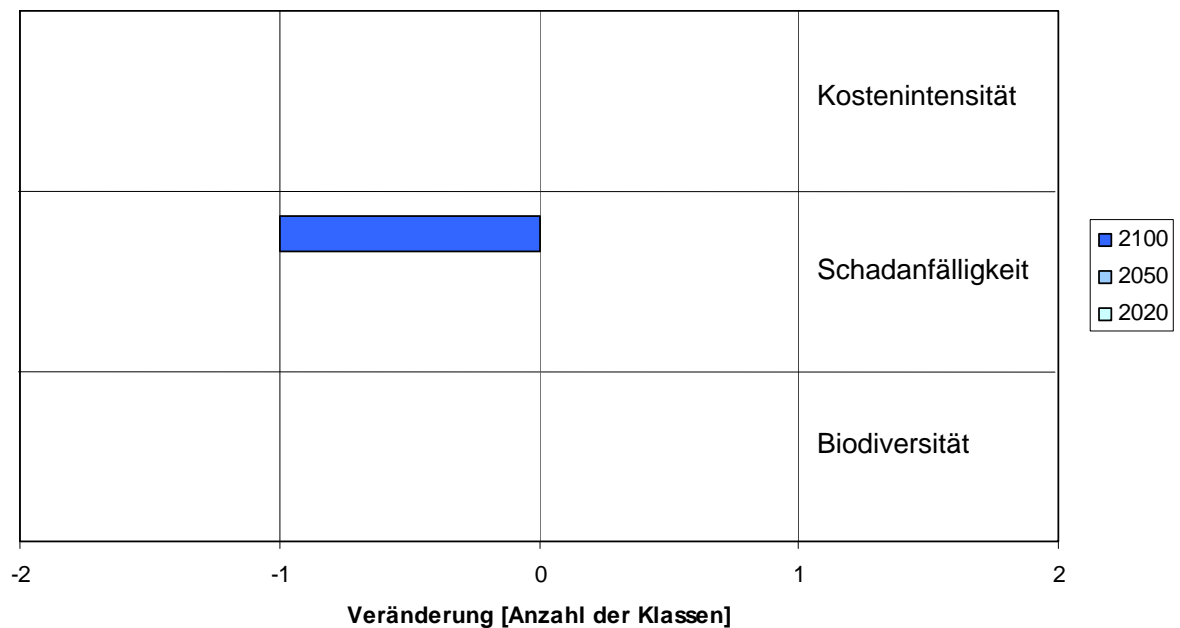


Abb. 57b: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Biodiversität*, *Schadanfälligkeit* und *Kostenintensität* des Produktionsprogramms *Lä-Bu* auf *trockener Parabraunerde* im Klimaraum *Hametholz*.

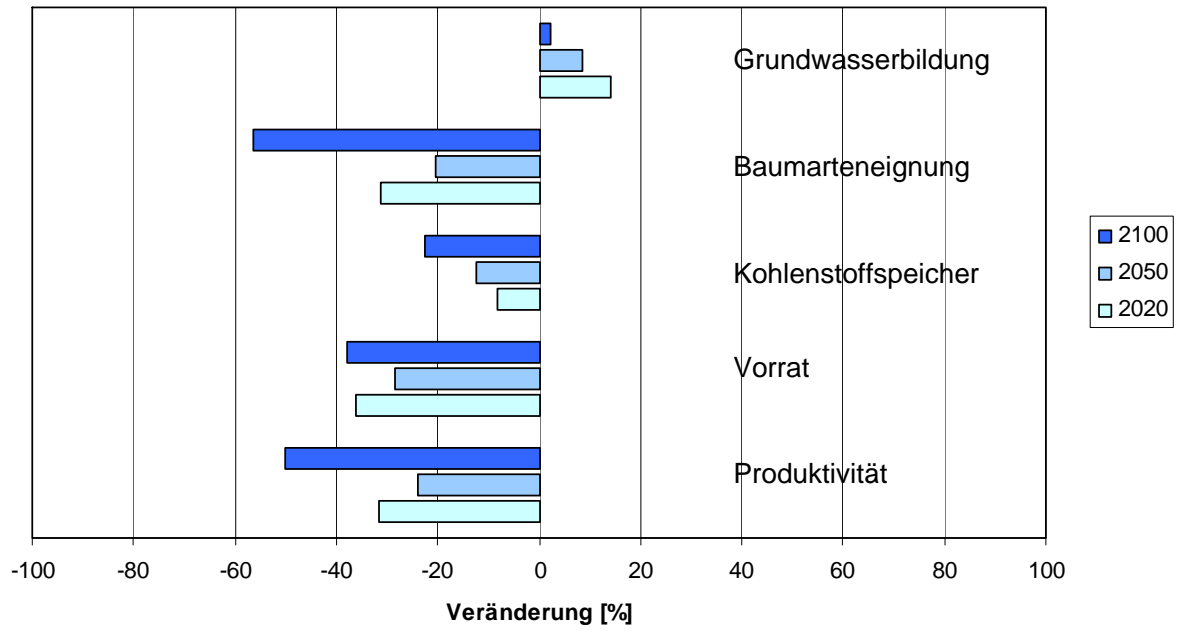


Abb. 58: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicherung*, *Baumarteneignung* und *Grundwasserneubildung* des Produktionsprogramms *Lä-Bu* auf *frischer Parabraunerde* im Klimaraum *Abetzberg*.

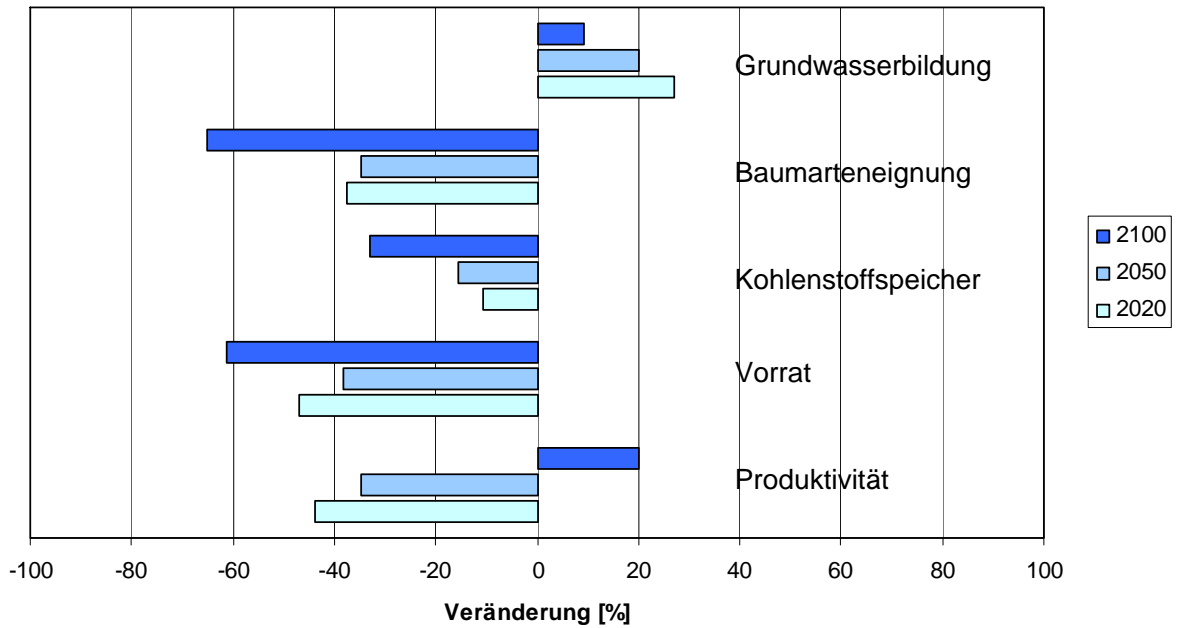


Abb. 59a: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicherung*, *Baumarteneignung* und *Grundwasserneubildung* des Produktionsprogramms *Lä-Bu* auf *frischer Parabraunerde* im Klimaraum *Hametholz*.

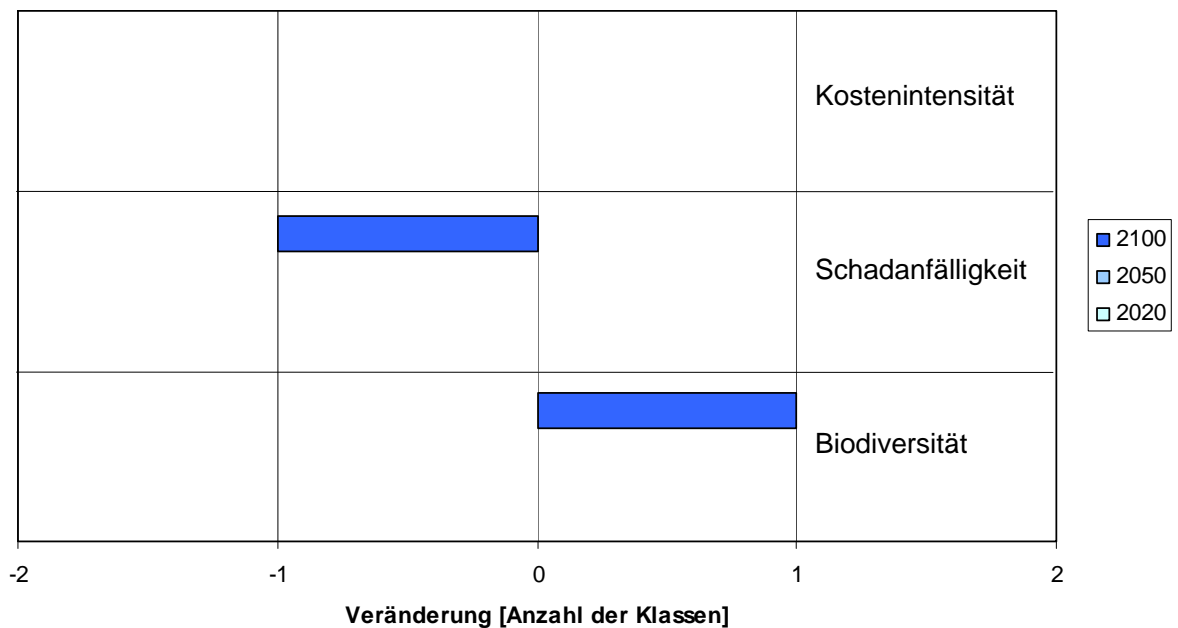


Abb. 59b: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Biodiversität*, *Schadanfälligkeit* und *Kostenintensität* des Produktionsprogramms *Lä-Bu* auf *frischer Parabraunerde* im Klimaraum *Hametholz*.

## 7.4 Produktionsprogramm *Bergahorn-Esche*

Das Produktionsprogramm *Bergahorn-Esche* wurde sowohl auf der *frischen* als auch auf der *trockenen* Variante der Standortseinheit *Parabraunerde* in den zwei Klimaräumen *Abetzberg* und *Hametholz* modelliert (siehe auch Tabelle 16). Auf der Standortseinheit *Pseudogley* wurden die beiden Edellaubbaumarten nicht modelliert, weil sie dort aus waldbaulicher Sicht *nicht geeignet* sind: Bei Bergahorn und Esche sinkt einerseits die Konkurrenzfähigkeit und andererseits nimmt die Schadanfälligkeit auf *Pseudogley* zu. Waldbauliche Details zu diesem Produktionsprogramm sind im Kapitel 5.4.3 dargelegt (vgl. HOCHBICHLER, pers. Mitteilung 2009).

In der ausgewählten Standortseinheit sind diese Baumarten aber durchaus leistungsfähig, weil die Ansprüche an *Gründigkeit* und *Trophiestufe* erfüllt werden. Die vorliegende Standortseinheit *Parabraunerde* eignet sich vor allem in der *frischen* Variante für eine Wertholzproduktion mit Bergahorn, weil unter anderem die Basensättigung 30% übersteigt (vgl. OBERÖSTERREICHISCHER LANDESFORSTDIENST, Broschüre, 2002).

Auf den hoch produktiven Flysch- und Molasse-Standorten im Nördlichen Alpenvorland werden für Bergahorn und Esche Umtriebszeiten zwischen 70 und 90 Jahren empfohlen (vgl. RIEDER 1998; HEIN 2004a; HEIN 2004b; HEIN & SPIECKER 2008), wobei *einsetzende Holzverfärbungen* beim Bergahorn bzw. die Entstehung eines *Braunkernes* bei der Esche ab einem Alter zwischen 70 und 80 Jahren den Produktionszeitraum begrenzen (vgl. HOCHBICHLER, Vorlesung, 2008a).

Für Bergahorn-Reinbestände im nordostdeutschen Tiefland hat LOCKOW (vgl. [http://www.mluv.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.4595.de/fb\\_ahorn.pdf](http://www.mluv.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.4595.de/fb_ahorn.pdf), 25. 03. 2009) eine artspezifische Ertragstafel (2004) erstellt.

Bergahorn und Esche lassen eine einzelbaumorientierte Mischung zu, weil sie sich indifferent (*amensal*) verhalten (vgl. SCHÜTZ 1994) und weil die beiden zu Wipfelschäftigkeit tendieren: Diese Baumarten ergänzen einander also hervorragend.

Die Werte des *baseline*-Szenarios für den Vorrat steigen stetig an und reichen bis zu knapp 200m<sup>3</sup> pro ha in der dritten Periode auf *frischer Parabraunerde* im Klimaraum *Abetzberg*, während das Klimaänderungsszenario *CC-A1B* hier etwa einen Wert über 100m<sup>3</sup> pro ha aufweist (siehe Abbildungen 60 bis 63).

Die *Kohlenstoffspeicherung* ist von Klimaänderungen nur schwach abhängig: Sie pendelt sich über 100t Kohlenstoff pro ha ein, im Klimaraum *Abetzberg* etwas höher als im Klimaraum *Hametholz* und auf *trockenen* Standortvarianten ab der zweiten Periode (2021-2050) etwas geringer als auf *frischen* Varianten. Die Schwankungen zwischen den Klimaänderungsszenarien fallen recht moderat aus (siehe Abbildungen 60 bis 63). Dieser Aspekt könnte von Vorteil sein, weil große Fluktuationen beim Kohlenstoffhaushalt im Rahmen der Waldbewirtschaftung möglichst vermieden werden sollten.

Betreffend die *Baumarteneignung* ist die Edellaubmischung in den ersten beiden Perioden *mäßig* und in der dritten Periode *kaum*, am wenigsten auf *trockener Parabraunerde* im Klimaraum *Hametholz* gegeben. Die *Biodiversität* ist wie erwartet *mittel*, die *Schadanfälligkeit* ist im Klimaraum *Abetzberg* in der ersten Periode (2001-

2020) bei den drei betrachteten Klimaänderungsszenarien *mittel* und anschließend *gering*; im Klimaraum *Hametholz* allgemein *gering*. Die *Kostenintensität* ist zunächst *mittel*, wird in der zweiten Periode *hoch* und in der dritten Periode wiederum *mittel* (siehe Abbildungen 60 bis 63).

In Hinblick auf den Indikator *Produktivität* unterscheiden sich die Klimaänderungsszenarien *CC-A1B* und *CC-A2* der dritten Periode (2051-2100) im Klimaraum *Hametholz* in Bezug auf die Standortvarianten *frisch* und *trocken* fast nicht (siehe Abbildungen 60 bis 63).

Die Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum *baseline*-Szenario sind für die Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicher* und *Baumarteneignung* durchwegs negativ (siehe Abbildungen 64 bis 67b).

Beim Indikator *Biodiversität* ergeben sich im Verlauf der Analyseperiode weder Zu- noch Abnahmen. Die *Schadanfälligkeit* verringert sich innerhalb der ersten Periode (2001-2020) um eine Klasse (auf den zwei Standortvarianten im Klimaraum *Hametholz*) oder variiert nicht (auf den zwei Varianten im Klimaraum *Abetzberg*). Der Indikator *Kostenintensität* zeigt keine Veränderungen (siehe Abbildungen 64 bis 67b).



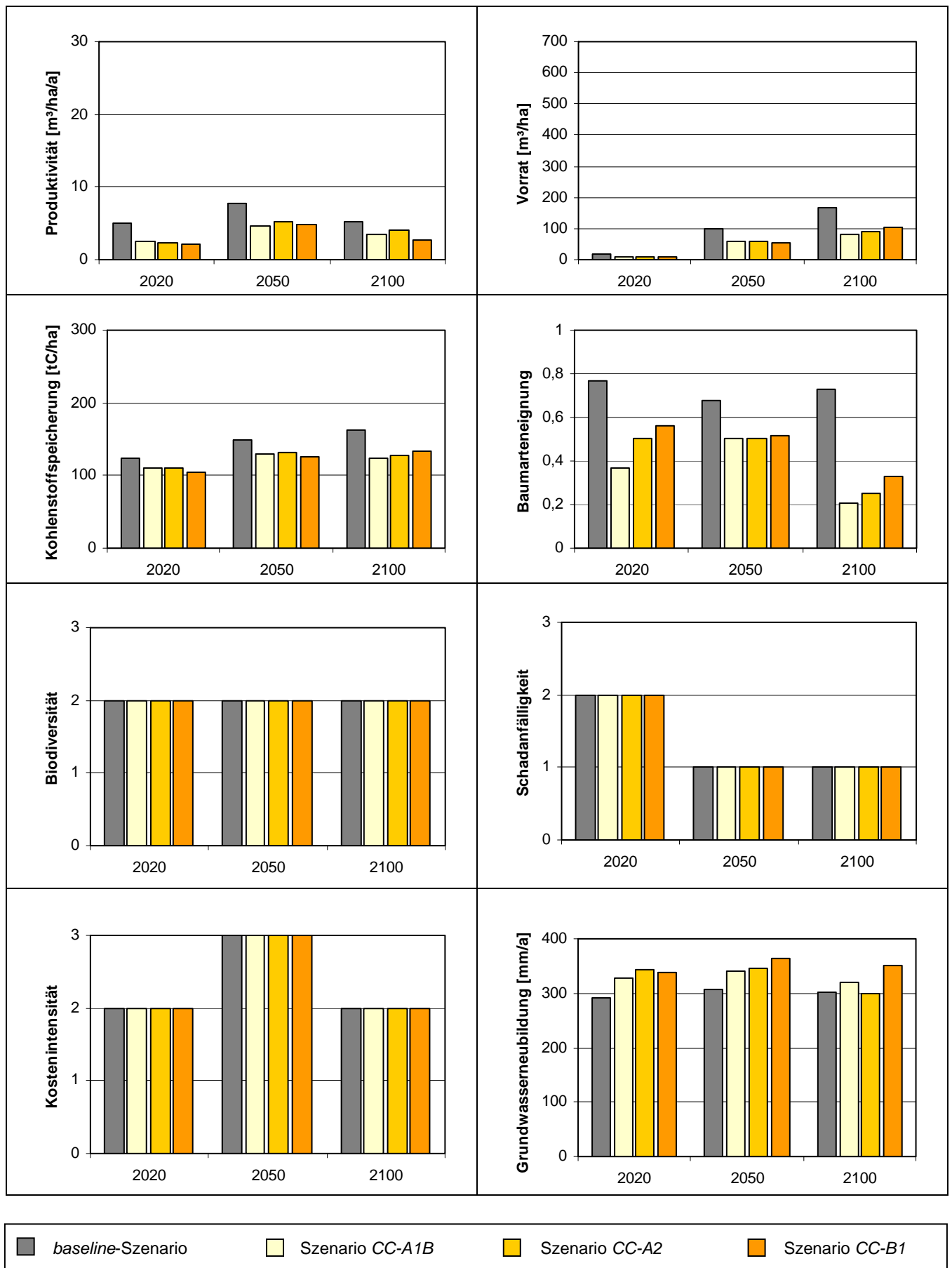


Abb. 60: Indikatoren für das Produktionsprogramm *BAH-Es* auf *trockener Parabraunerde* im Klima-  
raum *Abetzberg*.

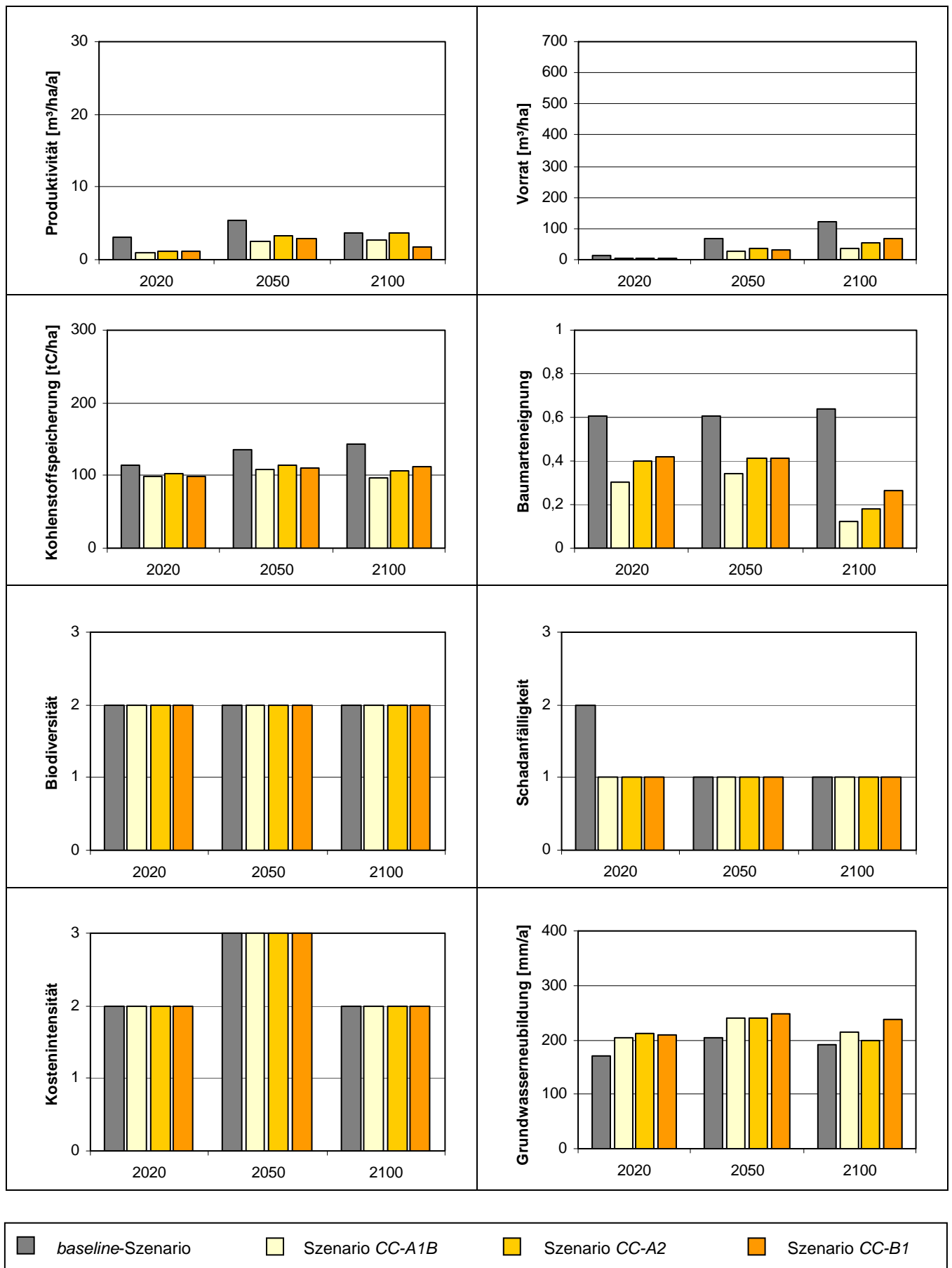


Abb. 61: Indikatoren für das Produktionsprogramm *BAH-Es* auf *trockener Parabraunerde* im Klima-  
raum *Hametholz*.

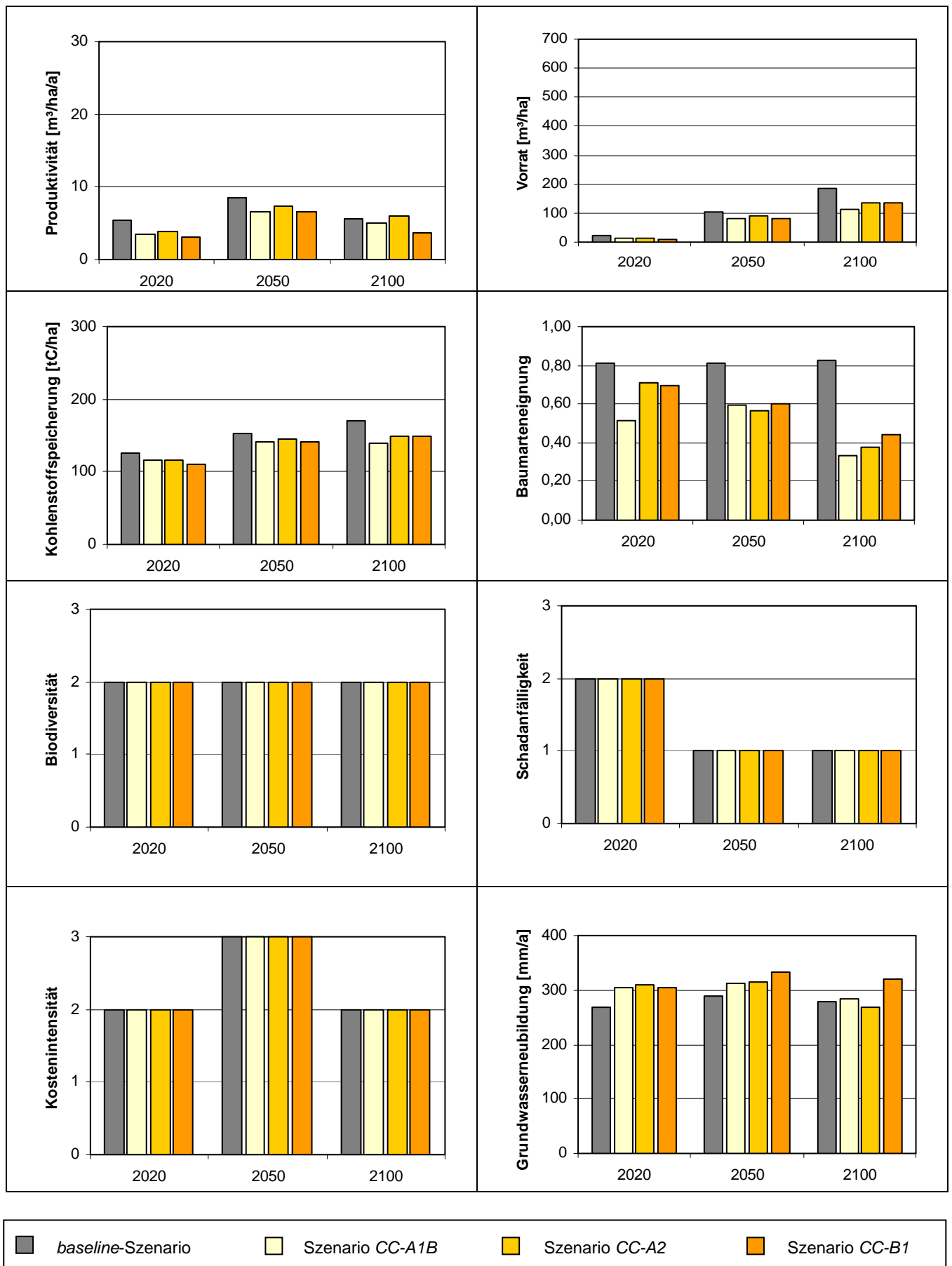
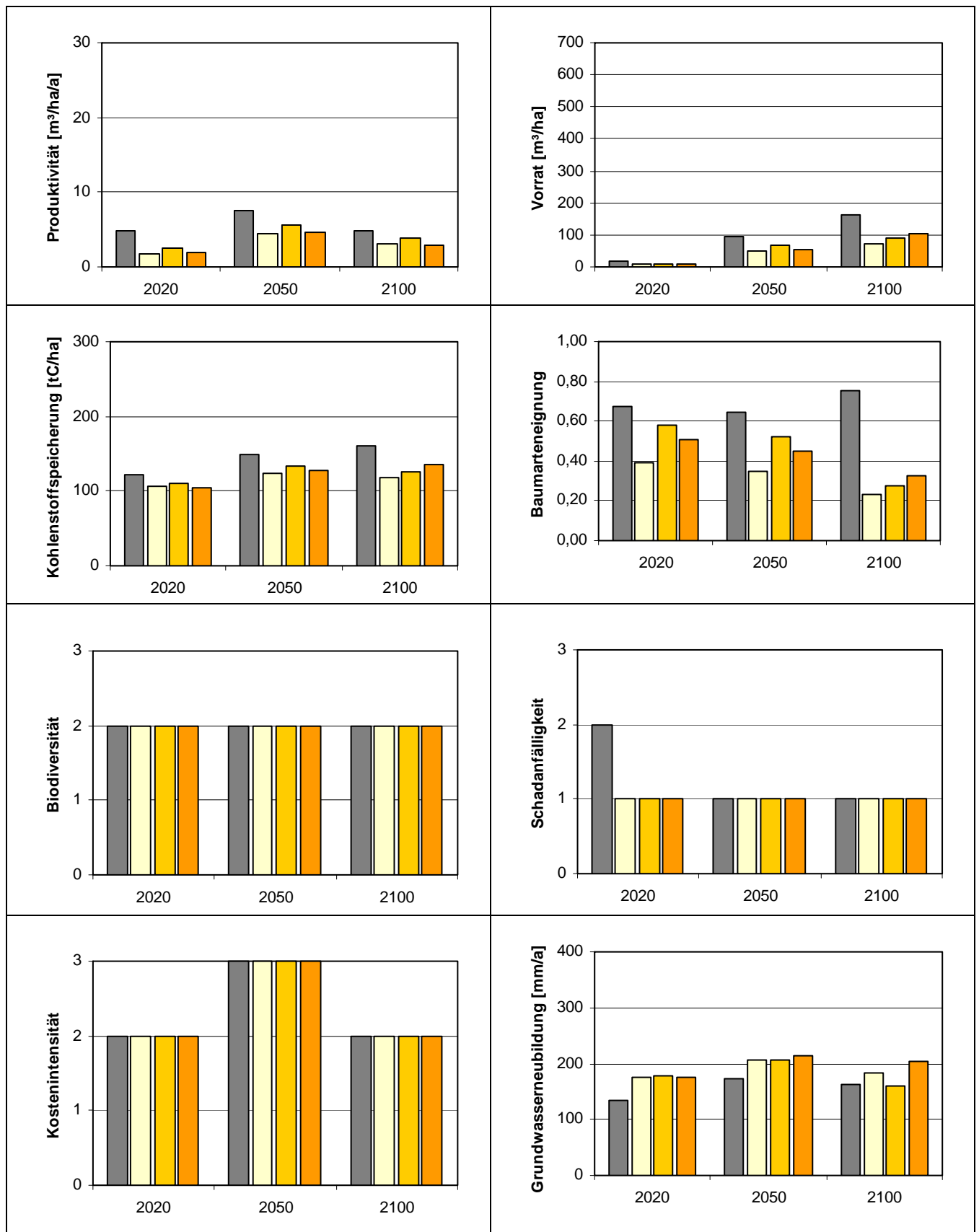


Abb. 62: Indikatoren für das Produktionsprogramm BAh-Es auf frischer Parabraunerde im Klimaraum Aetzberg.



*baseline-Szenario*
 Szenario CC-A1B
  Szenario CC-A2
  Szenario CC-B1

Abb. 63: Indikatoren für das Produktionsprogramm BAh-Es auf frischer Parabraunerde im Klimaraum Hametholz.

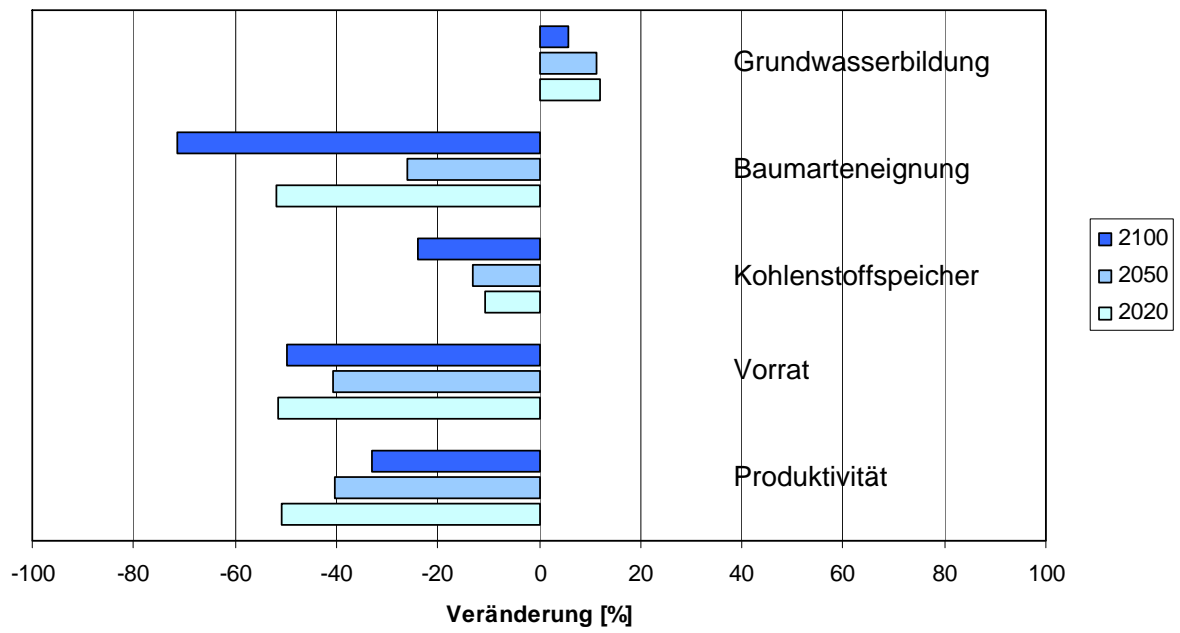


Abb. 64: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicherung*, *Baumarteneignung* und *Grundwasserneubildung* des Produktionsprogramms *BAh-Es* auf *trockener Parabraunerde* im Klimaraum *Abetzberg*.

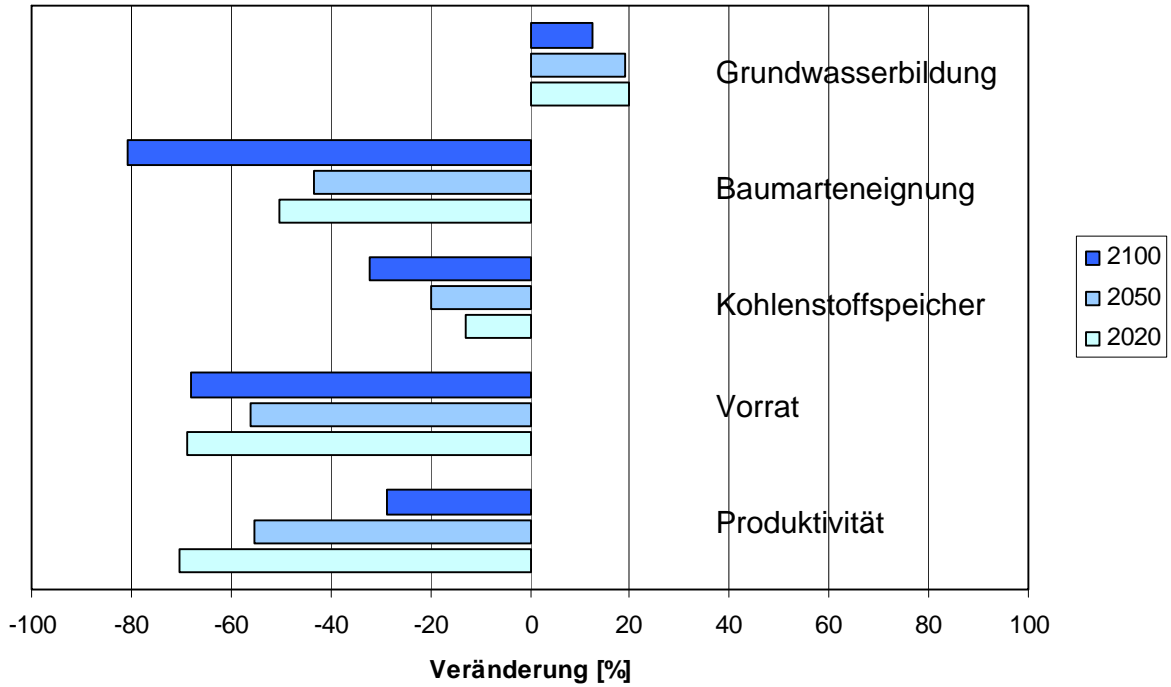


Abb. 65a: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicherung*, *Baumarteneignung* und *Grundwasserneubildung* des Produktionsprogramms *BAh-Es* auf *trockener Parabraunerde* im Klimaraum *Hametholz*.

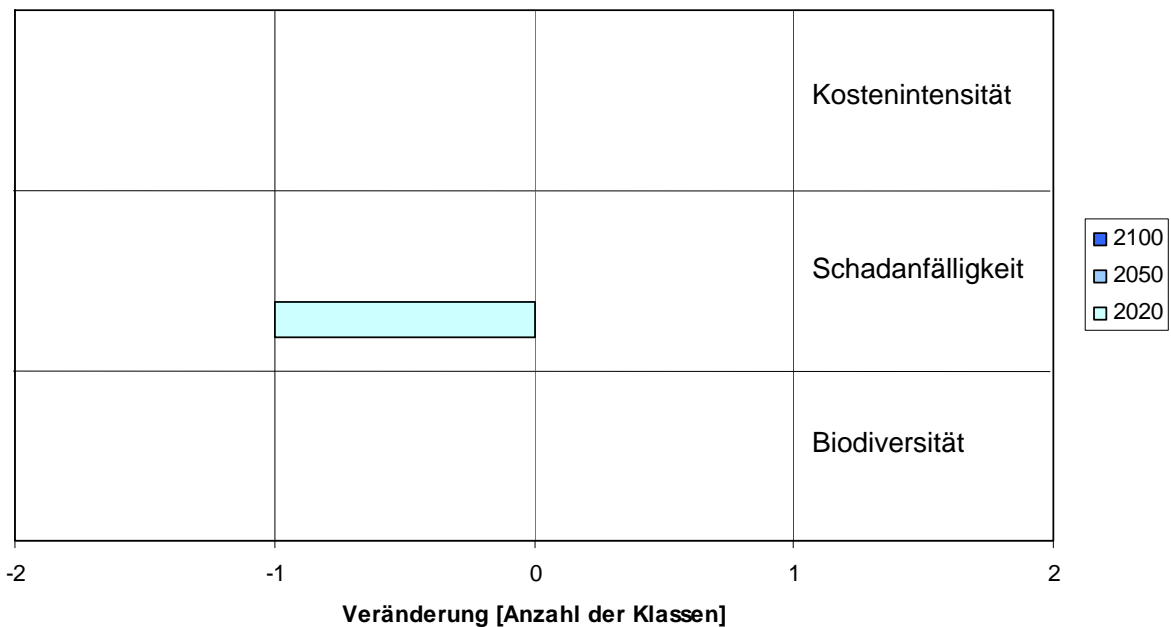


Abb. 65b: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Biodiversität*, *Schadanfälligkeit* und *Kostenintensität* des Produktionsprogramms *BAh-Es* auf *trockener Parabraunerde* im Klimaraum *Hametholz*.

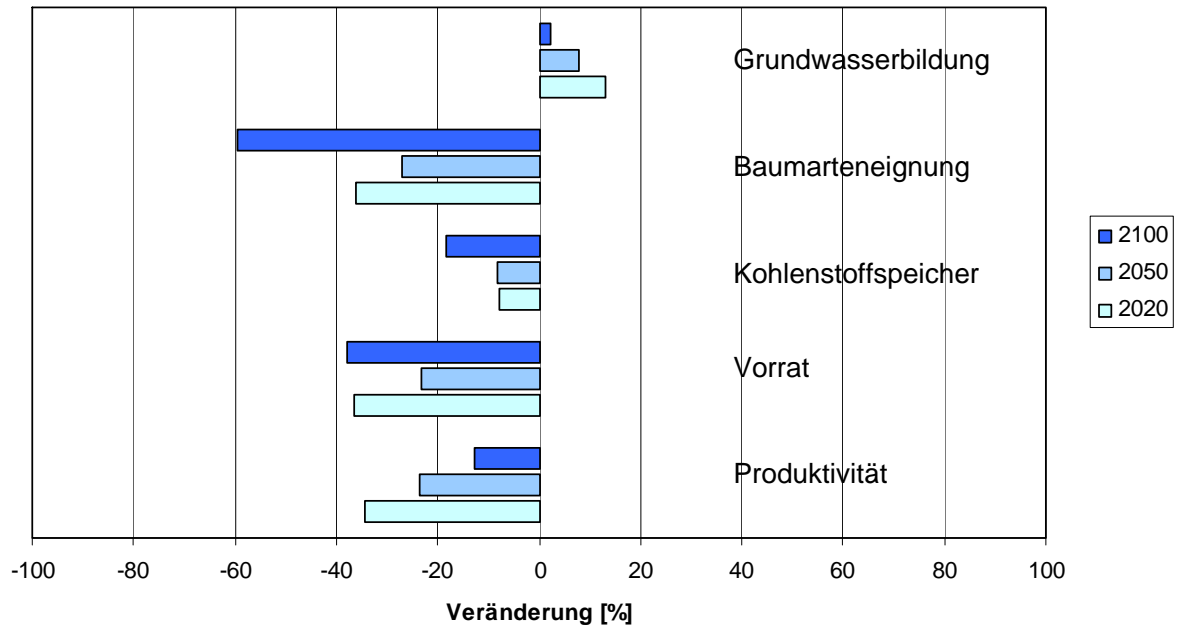


Abb. 66: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicherung*, *Baumarteneignung* und *Grundwasserneubildung* des Produktionsprogramms *BAh-Es* auf *frischer Parabraunerde* im Klimaraum *Abetzberg*.

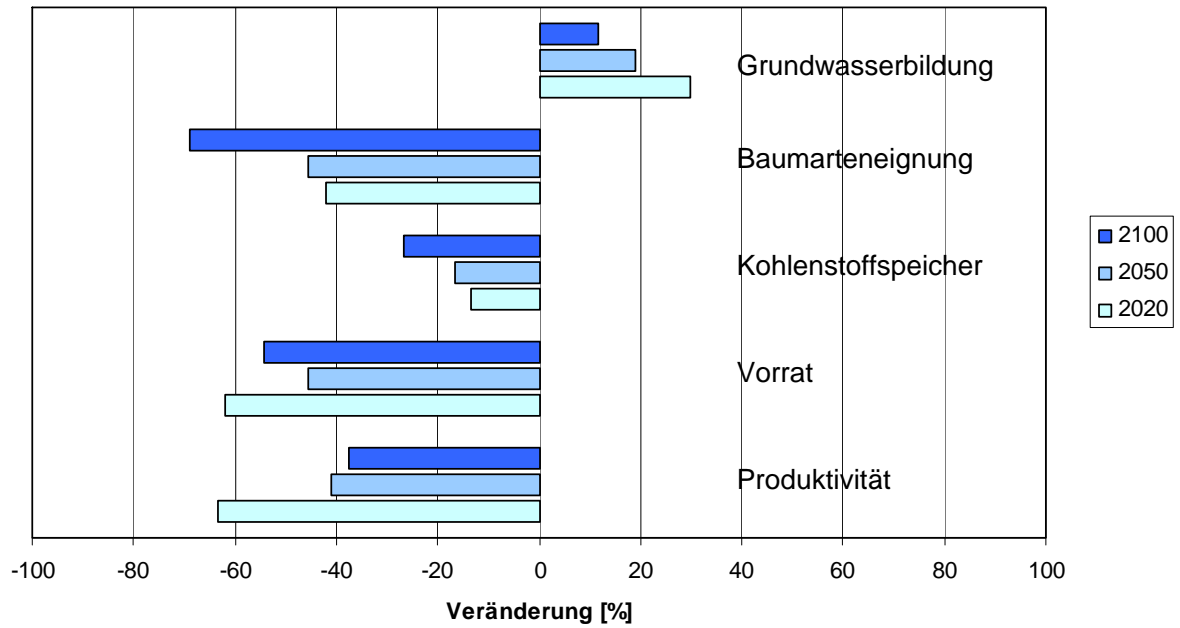


Abb. 67a: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicherung*, *Baumarteneignung* und *Grundwasserneubildung* des Produktionsprogramms *BAh-Es* auf *frischer Parabraunerde* im Klimaraum *Hametholz*.

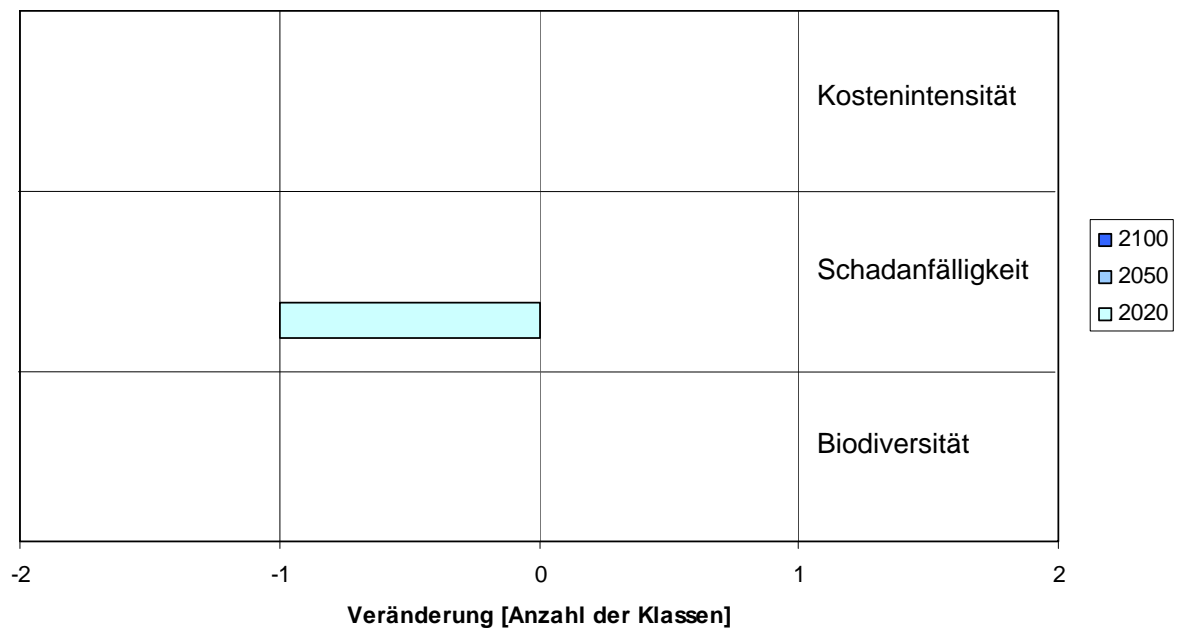


Abb. 67b: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Biodiversität*, *Schadanfälligkeit* und *Kostenintensität* des Produktionsprogramms *BAh-Es* auf *frischer Parabraunerde* im Klimaraum *Hametholz*.



## 7.5 Produktionsprogramm *Stieleiche-Hainbuche*

Das Produktionsprogramm *Stieleiche-Hainbuche* wurde sowohl auf der *trockenen* als auch auf der *frischen* Variante der Standortseinheit *Pseudogley* simuliert (siehe auch Tabelle 16). Die beste Entwicklung zeigt die Stieleiche auf tiefgründigen, frischen bis feuchten, dem *Auwald ähnlichen* (durch *Tagwasser beeinflussten*) Landböden (vgl. SCHUME *et al.*, Proseminar, 2001; FRANK, Vorlesung, 2004b). Die Baumartenmischung *Stieleiche-Hainbuche* ist auf *Pseudogley* gut geeignet: Stieleiche und Hainbuche sind Spezialisten, die geringe Ansprüche an die Qualität der Bodenluft stellen und mit teilweise anaeroben Verhältnissen im Wurzelraum zurechtkommen (im Gegensatz zu den Baumarten der übrigen Produktionsprogramme). Schwere *Pseudogley*böden werden verschiedentlich als *Eichen-Zwangsstandorte* klassifiziert. Dieses waldbauliche Produktionsprogramm wird im Kapitel 5.4.4 ausführlich beschrieben (vgl. HOCHBICHLER, pers. Mitteilung, 2009).

Die Stieleiche, ein langlebiger Pionier, fungiert in diesem Produktionsprogramm als Hauptbaumart, die Hainbuche, die sich *kommensal* verhält, als *dienende Nebenbaumart* (*Begleitbaumart*, vgl. SCHÜTZ 1994): Um die Wasserreiserbildung zu verzögern, werden die Eichenstämme mit Hainbuchen ummantelt.

Innovative Eichenwertholzproduktion im Nördlichen Alpenvorland nimmt einen Zeitraum zwischen 80 und 120 Jahren in Anspruch (vgl. HOCHBICHLER, Vorlesung, 2008a; HOCHBICHLER, pers. Mitteilung, 2009).

Das Produktionsprogramm *Stieleiche-Hainbuche* zeigt in den betrachteten Klimaänderungsszenarien über alle drei Perioden konstante und solide Produktivitäten um etwa 8m<sup>3</sup> pro ha und Jahr. Ebenso stetig entwickeln sich die Vorräte. Die *Kohlenstoffspeicherung* in der dritten Periode kommt bei Werten knapp über 200t C pro ha zu liegen (siehe Abbildungen 68 bis 71).

Für die Produktivität bieten die drei Klimaänderungsszenarien recht einheitliche Werte über alle Perioden hinweg. Dieses Produktionsprogramm zeigt im Vergleich zu den anderen eine sehr geringe Sensitivität in Bezug auf klimatische Bedingungen. Entsprechend entwickeln sich Vorrat und Kohlenstoffspeicherung kontinuierlich und erreichen in der dritten Periode etwa 200m<sup>3</sup> pro ha, bzw. 200t Kohlenstoff pro ha (siehe Abbildungen 68 bis 71). Produktivität und Vorrat unterscheiden sich kaum in Bezug auf die Standortsvarianten *frisch* und *trocken*: Mit Hilfe der Pfahlwurzel erschließt die Eiche auch tiefere Bodenschichten, die z.B. für die Fichte, aber auch für die Lärche und die Rotbuche außer Reichweite sind.

Die *Baumarteneignung* beginnt mit einer recht guten Ausgangsposition, die aber bei Klimaänderung in der dritten Periode ein wenig abfällt und nur mehr als *mäßig* einzustufen ist. Die *Biodiversität* ist erwartungsgemäß *mittel*. Eine gewisse *Schad anfälligkeit* macht sich in der ersten Analyseperiode bemerkbar. Ab der dritten Periode (2051-2100) verringert sich die Schadanfälligkeit. Auf *trockenem Pseudogley* im Klimaraum *Hametholz* ist sie am niedrigsten. In der ersten Periode wird die *Kostenintensität* als *mittel* eingestuft. In der zweiten und dritten Periode steigt die Kostenintensität an (siehe Abbildungen 68 bis 71).

Die Abbildungen 72a bis 75b veranschaulichen die Veränderungen der Indikatoren im Vergleich zum *baseline*-Szenario. Diese relativen Veränderungen sind kleiner als bei den anderen Produktionsprogrammen.

Die Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum *baseline*-Szenario sind für die Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicher* und *Baumarteneignung* durchwegs negativ (siehe Abbildungen 72a bis 75b).

Beim Indikator *Biodiversität* ergeben sich im Verlauf der Analyseperiode analog zum konventionellen Produktionsprogramm *Fichte-BAU* weder Zu- noch Abnahmen, ebenso beim Indikator *Kostenintensität* (siehe Abbildungen 72a bis 75b).

Der Indikator *Schadanfälligkeit* nimmt bis 2050 meist um eine Klasse ab; nur auf der *frischen* Variante der Standortseinheit *Pseudogley* im Klimaraum *Abetzberg* vergrößert sich die Schadanfälligkeit um eine Klasse (siehe Abbildungen 72a bis 75b).

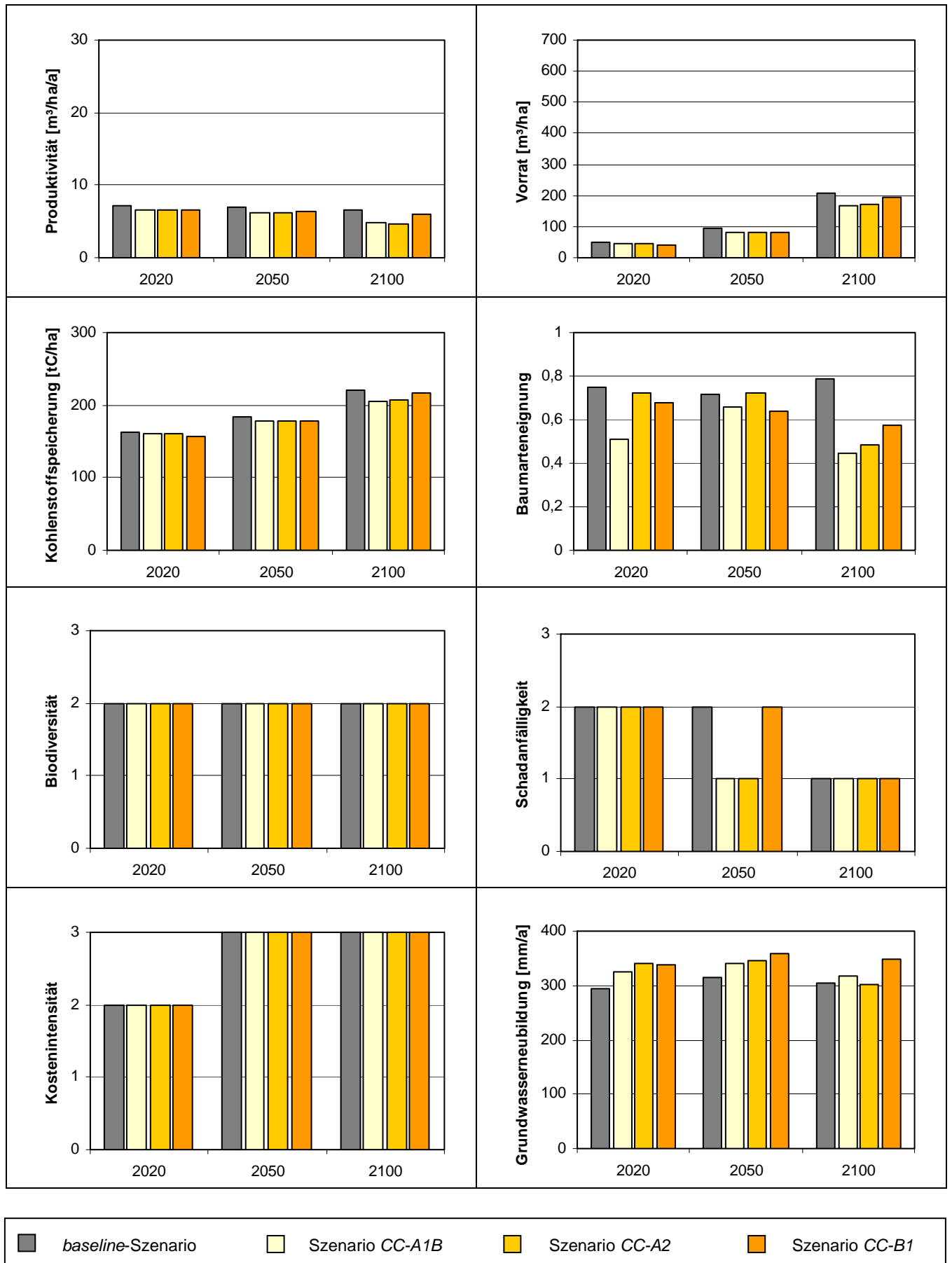


Abb. 68: Indikatoren für das Produktionsprogramm *StEi-Hbu* auf *trockenem Pseudogley* im Klimaraum *Abetzberg*.

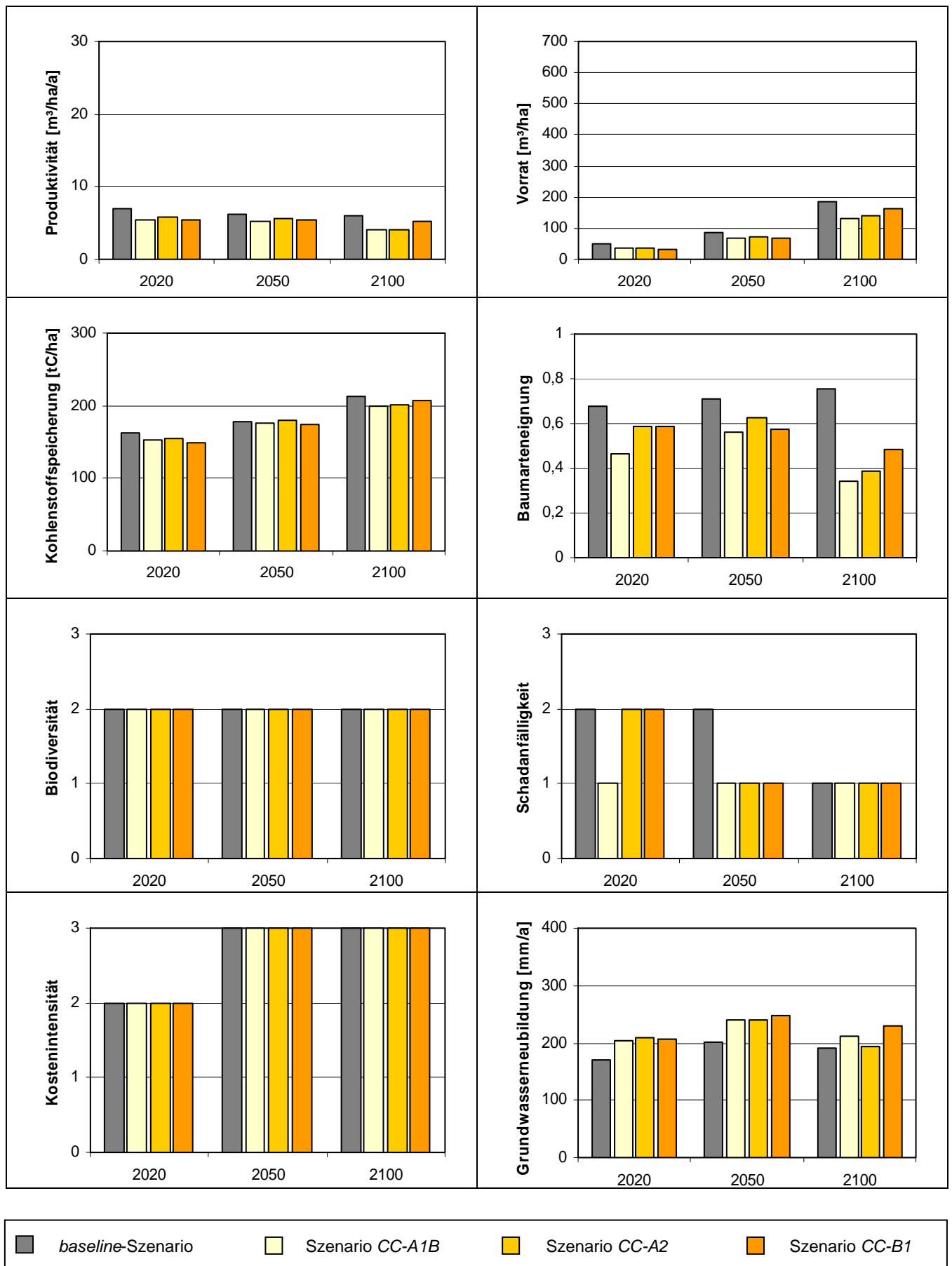


Abb. 69: Indikatoren für das Produktionsprogramm *StEi-Hbu* auf *trockenem Pseudogley* im Klima-  
raum *Hametholz*.

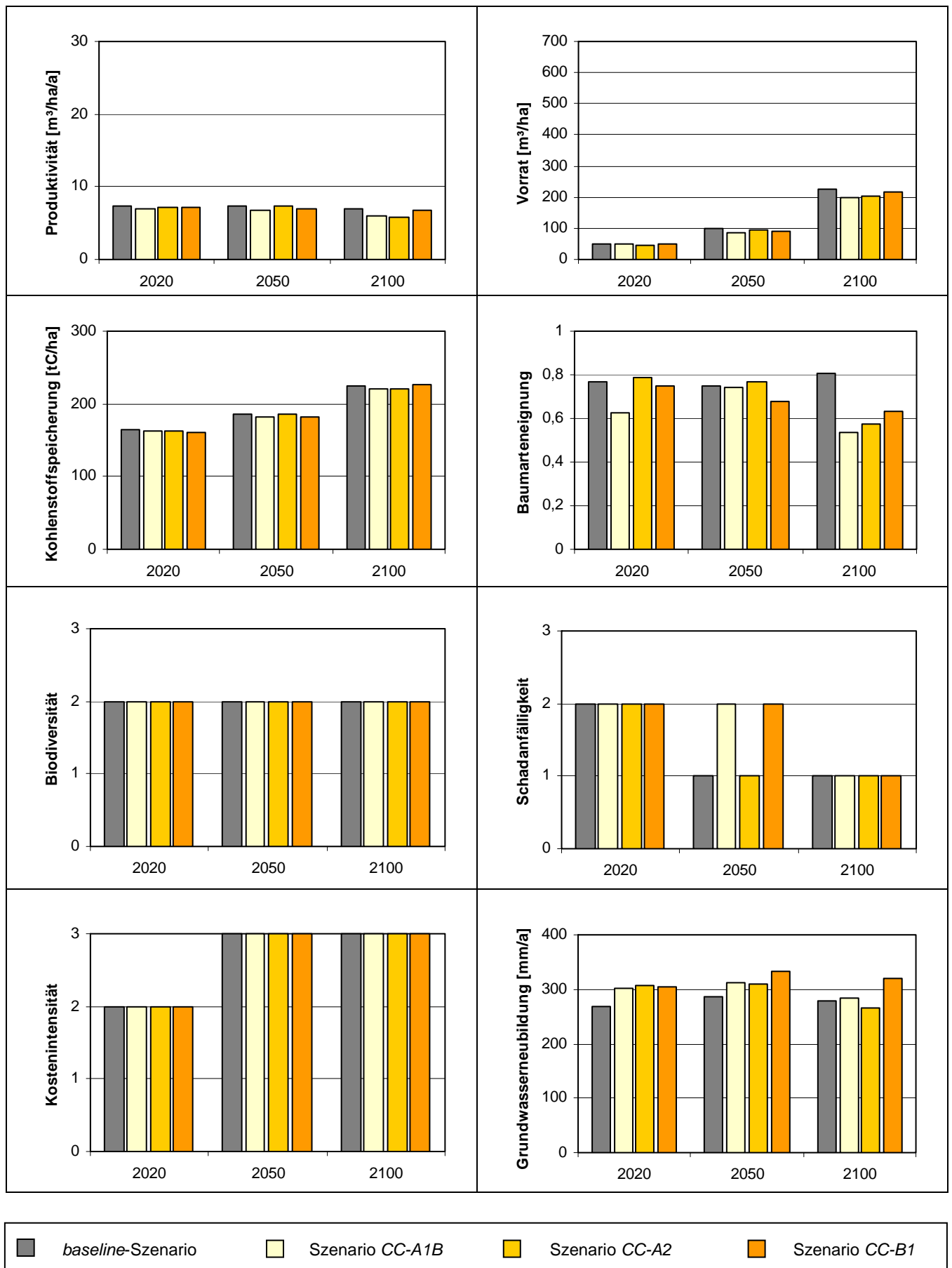


Abb. 70: Indikatoren für das Produktionsprogramm *StEi-Hbu* auf *frischem Pseudogley* im Klimaraum *Aetzberg*.

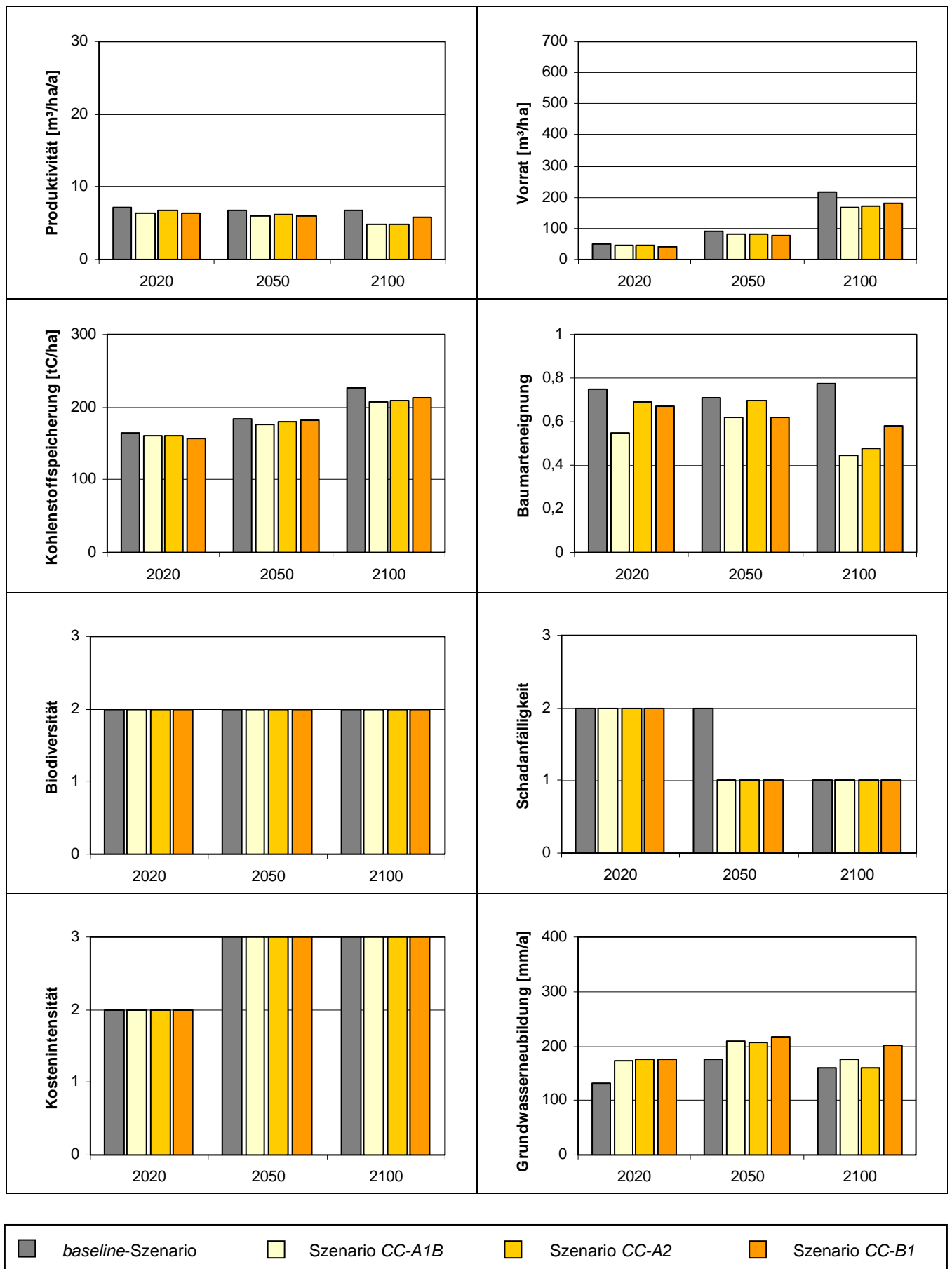


Abb. 71: Indikatoren für das Produktionsprogramm *StEi-Hbu* auf *frischem Pseudogley* im Klimaraum *Hametholz*.

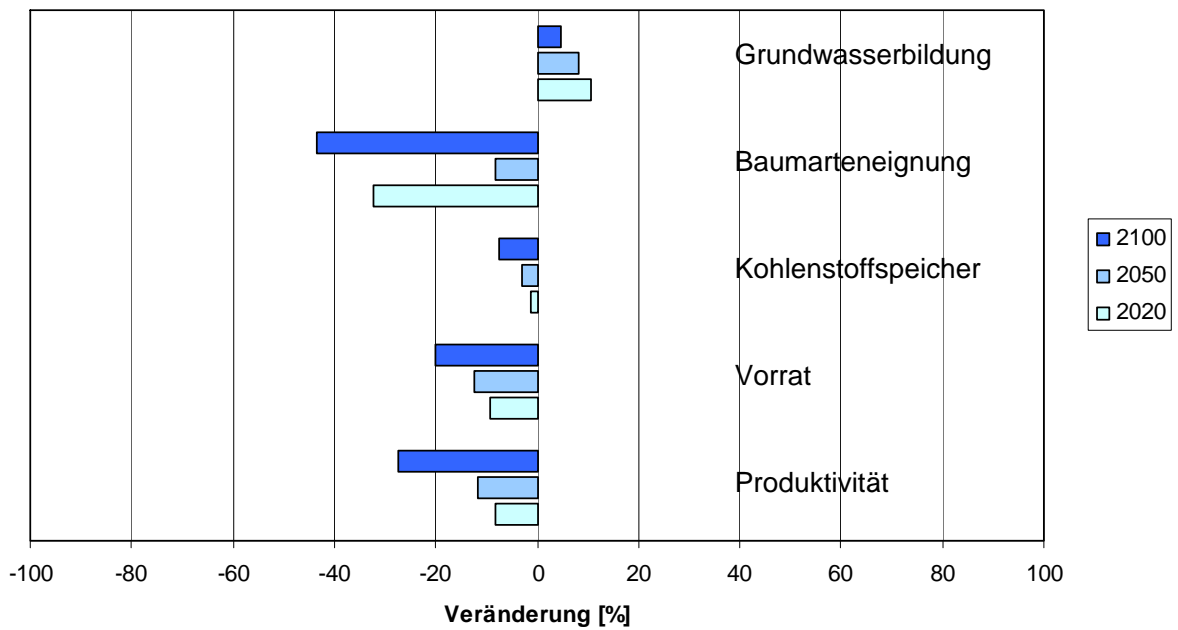


Abb. 72a: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicherung*, *Baumarteneignung* und *Grundwasserneubildung* des Produktionsprogramms *StEi-Hbu* auf trockenem *Pseudogley* im Klimaraum *Abetzberg*.

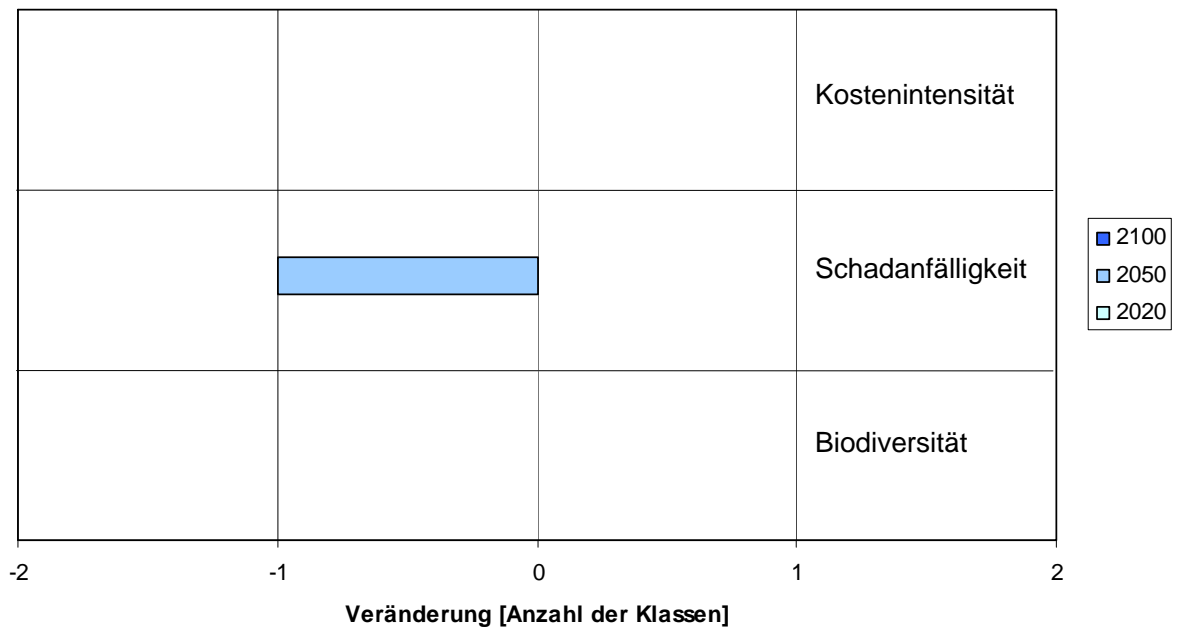


Abb. 72b: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Biodiversität*, *Schadanfälligkeit* und *Kostenintensität* des Produktionsprogramms *StEi-Hbu* auf trockenem *Pseudogley* im Klimaraum *Abetzberg*.

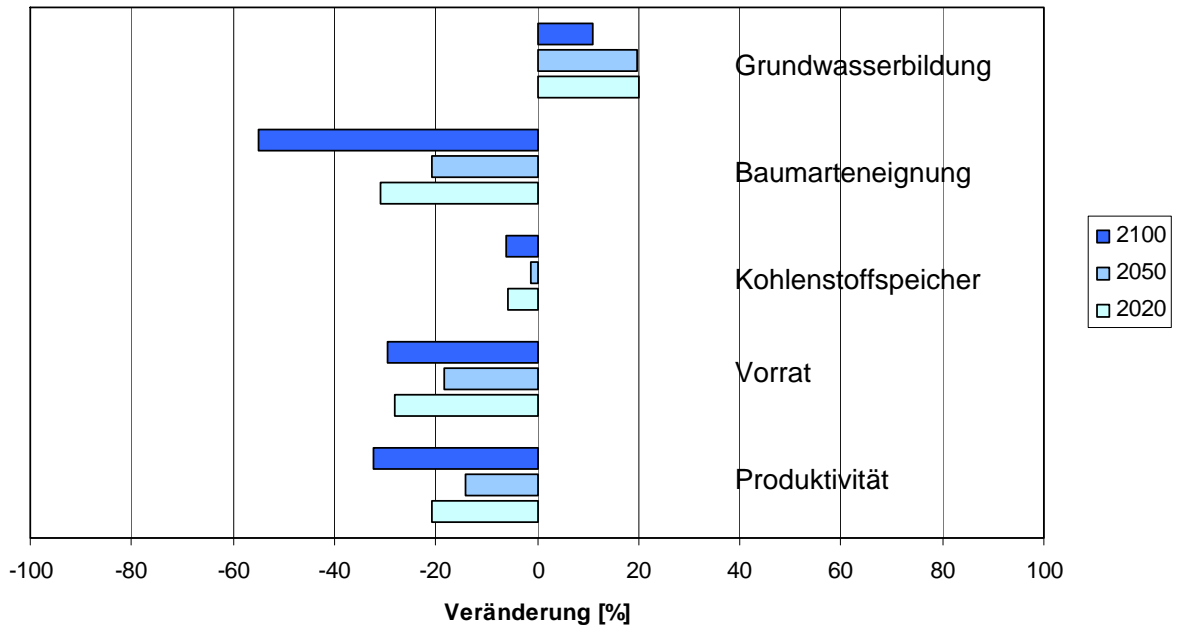


Abb. 73a: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicher*, *Baumarteneignung* und *Grundwasserneubildung* des Produktionsprogramms *StEi-Hbu* auf *trockenem Pseudogley* im Klimaraum *Hametholz*.

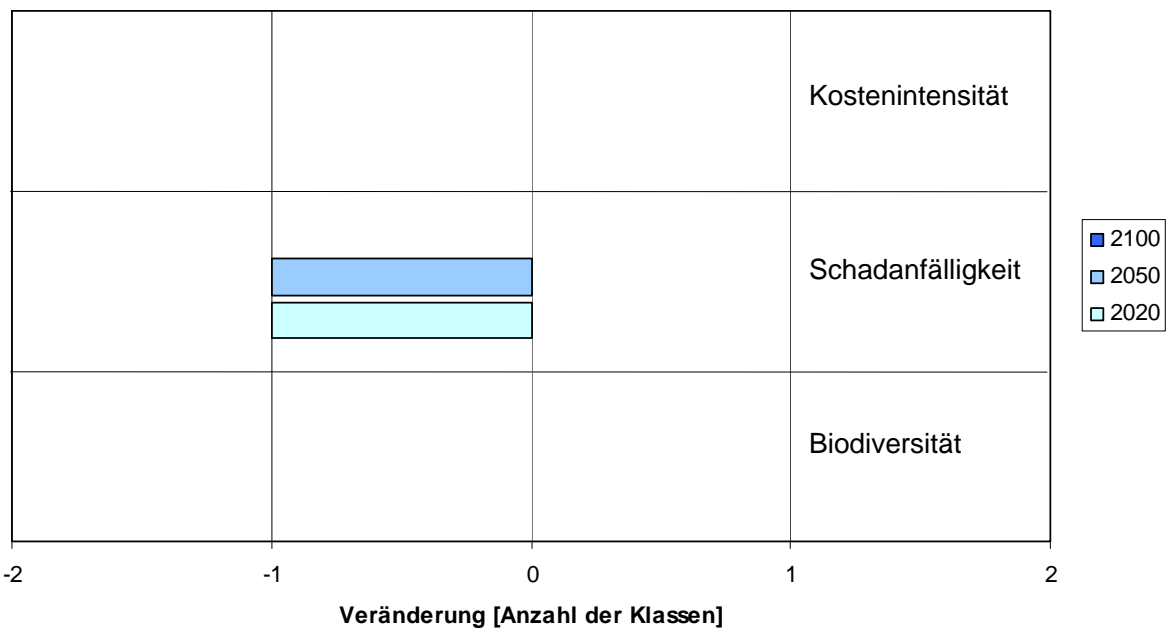


Abb. 73b: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Biodiversität*, *Schadanfälligkeit* und *Kostenintensität* des Produktionsprogramms *StEi-Hbu* auf *trockenem Pseudogley* im Klimaraum *Hametholz*.



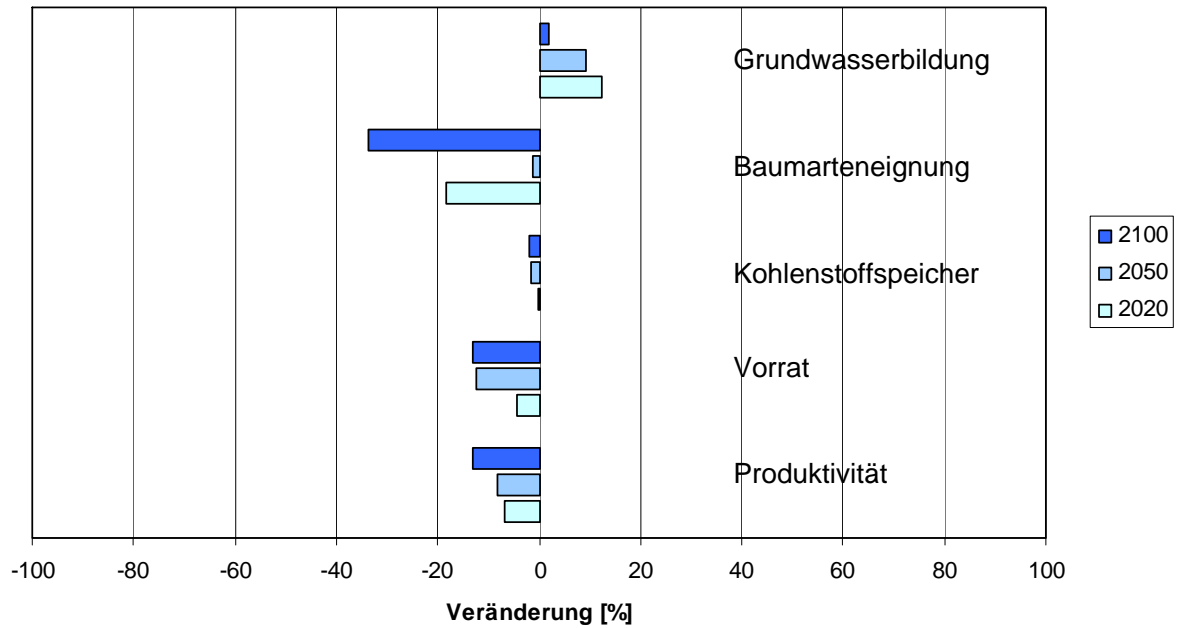


Abb. 74a: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicher*, *Baumarteneignung* und *Grundwasserneubildung* des Produktionsprogramms *StEi-Hbu* auf *frischem Pseudogley* im Klimaraum *Abetzberg*.

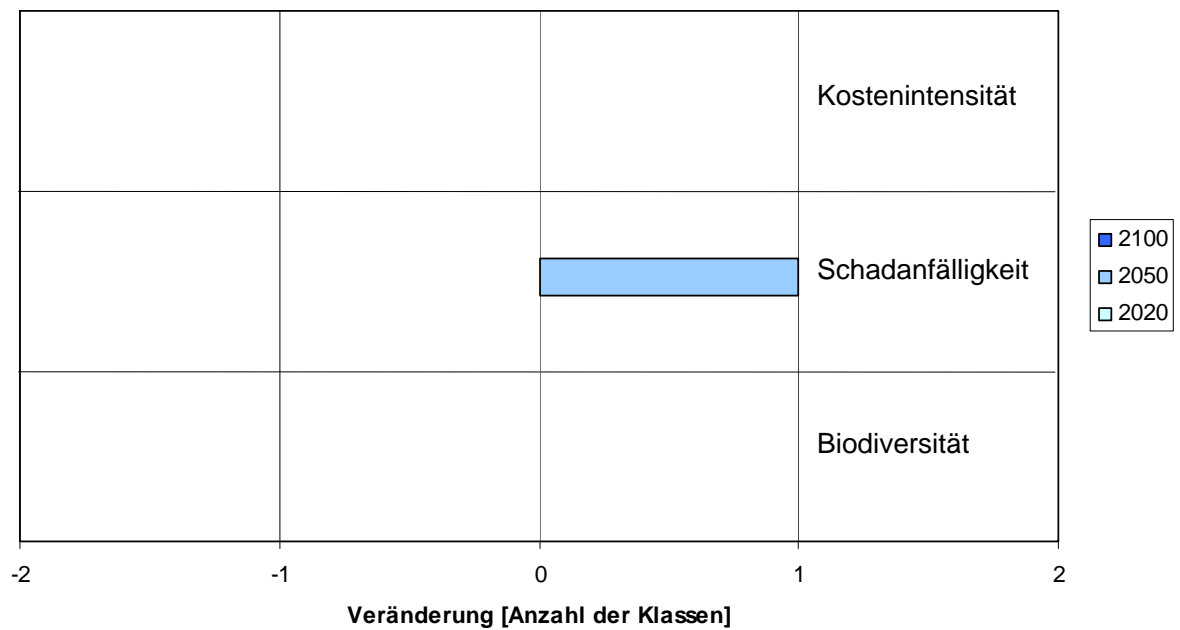


Abb. 74b: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Biodiversität*, *Schadenanfälligkeit* und *Kostenintensität* des Produktionsprogramms *StEi-Hbu* auf *frischem Pseudogley* im Klimaraum *Abetzberg*.

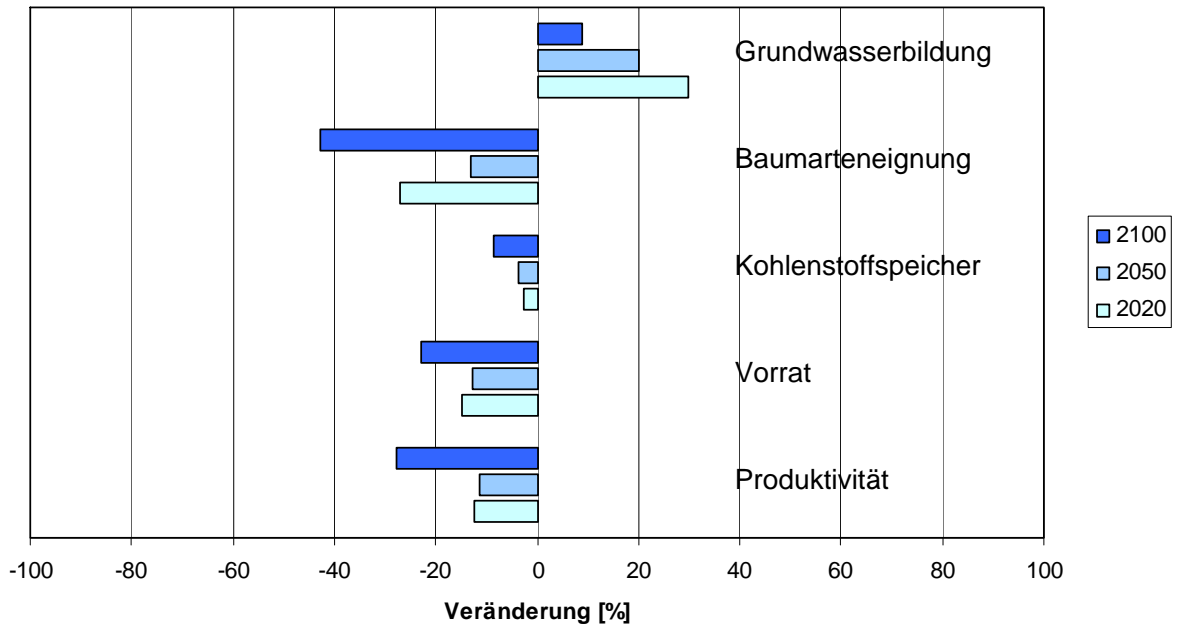


Abb. 75a: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicherung*, *Baumarteneignung* und *Grundwassererneubildung* des Produktionsprogramms *StEi-Hbu* auf *frischem Pseudogley* im Klimaraum *Hametholz*.

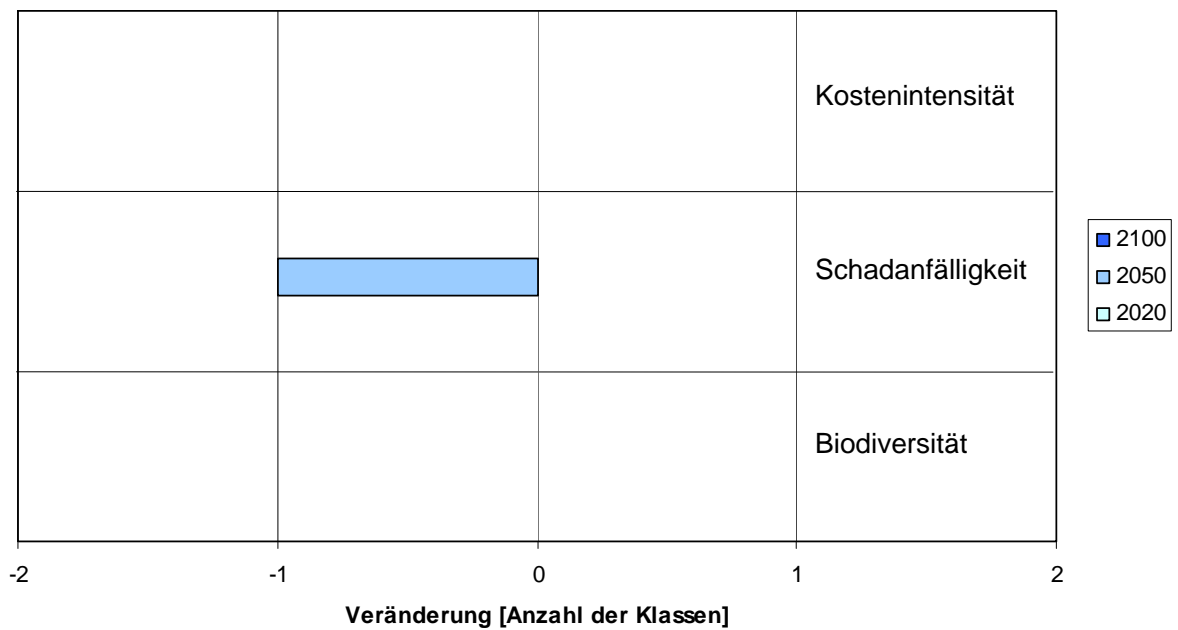


Abb. 75b: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Biodiversität*, *Schadanfälligkeit* und *Kostenintensität* des Produktionsprogramms *StEi-Hbu* auf *frischem Pseudogley* im Klimaraum *Hametholz*.

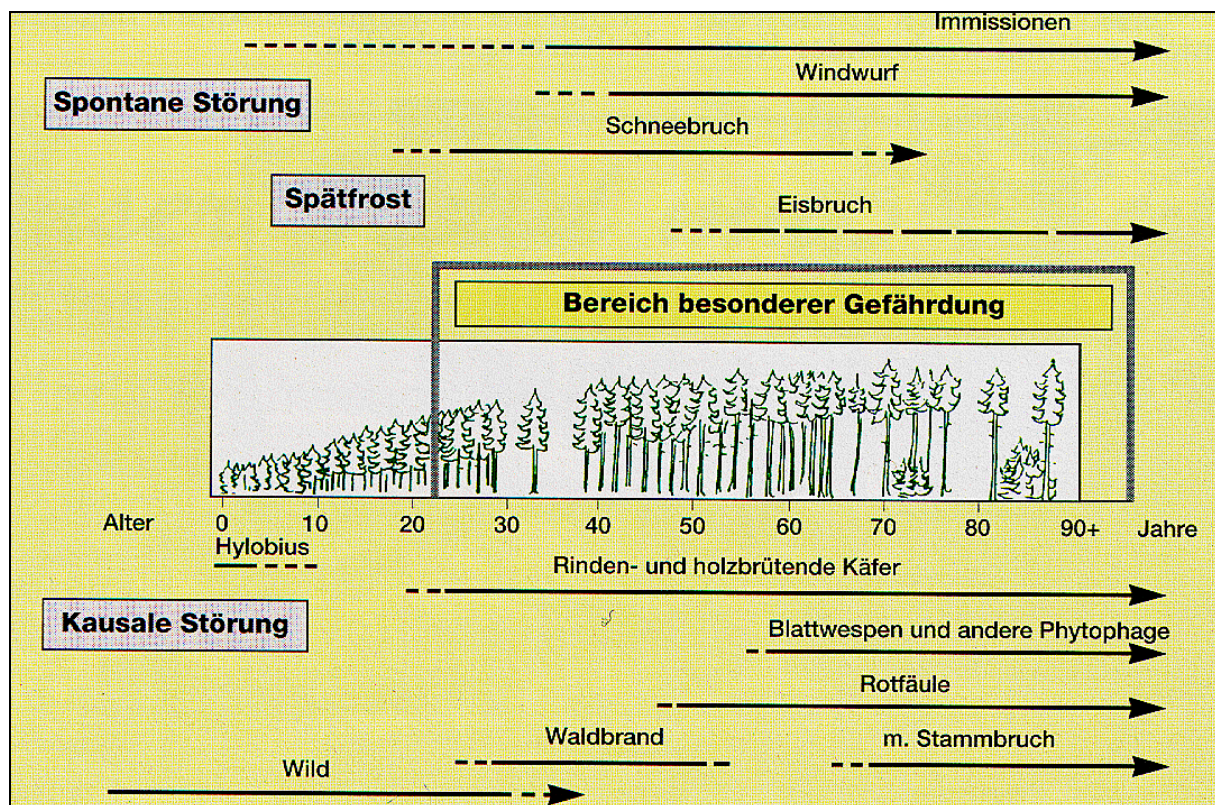
## 8. Diskussion

### 8.1 Methodische Überlegungen

#### 8.1.1 Simulationsmodelle in der Forstwirtschaft

Waldbewirtschaftung setzt eine zielorientierte Planung voraus, die im Betriebszieltyp festgelegt wird. Von primärem Interesse ist die Frage, wie viel Holz welcher Qualität in der Umtriebszeit auf gegebenen Waldflächen produziert werden kann, um die erzielbare Wertschöpfung im Produktionszeitraum zu maximieren, und welcher monetäre Aufwand im Produktionszeitraum entsteht. Als einschlägige Orientierungshilfen dienen Ertragstafeln sowie aussagekräftigere Waldwachstumsmodelle.

Die forstliche Produktion wird aber im Verlauf der Umtriebszeit mit vielen sich ändernden und einander abwechselnden Facetten von Risiken konfrontiert (siehe Abbildung 76 am Beispiel des Störungsgeschehens in Fichtenbeständen).



*Hylobius abietis* L. Col. Curculionidae: Fichtenrüsselkäfer

Abb. 76: Störungsgeschehen in Fichtenbeständen (Quelle: vgl. OTTO 1994).

Gerade die Fichtenproduktion auf weniger standortstauglichen Bestandeseinheiten scheint im Klimawandel in Frage gestellt zu werden, weil der Buchdrucker (*Ips typographus* L. Scol. Col.) unter für ihn günstigeren klimatischen Verhältnissen mehrere Generationen pro Jahr hervorbringen kann (*plurivoltin*; vgl. WEGENSTEINER *et al.*, Vorlesung, 2003): Die Prädisposition für Fichtenborkenkäferschäden erweist sich auch einige Jahre nach aufgetretenen Sturm-, Schneebruch- oder Nassschnee-Ereignissen oft als *hoch*. Um solche Produktionsrisiken in die Simulationen zu

integrieren, bieten sich Ökosystemmodelle wie z.B. *PICUS*, bis hin zu holistischen Modellen, die für ganze Landschaften konzipiert sind, an.

Die im Vergleich zur landwirtschaftlichen Produktion relativ langen Produktionszeiträume in der Forstwirtschaft werden also die durch den Klimawandel erwarteten Risiken verstärken. Aus heutiger Sicht ist der Klimawandel selber mit ziemlich großen Unsicherheiten behaftet. Daher bietet sich die Simulation mit verschiedenen Klimaszenarien an (vgl. SEIDL, Diplomarbeit, 2004; SEIDL, Dissertation, 2007), um eine Bandbreite möglicher klimatischer Einflüsse auf die forstwirtschaftliche Produktion zu berücksichtigen.

Mit den in dieser Arbeit diskutierten alternativen Produktionsprogrammen können Betriebs- und Produktionsrisiken in der Forstwirtschaft gestreut werden. Ein vorausschauender Baumartenwechsel kann ein effizienter Ansatz sein, Risiken in der Forstwirtschaft mittels Laubwertholzproduktion zu streuen. Produktionsprogramme auf Basis von Laubwertholzerziehung erfordern aber eine konsequente Bestandesbehandlung, die sich im *Kleinwald* als besondere Herausforderung erweisen kann.

### 8.1.2 Indikatoren

Die Indikatoren *Vorrat* und *Kohlenstoffspeicherung* sind in einem gewissen Ausmaß korreliert, weil ein Großteil des Vorrates bzw. des Zuwachses als gebundener Kohlenstoff vorliegt. Der Indikator *Biodiversität* erfasst unter anderem das stehende Totholz, dessen Kohlenstoffbilanz neutral ist.

*Die Indikatoren Biodiversität* und *Grundwasserneubildung* bringen einerseits die Naturnähe und andererseits einen Teil positiver externer Effekte der jeweiligen Produktionsprogramme zum Ausdruck.

Die Indikatoren *Baumarteneignung*, *Schadanfälligkeit* und *Kostenintensität* liefern Information über den im Rahmen der entsprechenden Produktionsprogramme anfallenden monetären Aufwand und die Stabilität der forstwirtschaftlichen Produktion. Besser geeignete Baumarten sind weniger schadanfällig.

Die biotische Komponente des Indikators *Schadanfälligkeit* im verwendeten Ökosystemmodell *PICUS* berücksichtigt derzeit lediglich die Fichtenborkenkäfer. Die Aussagekraft des Indikators *Schadanfälligkeit* für die Produktionsprogramme auf der Basis von Laubmischwaldarten ist daher teilweise reduziert. Im Klimawandel kann sich die erhöhte Prädisposition für Massenvermehrungen thermophiler Schadinsekten besonders gravierend auswirken.

## 8.2 Vergleich zwischen den Produktionsprogrammen *Lä-Bu* und *Fi*

Bei allen Klimaänderungsszenarien kann das Produktionsprogramm *Fichte* in der Analyseperiode 2051-2100 sein Potential im Hinblick auf Vorrat nicht entfalten, wie der Vergleich mit dem *baseline*-Szenario zeigt.

Im Vergleich mit *Fichte* hinterlässt das Produktionsprogramm *Lärche-Buche* einen etwas besseren Eindruck (siehe Abbildungen 36 bis 39 und 44a bis 47b sowie Abbildungen 52 bis 59b).

Allgemein stellt sich jedoch für das Produktionsprogramm *Lärche-Buche* die Frage, welche Rolle der Buche dabei zukommt. Die analysierten Standorte sind über weite Bereiche der verwendeten Klimaänderungsszenarien durchaus produktiv. Wird der Buche dabei nun die Rolle einer ökologischen Mischbaumart zugedacht, erscheint dies nicht dem Potential der Standorte gerecht zu werden.

In Bezug auf die verwendeten Indikatoren unterscheiden sich die Produktionsprogramme *Fichte* und *Lärche-Buche* auf der *frischen* Variante der Standortseinheit *Parabraunerde* im Klimaraum *Abetzberg* kaum voneinander. Lediglich die *Biodiversität* ist bei *Lärche-Buche* wie erwartet über die gesamte Analyseperiode hinweg um eine Klasse größer, die *Schadanfälligkeit* ab der zweiten Periode (2021-2100) um eine Klasse niedriger und die *Kostenintensität* in den ersten zwei Perioden (2001-2050) um eine Klasse erhöht.

Auf der *trockenen* Variante der Standortseinheit *Parabraunerde* im Klimaraum *Abetzberg* vergrößert sich die *Produktivität* von *Lärche-Buche* gegenüber *Fichte* (siehe Abbildungen 34 und 50).

Im Klimaraum *Hametholz* vergrößert sich die *Produktivität* von *Lärche* und *Buche* im Vergleich zu *Fichte* besonders in der dritten Periode (2051-2100) auf beiden Standortvarianten (*frisch* und *trocken*). Die übrigen Indikatoren variieren nur geringfügig. (Die Standortseinheit *Parabraunerde* kommt im *Hametholz* nicht vor. Weil aber die vorliegende Arbeit als Studie für die Behandlung sekundärer Fichtenbestände im Nördlichen Alpenvorland konzipiert ist, wurde die Standortseinheit *Parabraunerde* sowohl für den Waldort *Abetzberg* als auch für das *Hametholz* simuliert).

*Produktivität* und *Vorrat* sind beim Produktionsprogramm *Lärche-Buche* im Klimaraum *Hametholz* ab der dritten Analyseperiode (2051-2100) größer als beim Produktionsprogramm *Fichte*. Auch die *Biodiversität* des Produktionsprogramms *Lärche-Buche* wird um eine Klasse höher eingestuft. Die *Schadanfälligkeit* ist für das Programm *Lärche-Buche* ab der zweiten Periode (2021-2100) je nach Klimaänderungsszenario um eine bis zwei Klassen niedriger und die *Kostenintensität* in den ersten zwei Analyseperioden (2001-2050) im Vergleich zum Produktionsprogramm *Fichte* um eine Klasse höher.

Die Rotbuche wird als atlantische Baumart im Klimawandel wegen erhöhter Lufttemperaturen und fallweise häufigerer Trockenperioden in der kollinen Waldstufe eher ungünstige Voraussetzungen für das Wachstum vorfinden.

Es gibt jedoch Hinweise, dass die Rotbuche auf bestimmten Standorten Regelmechanismen zur Kompensation von Trockenstress ausbildet (vgl. SCHRAML &

RENNENBERG 2002): Eine natürliche, thermophile Buchengesellschaft am Arealrand ist die Subassoziation *Cephalanthero-Fagetum*, der Orchideen-Buchenwald, der z.B. lokal im Nördlichen Alpenvorland an flachgründigen Standorten der Flusstäler (unter anderem Salzach-, Traun-, Enns- und Steyrtal) vorkommt (vgl. ESSL *et al.*, *Rote Liste gefährdeter Biotoptypen Österreichs. Wälder, Forste, Vorwälder*, 2002). Die Orchidee *Cephalanthera damasonium* (MILL.) DRUCE tritt als Charakterart im Biotoptyp *thermophiler Kalkbuchenwald* auf. Der Unterverband *Cephalanthero-Fagion* ist in der Roten Liste der Internationalen Weltnaturschutzunion IUCN eingetragen (vgl. ESSL *et al.*, *Rote Liste gefährdeter Biotoptypen Österreichs. Wälder, Forste, Vorwälder*, 2002). Im Schutzgebietsnetz *Natura 2000* scheint er als FFH-Lebensraumtyp 9150 (vgl. <http://bfw.ac.at/050/pdf/biodiversitaet.pdf>, 07. 03. 2009) auf.

Aus genetischer Sicht ist der erwähnte Ökotyp der Rotbuche (vgl. SCHRAML & RENNENBERG 2002) durchaus an diese Extremstandorte angepasst. Die *genetische Angepasstheit* (vgl. GEBUREK *et al.*, *Kleines forstgenetisches Glossarium*, 1994) kommt z.B. in der ziemlich spärlichen Naturverjüngung und im tiefen Kronenansatz der Rotbuche (vgl. FRANK, Vorlesung, 2004b) zur Geltung. Auf *peripheren* Buchenstandorten sind hiermit aber kaum wirtschaftlich befriedigende astfreie Schaftlängen zu erzielen.

Der Kronenansatz wird in erster Linie durch die waldbauliche Behandlung beeinflusst. Standortliche und klimatische Verhältnisse sowie die genetische Veranlagung können dieses Baumerkmal aber auch stark prägen: Nur unter *mesophilen Verhältnissen* kann die Buche kleinstandörtlich der Fichte ebenbürtig sein und damit gleiche Anteile in der Naturverjüngung oder im Überschirmungsanteil eines Bestandes erlangen. Das sind dann meist gruppen- bis kleinbestandesweise homogene Verjüngungsblocks und später Bestandesteile (vgl. KLUMPP, pers. Mitteilung, 2004).

Von der Buche ist bekannt, dass sie die Naturverjüngung anderer Arten schlichtweg ausdunkeln kann, sobald sie eine volle Belaubung entwickelt; also nicht bei schütterer Belaubung etwa nach Trockenjahren. Ein anschauliches Beispiel für die Konkurrenz zwischen Buchen- und Fichtenverjüngung ist der Kobernaußer Wald (im Wuchsgebiet 7.1). Dort überwiegt in Jahren mit Spät- oder Frühfrösten die Fichte in der Naturverjüngung und in milden Jahren ist es die Buche (vgl. KLUMPP, pers. Mitteilung, 2004).

Eine *mesophile* Buchenwaldgesellschaft (z.B. *Asperulo-Fagetum*) wird außerdem vermutlich eine größere *genetische Anpassungsfähigkeit* zeigen als eine *reliktische* Buchenwaldgesellschaft am äußersten Arealrand: „Prozesse der Anpassung vermindern in der Regel die genetische Variation einer Population und damit auch deren Anpassungsfähigkeit“ (SCHULTZE, Symposium, 1994). Die vollzogene Angepasstheit einer potentiell natürlichen Vegetation (PNV) führt also nicht unbedingt zu einer optimalen Anpassungsfähigkeit an zukünftig zu erwartende Umweltbedingungen (vgl. von LÜPKE 2004b).

### 8.3 Vergleich zwischen den Produktionsprogrammen *BAh-Es* und *Fi*

Im Klimaraum *Abetzberg* auf der *frischen* Variante der Standortseinheit *Parabraunerde* verringert sich die Produktivität des Produktionsprogramms *Fichte* insbesondere in der dritten Analyseperiode drastisch, sodass das Produktionsprogramm *Bergahorn-Esche* dort jedenfalls besser angepasst ist. Die Voraussetzung für das auf *Edellaub* ausgerichtete Produktionsprogramm ist aber ein profundes Fachwissen über rechtzeitig durchzuführende Tätigkeiten wie *Formschnitt*, *Wertastung* und *Kronenfreistellung*, um das Wertpotential des Bestandestyps zu realisieren.

Nur bei zeitgerechter und konsequenter Umsetzung dieser Eingriffe kann Wertschöpfung (bzw. ein Verhältnis zwischen *Wertanstieg* und *Volumszuwachs* größer als 1,0) erzielt werden (vgl. HOCHBICHLER, Vorlesung, 2008a).

Der *Vorrat* in der dritten Periode ist bei *Fichte* zweifach größer als bei *Bergahorn-Esche*. Der geringere Massenzuwachs je ha des Produktionsprogramms *Bergahorn-Esche* im Vergleich zum konventionellen Produktionsprogramm *Fichte* wird allerdings durch den größeren Wertzuwachs des Edellaubes bei weitem aufgehoben (vgl. RIEDER 1998).

Die *Biodiversität* ist erwartungsgemäß beim Produktionsprogramm mit *Edellaub* konstant um eine Klasse höher und die *Schadanfälligkeit* ab der dritten Analyseperiode (2051-2100) um zwei Klassen niedriger. Die *Kostenintensität* für das Produktionsprogramm *Bergahorn-Esche* ist in der zweiten Periode (2021-2050) um eine Klasse erhöht. Die übrigen Indikatoren weichen kaum voneinander ab.

Auf der *trockenen* Variante der Standortseinheit *Parabraunerde* im Klimaraum *Abetzberg* schneidet das Produktionsprogramm *Fichte* besonders schlecht ab, und der Umbau in *Bergahorn-Esche* bietet sich förmlich an.

Der Klimaraum *Hametholz* zeigt auf der *frischen* Variante der Standortseinheit *Parabraunerde* eine zweifach größere *Produktivität* des Programms *Bergahorn-Esche* im Vergleich zum Produktionsprogramm auf Basis der *Fichte*: Die Nadelholzvorräte brechen in der dritten Periode des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* massiv ein. (Die Standortseinheit *Parabraunerde* kommt im *Hametholz* nicht vor. Weil aber die vorliegende Arbeit als Studie für die Behandlung sekundärer Fichtenbestände im Nördlichen Alpenvorland gedacht ist, wurde die Standortseinheit *Parabraunerde* sowohl für den Waldort *Abetzberg* als auch für das *Hametholz* simuliert).

Die *Biodiversität* ist bei den *Edellaubarten* integrierenden Produktionsprogrammen im Verlauf der Analyseperiode durchgehend um eine Klasse höher, die *Schadanfälligkeit* ab der zweiten Periode (2021-2100) um eine Klasse niedriger. In der zweiten Periode ist die *Kostenintensität* um eine Klasse erhöht.

Als limitierend für das Produktionsprogramm *Bergahorn-Esche* müssen neuartige Forstschäden, unter anderem Rindennekrosen, an den erwähnten Hauptbaumarten genannt werden, welche die Wertholzproduktion erheblich beeinträchtigen können (vgl. HOCHBICHLER, Vorlesung, 2008a). Solche rezenten Erkrankungen wurden in der Simulation nicht berücksichtigt.

## 8.4 Vergleich zwischen den Produktionsprogrammen *StEi-Hbu* und *Fi*

Im Vergleich zum konventionellen Produktionsprogramm *Fichte* ist das Programm *Stieleiche-Hainbuche* auf der *frischen* Variante der Standortseinheit *Pseudogley* im Klimaraum *Abetzberg* in der dritten Periode (2051-2100) beim Klimaänderungsszenario *CC-A1B* entschieden produktiver. Ein hoher Anteil des produzierten Vorrates kann beim konventionellen, auf *Fichte* ausgelegten Produktionsprogramm in der dritten Analyseperiode (2051-2100) wegen vorzeitigen Ausfalls voraussichtlich nicht mehr realisiert werden. Das Produktionsprogramm *Stieleiche-Hainbuche* erweist sich in dieser Hinsicht als deutlich stabiler und weniger risikoanfällig.

Die *Kohlenstoffspeicherung* des Produktionsprogramms *Stieleiche-Hainbuche* unterliegt keinen größeren Schwankungen. Die übrigen Indikatoren variieren auch erwartungsgemäß: Die *Biodiversität* ist konstant über die gesamte Analyseperiode hinweg, und auf allen Standortsvarianten um eine Klasse größer als bei der *Fichte*. Ab der dritten Periode reduziert sich die *Schadanfälligkeit* bei allen Klimaänderungsszenarien um zwei Klassen. Die *Kostenintensität* erhöht sich ab der zweiten Periode (2021-2100) einheitlich um eine Klasse im Vergleich zum Produktionsprogramm *Fichte*.

Auf der *trockenen* Variante der Standortseinheit *Pseudogley* im Klimaraum *Abetzberg* vergrößern sich die Unterschiede hinsichtlich der Produktivität zwischen *Stieleiche-Hainbuche* und *Fichte*. Die *Kohlenstoffspeicherung* ist ebenfalls höher.

Auch im Klimaraum *Hametholz* stellt sich die *Produktivität* des Programms *Stieleiche-Hainbuche* in der dritten Periode (2051-2100) des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* im Vergleich zum konventionellen Produktionsprogramm, das auf *Fichte* basiert, als deutlich vorteilhafter dar. Der *Vorrat* beim Produktionsprogramm *Stieleiche-Hainbuche* ist auf der *frischen* Standortsvariante im Klimawandel doppelt so hoch wie beim konventionellen Produktionsprogramm *Fichte* und auf der *trockenen* Standortsvariante fünffach größer. Zudem ist die *Kohlenstoffspeicherung* mit *Stieleiche-Hainbuche* ab der dritten Periode (2051-2100) um knapp 100t Kohlenstoff pro ha höher. Hier dürfte massiver Fichtenborkenkäferbefall ab der dritten Analyseperiode (2051-2100) den verfrühten Abbau oberirdischer Biomasse in Gang setzen.

Auf der *trockenen* Variante der Standortseinheit *Pseudogley* des Klimaraumes *Hametholz* übersteigt die *Kohlenstoffspeicherung* in der dritten Periode (2051-2100) des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* die Differenz von 100t Kohlenstoff pro ha. Hinsichtlich *Biodiversität*, *Schadanfälligkeit* und *Kostenintensität* treten die für den Klimaraum *Abetzberg* beschriebenen Unterschiede auf: erhöhte Biodiversität, geringere Schadanfälligkeit, jedoch höhere Kostenintensität.

Eine wichtige ökologische Funktion kommt Eichenwaldgesellschaften in Mitteleuropa im Hinblick auf die Zahl auftretender Tier- und Pflanzenarten zu, da die Eichen wegen ihrer relativ lichtereren Kronen ein ideales Habitat für licht- und wärmebedürftige Arten bieten. Von den Großschmetterlingen kommen an den heimischen Eichen potentiell 179 Arten vor; 28 sind es an der Fichte. 900 verschiedene Holz besiedelnde Käferarten treten an den Eichen auf; an der Fichte sind es 300 (vgl. <http://www.lwf.bayern.de/publikationen/daten/baumarten-wobl/eiche-wobl.pdf>, 28. 11. 2008).



## 9. Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Waldorte *Abetzberg* und *Hametholz* sind für Tieflagen des Nördlichen Alpenvorlandes sowie für einige Standorte sekundärer Fichtenwälder in Österreich repräsentativ.

Auf den untersuchten Waldorten schneidet die Fichte [*Picea abies* (L.) KARST.] im Klimawandel in den Simulationen mit dem Waldökosystemmodell *PICUS* schlecht ab. Produktionsprogramme mit Edellaubhölzern oder mit Stieleiche erscheinen besser geeignet.

Dabei ist zu beachten, dass eine sorgfältige und zeitgerechte Bestandespflege eine wichtige Voraussetzung für die Wertholzproduktion darstellt. Dieser Aspekt ist freilich nicht ganz neu, erfordert doch auch die Fichte einige Pflegeeingriffe. Für die Wertholzproduktion bei Laubholz sind allerdings zusätzliche fachliche Kenntnisse erforderlich.

Wertholzproduktion mit Laubbaumarten ist relativ kostenintensiv, jedoch kann man damit heute sehr gute Erlöse erzielen. Der Holzmarkt in 100 Jahren ist aber aus heutiger Sicht leider nicht vorhersehbar.

Die Voraussagen der Klimaforschung sind mit Unsicherheiten behaftet, die sich heute in einem recht breiten Fächer künftiger Szenarien manifestieren. In einem bis zwei Jahrzehnten wird die Voraussage für das Klima vielleicht schon präziser sein, so dass sich die derzeitigen Empfehlungen ändern könnten.

Es bleibt auch zu sehen, mit welcher Genauigkeit *PICUS* Laubmischwaldbestände simulieren kann. Erste Analysen sind jedenfalls viel versprechend verlaufen (vgl. SEIDL *et al.* 2005).

Man wird also die Simulationsergebnisse von *PICUS* mit den zukünftigen Inventurdaten vergleichen müssen, um bei Bedarf die Simulationen zu adaptieren. Genauso wichtig wie die Forschung muss aber auch die Umsetzung der Erkenntnisse in die waldbauliche Praxis sein.

Die biotische Komponente des Indikators *Schadanfälligkeit* ist ursprünglich für die Fichte konzipiert worden. Die Aussagekraft dieses Indikators ist daher für die Fichte am höchsten. Die schlechte Eignung der Fichte in den untersuchten Waldorten *Abetzberg* und *Hametholz* ist allgemein betrachtet das zuverlässigste Ergebnis der vorliegenden Arbeit.

## Literatur

- ABER, J.D., OLLINGER S.V. & DRISCOLL C.T., 1997: *Modeling nitrogen saturation in forest ecosystems in response to land use and nitrogen deposition*. In: *Ecol. Model.* **101**: 61-78. ISSN 0304-3800.
- BLENNOW, K. & SALLNÄS, O., 2004: *WINDA – A system of models for assessing the probability of wind damage to forest stands within a landscape*. In: *Ecol. Model.* **175** (1): 87-99. ISSN 0304-3800.
- BOLTE, A., 2005: *Zur Zukunft der Buche in Mitteleuropa. Die klimatische Anpassungsfähigkeit der „Mutter des Waldes“*. In: *AFZ-DerWald* **20**: 1077-1078. ISSN 1430-2713.
- BOLTE, A., IBISCH, P., MENZEL, A. & ROTHE, A., 2008: *Anpassung der Wälder an den Klimawandel. Was Klimahüllen uns bisher verschweigen*. In: *AFZ-DerWald* **15**: 800-803. ISSN 1430-2713.
- BÜRGI, A. & BRANG, P., 2001: *Das Klima ändert sich - Wie kann sich der Waldbau anpassen?* In: *Wald und Holz* **3**: 43-46.
- CURRIE, W.S. & ABER, J.D., 1997: *Modeling leaching as a decomposition process in humid montane forests*. In: *Ecology* **78**, 6: 1844-1860. ISSN 0012-9658.
- CURRIE, W.S. & NADELHOFFER, J.K., 1999: *Dynamic redistribution of isotopically labeled cohorts of Nitrogen inputs in two temperate forests*. In: *Ecosystems* **2**: 4-18. ISSN 1432-9840.
- CURRIE, W.S., NADELHOFFER, J.K. & ABER, J.D., 1999: *Soil detrital processes controlling the movement of 15N tracers to forest vegetation*. In: *Ecol. Appl.* **9**: 87-102. ISSN 0021-8901.
- FISCHLIN, A. & BUGMANN, H., 1994: *Können forstliche Maßnahmen einen Beitrag zur Verminderung der schweizerischen CO<sub>2</sub>-Emissionen leisten? Ökologische Grundlagen und erste Abschätzungen*. In: *Schweiz. Z. Forstwes.* **145**: 275-292. ISSN 0036-7818.
- GARDINER, B.A. & QUINE, C.P., 2000: *Management of forests to reduce the risk of abiotic damage – A review with particular reference to the effects of strong winds*. In: *For. Ecol. Manage.* **135** (1): 1-23. ISSN 0378-1127.
- HEIN, S., 2004a: *Wertholzproduktion mit Esche. Entscheidungshilfen für eine zielgerichtete Wachstumssteuerung*. In: *AFZ-DerWald* **18**: 993-995. ISSN 1430-2713.
- HEIN, S., 2004b: *Zur Steuerung von Astreinigung und Dickenwachstum bei Esche (*Fraxinus excelsior* L.) und Bergahorn (*Acer pseudoplatanus* L.)*. In: *Freiburger Forstliche Forschung, Schriftenreihe*, Bd. **25**: 263 S. Freiburg im Breisgau. ISBN 3-933548-25-X.

- HEIN., S. & SPIECKER, H., 2008: *Crown and tree allometry of open-grown ash (Fraxinus excelsior L.) and sycamore (Acer pseudoplatanus L.)*. In: *Agroforest. Syst.* **73**: 205–218. Springer Verlag Netherland. [doi 10.1007/s10457-008-9145-2]. ISSN (*print*): 0167-4366. ISSN (*online*): 1572-9680.
- KEANE, R.E., AUSTIN, M., DAHLMAN, R., FIED, C., HUTH, A., LEXER, M.J., PETERS, D., SOLOMON, A.M. & WYCKOFF, P., 2001: *Plant mortality in gap models*. In: *Clim. Chang.* **51**: 509-540. ISSN 0165-0009.
- KÖLLING, Ch., 2007: *Klimahüllen für 27 Waldbaumarten*. In: *AFZ-DerWald* **23**: 1242-1245. ISSN 1430-2713.
- KÖLLING, Ch., 2008: *Die Douglasie im Klimawandel: Gegenwärtige und zukünftige Anbaubedingungen in Bayern*. In: *LWF Wissen* **59**: 12-21. ISSN 0945-8131.
- KRIEBITZSCH, W.U., 1991: *Der Treibhauseffekt: Ursachen, Wirkungen und Folgen für den Wald*. In: *Forstarchiv* **62** (5): 179-182. ISSN 0300-4112.
- LANDSBERG, J.J. & WARING, R.H., 1997: *A generalized model of forest productivity using simplified concepts of radiation-use efficiency, carbon balance and partitioning*. In: *For. Ecol. Manage.* **95**: 209-228. ISSN 0378-1127.
- LEXER, M.J., 2000: *A multi-attribute utility model for silvicultural decision-making in secondary Norway spruce forests. [Ein multi-attributives Nutzenmodell zur Unterstützung der waldbaulichen Entscheidungsfindung dargestellt am Beispiel sekundärer Fichtenwälder]*. In: *Forstw. Cbl.* **119** (6): 377-394. ISSN 0015-8003.
- LEXER, M.J. & BROOKS, R.T., 2005: *Decision support for multiple purpose forestry*. In: *For. Ecol. Manage.* **207** (1-2 spec. iss.): 1-3. ISSN 0378-1127.
- LEXER, M.J. & HÖNNINGER, K., 2001: *A modified 3D-patch model for spatially explicit simulation of vegetation composition in heterogeneous landscapes*. In: *For. Ecol. Manage.* **144**: 43-65. ISSN 0378-1127.
- LEXER, M.J., HÖNNINGER, K., SCHEIFINGER, H., MATULLA, Ch., GROLL, N., KROMP-KOLB, H., SCHADAUER, K., STARLINGER, F. & ENGLISCH, M., 2002: *The Sensitivity of Austrian Forests to Scenarios of Climatic Change: A large-scale Risk Assessment based on a modified gap model and forest inventory data*. In: *For. Ecol. Manage.* **162**: 53-72. ISSN 0378-1127.
- LEXER, M.J. & SEIDL, R., 2007: *Der Klimawandel kommt, was nun?* In: *ÖFZ* **10**: 16-17. ISSN 1012-4667.
- LEXER, W., 1999: *Anforderungsprofil für einen zeitgemäßen Waldbau*. In: *ÖFZ* **9**: 28. ISSN 1012-4667.
- LINDNER, M., 1999: *Forest management strategies in the context of potential climate change. [Waldbaustrategien im Kontext möglicher Klimaänderungen]*. In: *Forstw. Cbl.* **118** (1): 1-13. ISSN 0015-8003.

- LINDNER, M., BADECK, F.-W., BARTELHEIMER, P., BONK, S., CRAMER, W., DIETER, M., DÖBBELER, H., DURSKÝ, J., DUSCHL, Ch., FABRIKA, M., FRÖMDLING, D., GUNDERMANN, E., HENNIG, P., HÖLZER, W., LASCH, P., LEISCHNER, B., LIESEBACH, M., POMMERENING, A., POTT, M., PRETZSCH, H., SCHLOTT, W., SCHOLZ, F., SPELLMANN, H., SUCKOW, F., SUDA, M. & WOLFF, B. (Hrsg.), 2002: *Integrating Forest Growth Dynamics, Forest Economics and Decision Making to Assess the Sensitivity of the German Forest Sector to Climate Change*. In: *Forstw. Cbl.* **121**, Supplement 1: 191-208. ISSN 0015-8003.
- LOCKOW, K.-W., 2004: *Die erste Ertragstafel für Bergahorn im nordostdeutschen Tiefland*. In: *Beitr. Forstwirtschaft. u. Landsch.ökol.* **38** (3): 121-130. ISSN 0323-4673.
- von LÜPKE, B., 2004a: *Risikominderung durch Mischwälder und naturnaher Waldbau: ein Spannungsfeld*. In: *Forstarchiv* **75**: 43-50. ISSN 0300-4112.
- von LÜPKE, B., 2004b: *Steigerung von Stabilität und Diversität durch Waldumbau*. In: *Forst und Holz* **59**: 518-523. ISSN 0932-9315.
- von LÜPKE, B. & SPELLMANN, H., 1997: *Aspekte der Stabilität und des Wachstums von Mischbeständen aus Fichte und Buche als Grundlage für waldbauliche Entscheidungen*. In: *Forstarchiv* **68**: 167-179. ISSN 0300-4112.
- MEYER, P., 1999: *Dead wood research in forests reserves of Northwest-Germany: Methodology and results [Totholzuntersuchungen in nordwestdeutschen Naturwäldern: Methodik und erste Ergebnisse]*. In: *Forstw. Cbl.* **118** (3): 167-180. ISSN 0015-8003.
- MC MURTRIE, R.E., ROOK, D.A. & KELLIHER, F.M., 1990: *Modelling the yield of Pinus radiata on a site limited by water and nitrogen*. In: *For. Ecol. Manage.* **30**: 381-413. ISSN 0378-1127.
- NETHERER, S. & NOPP-MAYR, U., 2005: *Predisposition assessment systems (PAS) as supportive tools in forest management – rating of site and stand-related hazards of bark beetle infestation in the High Tatra Mountains as an example for system application and verification*. In: *For. Ecol. Manage.* **207**: 99-107. ISSN 0378-1127.
- NETHERER, S. & PENNERSTORFER, J., 2001: *Parameters relevant for modeling the potential development of Ips typographus (Coleoptera: Scolytidae)*. In: *Integrated Pest Management Reviews* **6**: 177-184. ISSN (print): 1353-5226. ISSN (online): 1572-9745.
- NEWTON, P. & J.P., 1998: *Assessing processes of intraspecific competition within spatially heterogeneous Black Spruce stands*. In: *Can. J. For. Res.* **28**: 259-275. ISSN 1208-6037.
- OTTO, H.-J. (1994): *Ökologischer Waldbau. Walddynamische Prozesse bei Fichte und Kiefer im Rahmen waldbaulicher Rationalisierung, Teil I und Teil II*. In: *Der Wald* **44** (11/12): 364-367/ 408-411. Berlin.

- POLLANSCHÜTZ, J., 1971: *Durchforstung von Stangen- und Baumhölzern*. In: *Forstarchiv* **42** (12): 257-259. ISSN 0300-4112.
- RAUH, W., 1939: *Über die Gesetzmäßigkeit der Verzweigung und deren Bedeutung für die Wuchsformen der Pflanzen*. In: *Mitt. Dt. Dendrol. Ges.* **52**: 86-111.
- RIEDER, A., 1998: *Ahorn-Wertholzproduktion in kurzen Umtrieben*. In: *AFZ/DerWald* **53** (15): 776-779. ISSN 1430-2713.
- SCHRAML, C. & RENNENBERG, H., 2002: *Ökotypen der Rotbuche (Fagus sylvatica L.) zeigen unterschiedliche Reaktionen auf Trockenstress*. In: *Forstw. Cbl.* **121**: 59-72. ISSN 0015-8003.
- SCHÜTZ, J.-Ph., 1994: *Waldbauliche Behandlungsgrundsätze in Mischbeständen*. In: *Schweiz. Z. Forstwes.* **145** (5): 389-399. ISSN 0036-7818.
- SEIDL, R., LEXER, M.J., JÄGER, D. & HÖNNINGER, K., 2005: *Evaluating the accuracy and generality of a hybrid patch model*. In: *Tree Phys.* **25**: 939-951. ISSN (*print*): 0829-318X. ISSN (*online*): 1758-4469.
- SEIDL, R., BAIER, P., RAMMER, W., SCHOPF, A. & LEXER, M.J., 2007a: *Simulating tree mortality from bark beetle infestation in Norway spruce forests*. In: *Ecol. Model.* **206**: 383-399. ISSN 0304-3800.
- SEIDL, R., RAMMER, W., JÄGER, D., CURRIE, W.S. & LEXER, M.J., 2007b : *Assessing trade-offs between carbon sequestration and timber production within a framework of multi-purpose forestry in Austria*. In: *For. Ecol. Manage.* **248**: 64-79. ISSN 0378-1127.
- SEIDL, R., RAMMER, W. & LEXER, M.J., 2009: *Schätzung von Bodenmerkmalen und Modellparametern für die Waldökosystemsimulation auf Basis von Großrauminventuren*. In: *AFJZ* **180** (Ausgabe 1/2): 35-44. Johann David Sauerländer's Verlag. Frankfurt am Main. ISSN 0002-5852.
- SEIDL, R., SCHELHAAS, M.J., LINDNER, M. & LEXER, M.J., 2008: *Modelling bark beetle disturbances in a large scale forest scenario model to assess climate change impacts and evaluate adaptive management strategies*. In: *Reg. Environ. Change*: 1-19. [doi 10.1007/s10113-008-0068-2]. ISSN (*print*): 1436-3798. ISSN (*online*): 1436-378X.
- SPELLMANN, H., 1995: *Vom strukturarmen zum strukturreichen Wald*. In: *Forst und Holz* **50** (2): 35-44. ISSN 0932-9315.
- STEINER, Ch. & LEXER, M.J., 1998 : *Ein klimasensitives statisches Modell zur Beurteilung der Baumarteneignung*. In: *Forstarchiv* **69**: 92-103. ISSN 0300-4112.
- WOLTJER, M., RAMMER, W., BRAUNER, M., SEIDL, R., MOHREN, G.M.J. & LEXER, M.J., 2008: *Coupling a 3D patch model and a rockfall module to assess rockfall protection in mountain forests*. In: *J. Environ. Manage.* **87**: 373-388. ISSN 0301-4797.

## Unpublizierte Beiträge, Lehrbücher, Schriftenreihen und *Proceedings*

ANGST, Ch., BÜRGI, A., DUELLI, P., EGLI, S., HEININGER, U., HINDENLANG, K., KUHN, M., LÄSSIG, R., LÜSCHER, P., MOSER, B., NOBIS, M., POLORNSKI, J., REICH, T., WERMELINGER, B. & WOHLGEMUTH, T. (Hrsg.), 2004: *Waldentwicklung nach Windwurf in tieferen Lagen der Schweiz*. Schlussbericht eines Projektes im Rahmen des Programms „LOTHAR Evaluations- und Grundlagenprojekte“. Eidg. Forschungsanstalt WSL Birmensdorf, 98 S.

BARTELS, H., 1993: *Gehölzkunde*. 336 S. Ulmer Verlag. ISBN 3-8252-1720-5.

BERNHOFER, Cr., GRÜNWALD, Th., KÖSTNER, B., FRANKE, J. & GOLDBERG, V., 2007: *Klimawandel – Auswirkungen auf Waldökosysteme*. Artikel für den Tagungsband „Klimaschutz und Klimawandel - Rolle der Forstwirtschaft“ (Tagung in Gotha von 27. und 28. 09. 2007). Inst. für Hydrologie und Meteorologie an der Technischen Universität Dresden.

[http://www.waldundklima.net/klima/klima\\_docs/textfassung\\_cbernhofer\\_tagg\\_070927.pdf](http://www.waldundklima.net/klima/klima_docs/textfassung_cbernhofer_tagg_070927.pdf) (19. 02. 2008).

<http://elearning.iufro.org/artikel/expert-articles/de/#c12852> (20. 03. 2009).

BRASSEL, P. & BRÄNDLI, U.-B. (Red.), 1999: *Schweizerisches Landesforstinventar: Ergebnisse der Zweitaufnahme 1993-1995*. Haupt, Bern, und Eidg. Forschungsanstalt WSL Birmensdorf, Zürich.

CURRIE, W.S. & HELMERS, D., 2003: *A user guide for the TRACE model. Version 4.1.2*. In: *Natural Resources and Environment, University of Michigan*, 68 p.

DEUTSCHER BUNDESTAG, 2008: *Drucksache 16/8596 16. Wahlperiode 14. 03. Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Dr. Christel Happach-Kasan, Hans-Michael Goldmann, Dr. Edmund Peter Geisen, weiterer Abgeordneter und der Fraktion der FDP – Drucksache 16/8294 – Nachhaltige Nutzung des Holzes aus heimischen Wäldern und weitere Stärkung ihrer biologischen Vielfalt*.

DÖBBELER, H., 2004: *Simulation und Bewertung von Nutzungsstrategien unter heutigen und veränderten Klimabedingungen mit dem Wachstumsmodell SILVA 2.2*. <http://webdoc.sub.gwdg.de/diss/2004/doebbler/index.html> (15. 10. 2004). Dissertation an der Fak. für Forstwissenschaften und Waldökologie der Georg-August-Univ. Göttingen, 233 S.

ENGLISCH, M. & KILIAN, W. (Hrsg.), 1998: *Anleitung zur Forstlichen Standortskartierung in Österreich*. Unter Mitarbeit von E. HERZBERGER, M. GÄRTNER und F. STARLINGER in Kooperation mit dem Arbeitskreis Standortskartierung des ÖFV. BMLF. *FBVA-Berichte* **104**: 112 S. ISSN 1013-0713.

- ESSL, F., EGGER, G., ELLMAUER, Th. & AIGNER, S., 2002: *Rote Liste gefährdeter Biotoptypen Österreichs. Wälder, Forste, Vorwälder*. UBA, Umweltbundesamt (Hrsg.). M-156. Monographien, Bd. **156**: 104 S. Wien, 2002. Umwelt Dachverband. Inst. für Ökologie und Umweltplanung. ISBN 3-85457-630-7.
- FOERST, K., 1980: *Standort, Wuchsleistung und Ernährungszustand älterer bayerischer Bestände der Grünen Douglasie*. In: *Mitteilungen aus der Staatsforstverwaltung Bayerns* **41**: 1-256. ISSN 1616-511X.
- FRANK, G.A., 2004a: *Stabilitätsorientierte Waldbewirtschaftung – Risikominimierung durch modernen Waldbau*. Workshop des LFD Salzburg am 26. und 27. Februar in St. Gilgen.
- FRANK, G.A., 2004b: *Spezielle Standorts- und Vegetationseinheiten im Gebirgswald*, unpubl. Lehrveranstaltungsunterlagen, Inst. für Waldbau, BFW Mariabrunn.
- FÜHRER, E. & NOPP, U., 2001: *Ursachen, Vorbeugung und Sanierung von Waldschäden*. 514 S. Facultas-Univ.-Verlag. ISBN 3-85076-528-8.
- GEBUREK, Th., 2004: *Forstgenetik*, unpubl. Lehrveranstaltungsunterlagen, Inst. für Forstgenetik, BFW Mariabrunn.
- GEBUREK, Th., MÜLLER, F. & SCHULTZE, U. (Hrsg.), 1994: *Kleines forstgenetisches Glossarium*. In: *Klimaänderung in Österreich. Herausforderung an Forstgenetik und Waldbau*. Inst. für Forstgenetik, FBVA Wien. Beiträge zum Symposium an der FBVA am 9. November. Waldforschungszentrum Wien. 2. Aufl., 1995. BMLF. *FBVA-Berichte* **81**: 109-113. ISSN 1013-0713.
- GLATZEL, G., 1994: *Leben mit dem Wald: Österreichs Wälder im Wechsel der Zeiten*. In: MORAWETZ, W. (Hrsg.), 1994: *Ökologische Grundwerte in Österreich – Modell für Europa? Biosystematics and Ecology Series Supplement*. ÖAW, Österreichische Akademie der Wissenschaften. Wien. 289-303 S.
- GLATZEL, G., 2005: *Waldökosystemdynamik I*, unpubl. Lehrveranstaltungsunterlagen, Inst. für Waldökologie, Dpt. für Wald- und Bodenwissenschaften, Univ. für Bodenkultur.
- GLÜCK, P., HOGL, K. & PREGERNIG, M., 2002: *Politik und Raumplanung*, unpubl. Lehrveranstaltungsunterlagen, Inst. für Sozioökonomik der Forst- und Holzwirtschaft, Univ. für Bodenkultur.
- GRABHERR, G., KOCH, G., KIRCHMEIR, H., REITER, K., 1997: *Naturnähe Österreichischer Wälder – Bildatlas*. Sonderdruck zu *ÖFZ* **97** (1): 39 S. ISSN 1012-4667
- GRIME, J.P., 1979: *Plants strategies and vegetation processes*. 222 pp. Publisher: Chichester, New York. John Wiley and Sons. ISBN-10: 0-47199-692-0. ISBN-13: 978-0-471996-92-7.

- HABERER, K. & BÖTTCHER, U., 1996: *Das Verhalten von Umweltchemikalien in Boden- und Grundwasser*. In: *Zivilschutzforschung. Schriftenreihe der Schutzkommission beim Bundesminister des Innern*. Herausgegeben vom Bundesamt für Zivilschutz. Neue Folge Bd. 23. ISSN 0343-5164.
- HANKE, G., 2003: *Klimawandel – Herausforderung für Rheinland-Pfalz aus der Sicht der Forstwirtschaft*. Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland, Landesverband Rheinland-Pfalz. Tagung „Klimawandel - Herausforderung für Rheinland-Pfalz“ am 08. November in Bingen/ Rhein.
- HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE, 2005: *Integriertes Klimaschutzprogramm Hessen INKLIM 2012. Projektbaustein II: Klimawandel und Klimafolgen in Hessen*. Abschlussbericht. HLOG, Dezernat I, 1. Dezember.
- HOCHBICHLER, E., 2008a: *Laubwaldbewirtschaftung*, unpubl. Lehrveranstaltungsunterlagen, Inst. für Waldbau, Dpt. für Wald- und Bodenwissenschaften, Univ. für Bodenkultur.
- HOCHBICHLER, E., 2008b: *Welche Waldbau-Kompetenz ist bei der Durchforstung erforderlich?* Vortrag an der FAST Gmunden am 24. April. Fachausschuss für Waldbau und Naturschutz, Fachausschuss für Waldarbeit und Forsttechnik.
- HOCHBICHLER, E. & BELLOS, P., 2007: *Windwurfschadflächen bieten Chancen für den Waldumbau*. In: *Blick ins Land* 3: 32-33.
- IPCC, 2007. *Intergovernmental Panel on Climate Change: Climate Change 2007: The physical science basis*. SOLOMON, S., QIN, D., MANNING, M., MARQUIS, M., AVERYT, K., TIGNOR, M.M.B., MILLER, H.L. & CHEN, Z. (eds.). *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. ISBN 978-3-907630-28-0.
- JASSER, Ch., 1984: *Zuwachsverluste durch den Befall der kleinen Fichtenblattwespe in den Beständen des oberösterreichischen Alpenvorlandes*. Diplomarbeit an der Univ. für Bodenkultur, 59 S.
- JASSER, Ch., 2008: *Douglasie – Möglichkeiten und Grenzen in Oberösterreich*. <http://bfw.ac.at/rz/bfwcms.web?dok=7157> (11. 02. 2008). BFW Praxistage am 17. 01. an der FAST Ossiach; am 24. 01. an der FAST Ort und am 31. 01. am BFW Mariabrunn. LFD Oberösterreich.
- KANTONSFORSTAMT ST. GALLEN (Hrsg.), 2008: *Waldpflege und Waldverjüngung unter dem Aspekt der Klimaveränderung*. Strategiepapier. Empfehlungen des Forstdienstes des Kantons St. Gallen. Juni 2008. [http://www.wald.sg.ch/home/st\\_galler\\_wald/umwelt\\_und\\_klima.Par.0001.DownloadListPar.0001.File.tmp/KFA%20Brosch\\_einz.pdf](http://www.wald.sg.ch/home/st_galler_wald/umwelt_und_klima.Par.0001.DownloadListPar.0001.File.tmp/KFA%20Brosch_einz.pdf) (25. 04. 2009).
- KARRER, G., 2001: *Forstbotanik*, unpubl. Lehrveranstaltungsunterlagen, Inst. für Botanik, Dpt. für Integrative Biologie und Biodiversitätsforschung, Univ. für Bodenkultur.



- KATZENSTEINER, K. & SIEGHARDT, M., 2004: *Belastung und Sanierung von Waldböden*, unpubl. Lehrveranstaltungsunterlagen, Inst. für Waldökologie, Dpt. für Wald- und Bodenwissenschaften, Univ. für Bodenkultur.
- KILIAN, W., MÜLLER, F. & STARLINGER, F., 1994: *Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs. Eine Naturraumgliederung nach waldökologischen Gesichtspunkten*. *FBVA-Berichte* **82**: 60 S. BFW Wien. BMLF. ISSN 1013-0713. <http://bfw.ac.at/300/1027.html> (15. 03. 2005).
- KOCH, R. & BRANG, P., 2005: *Extensive Verjüngungsverfahren nach Lothar. Schlussbericht zuhanden der Forstdirektion des BUWAL*. Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf, 90 S.
- KÖNIG, A., 1995: *Sturmgefährdung von Beständen im Altersklassenwald. Ein Erklärungs- und Prognosemodell*. Johann David Sauerländer's Verlag. Frankfurt am Main, 194 S. ISBN-10: 3-79390-8402. ISBN-13: 978-3-79390-8401.
- KROMP-KOLB, H. & FORMAYER, H., 2005: *Schwarzbuch Klimawandel. Wie viel Zeit bleibt uns noch?* Ecowin Verlag der TopAkademie GmbH., Salzburg. 222 S. ISBN 3-902404-14-0.
- KUTSCHERA, L. & LICHTENEGGER, E., 2002, *Wurzelatlas mitteleuropäischer Waldbäume und Sträucher*, 604 S. Pflanzensoziologisches Inst., Alpen-Adria- Univ. Klagenfurt. ISBN 3-7020-0928-0.
- LEDERMANN, Th. & NEUMANN, M., 2009: *Prognose des Waldwachstums und des Nutzungspotenzials*. In: *BFW-Praxisinformation* **18**: 5-7. ISSN 1815-3895. [http://bfw.ac.at/030/pdf/1818\\_pi18.pdf](http://bfw.ac.at/030/pdf/1818_pi18.pdf) (27. 03. 2009).
- LEIBUNDGUT, H., 1978: *Die Waldpflege*. Haupt, Bern. 204 S. ISBN 978-3-258026-77-0.
- LEITGEB, E., 2001: *Bodenkunde für Ökologen*, unpubl. Lehrveranstaltungsunterlagen, Inst. für Forstökologie, FBVA Wien. 29 S.
- LEITGEB, E. & ENGLISCH, M., 2006: *Klimawandel – standörtliche Rahmenbedingungen für die Forstwirtschaft*. In: *BFW-Praxisinformation* **10**: 9-11. [http://www.waldwissen.net/themen/waldoekologie/boden\\_standortkunde/bfw\\_standort\\_klima\\_2006\\_DE?start=0](http://www.waldwissen.net/themen/waldoekologie/boden_standortkunde/bfw_standort_klima_2006_DE?start=0) (25. 08. 2008). FBVA Wien. ISSN 1815-3895.
- LEXER, M.J., 1996: *Model development for risk rating Norway spruce stands for bark beetle infestations under changing soil moisture conditions*. *School of Climatology and Natural Hazards, EC, DG XII*.
- LEXER, M.J. & HOCHBICHLER, E., 2004: *Waldbau an der unteren Waldgrenze*, unpubl. Lehrveranstaltungsunterlagen, Inst. für Waldbau, Dpt. für Wald- und Bodenwissenschaften, Univ. für Bodenkultur.
- LEXER, M.J. & HÖNNINGER, K., 1997: *On the definition of the physiological amplitude of alpine tree species in forest succession models*. In: *Soc. Am. For., Symposium Proceedings on Systems Analysis in Forest Resources*.

- LEXER, M.J. & HÖNNINGER, K., 1998: *Simulated effects of bark beetle infestations on stand dynamics in Picea abies stands: coupling a patch model and a stand risk model*. In: BENISTON, M. & INNES, J.L. (eds.): *The impacts of climate variability on forests*. 329 p. Springer, Berlin. pp. 288-308. ISBN 0-11710-298-9.
- LEXER, M.J., HÖNNINGER, K., SCHEIFINGER, H., MATULLA, Ch., GROLL, N., KROMP-KOLB, H., SCHADAUER, K., STARLINGER, F. & ENGLISCH, M., 2001: *The Sensitivity of the Austrian Forests to Scenarios of Climatic Change. A large-scale Risk Assessment*. UBA, Umweltbundesamt (Hrsg.) Monographien, Bd. **132** (M-132), Umweltbundesamt Wien. ISBN 3-85457-566-1.
- LEXER, M.J., SEIDL, R., RAMMER, W. & FORMAYER, H., 2007: *Niederösterreichs Wald im Klimawandel – Klimafolgenstudie für die Region Waldviertel- Projekt-Endbericht*. Niederösterreichische Landesregierung. 129 S.
- LINDNER, M., LASCH, P., BADECK, F.-W., BEGUIRISTAIN, P.P., JUNGE, S., KELLOMÄKI, S., PELTOLA, H., GRACIA, C., SABATE, S., JÄGER, D., LEXER, M.J. & FREEMAN, M., 2005: *SilviStrat model evaluation exercise*. In: KELLOMÄKI, S. & LEINONEN, S. (eds.): *Management of European forests under changing climatic conditions*. In: *Research Notes* **163**, University of Joensuu, Faculty of Forestry. pp. 117-157. ISBN 952-458-652-5.
- MAYER, H. & OTT, E., 1991: *Gebirgswaldbau - Schutzwaldpflege: Ein waldbaulicher Beitrag zur Landschaftsökologie und zum Umweltschutz*. 2., vollst. neu bearb. Aufl., Gustav Fischer Verlag, Stuttgart und New York, 587 S. ISBN-10: 3-43730-658-8. ISBN-13: 978-3-437306-58-7.
- MITSCHERLICH, G., 1971: *Wald, Wachstum und Umwelt. Waldklima und Wasserhaushalt*. Bd. 2, Johann David Sauerländer's Verlag. Frankfurt am Main, 364 S. ISBN 3-7939-0110-6.
- NIEDERMAIR, M., LEXER, M.J., PLATTNER, G., FORMAYER, H. & SEIDL, R., 2007: *Klimawandel und Artenvielfalt: Wie klimafit sind Österreichs Wälder, Flüsse und Alpenlandschaften?* ÖBf AG. 25 S. Klimastudie.
- OBERÖSTERREICHISCHER LANDESFORSTDIENST, 2002: *Laubholz – Der richtige Weg zum Erfolg*, 30 S. WEILHARTER, R. (Hrsg.) 3. Aufl., LFD Oberösterreich.  
[http://www.land-oberoesterreich.gv.at/cps/rde/xbcr/ooe/Forst\\_Laubholz.pdf](http://www.land-oberoesterreich.gv.at/cps/rde/xbcr/ooe/Forst_Laubholz.pdf)  
(25. 04. 2009).
- ÖSTERREICHISCHE WALDINVENTUR 2000/ 2002.  
<http://web.bfw.ac.at/i7/oewi.oewi0002> (20. 08. 2004).
- ROECKNER, E., LAUTENSCHLAGER, M. & SCHNEIDER, H., 2006:  
[http://www.mad.zmaw.de/IPCC\\_DDC/html/SRES\\_AR4/index.html](http://www.mad.zmaw.de/IPCC_DDC/html/SRES_AR4/index.html) (03. 03. 2009). *IPCC-AR4 MPI-ECHAM5\_T63L31 MPI-OM\_GR1.5L40 SRESB1 run no. 1: atmosphere monthly mean values MPImet/MaD Germany*. [doi: 10.1594/WDCC/EH5-T63L31\_OM-GR1.5L40\_B1\_1\_MM].

- RÖHRIG, E., BARTSCH, N. & von LÜPKE, B., 2006: *Waldbau auf ökologischer Grundlage*, 7. Aufl., Ulmer Verlag Stuttgart, 479 S. ISBN 3-82528-310-0.
- SCHNABEL, W. (Red.), KRENMAYR, H.-G., MANDL, G.W., NOWOTNY, A., ROETZEL, R. & SCHARBERT, S., 2002: *Geologische Karte von Niederösterreich 1 : 200.000. Legende und kurze Erläuterung*. Gemeinschaftsprojekt des Landes Niederösterreich und der Geologischen Bundesanstalt. Verlag der Geologischen Bundesanstalt. ISBN-10: 3-85316-017-4. ISBN-13 978-3-85316-017-6.
- SCHOPF, A., BAIER, P., NETHERER, S. & PENNERSTORFER, J., 2004: *Risikoabschätzung von Borkenkäfer-Massenvermehrungen im Nationalpark Kalkalpen. Projekt-Endbericht*. 105 S. Inst. für Forstentomologie, Forstpathologie und Forstschutz, Dpt. für Wald- und Bodenwissenschaften, Univ. für Bodenkultur.
- SCHÖNWIESE, Ch. & RAPP, J., 1997: *Climate Trend Atlas of Europe based on Observations 1891-1990*, Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. ISBN 978-0-7923-4483-4.
- SCHULTZE, U., 1994: *Klimaänderung – neue Kriterien für Herkunftsempfehlungen*. In: *Klimaänderung in Österreich. Herausforderung an Forstgenetik und Waldbau*. Inst. für Forstgenetik, FBVA Wien. Beiträge zum Symposium an der FBVA am 9. November. Waldforschungszentrum Wien. 2. Aufl., 1995. BMLF. *FBVA-Berichte* 81: 37-47. ISSN 1013-0713.
- SCHUME, H., 2008: *Waldklimatologie*, unpubl. Lehrveranstaltungsunterlagen, Inst. für Waldökologie, Dpt. für Wald- und Bodenwissenschaften, Univ. für Bodenkultur.
- SCHUME, H., BERGER, T. & SIEGHARDT, M., 2001: *Waldbodenkunde und Walder-nährung*, unpubl. Lehrveranstaltungsunterlagen zum Proseminar, Inst. für Waldökologie, Dpt. für Wald- und Bodenwissenschaften, Univ. für Bodenkultur.
- SCHUSTER, K., 2008a: *Wiederbewaldung von Schadflächen im Zeichen des Klimawandels*. Vortrag am 17. Oktober in Lilienfeld/ Niederösterreich.
- SCHUSTER, K., 2008b: *Rückblick über zwei Jahre Kurzumtrieb in Niederösterreich*. Fachtag am 12. Dezember in St. Pölten, LK Niederösterreich.
- SCHUSTER, K., 2009: *Gezielte Waldpflege für vitale, stabile Bäume*. In: *Blick ins Land* 2: 37-38. LK Niederösterreich.
- SCHÜTZ, J.-Ph., 1997: *Sylviculture 2: La gestion des forêts irrégulières et mélangées*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne. ISBN 2-88074-349-4.
- SCHWENKE, W., 1978: *Die Forstschädlinge Europas*, Bd. 3, *Schmetterlinge*. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin. 476 S. ISBN 3-490-11316-0.

- SEIDL, R., 2004: *Evaluation of a hybrid forest patch model*. Diplomarbeit an der Univ. für Bodenkultur, 98 S.
- SEIDL, R., 2007: *Model-based analysis of sustainable forest management under climate change with particular consideration of bark beetle disturbances*. Dissertation an der Univ. für Bodenkultur, 173 S.
- SEIDL, R. & LEXER, M.J., 2008. *Abschätzung der Vulnerabilität von Wäldern der Österreichischen Bundesforste bezüglich Klimaänderung und Entwicklung von adaptiven Managementstrategien*. Projektendbericht. 41 S.
- SEIDL, R., RAMMER, W. & LEXER, M.J., 2006 : *PICUS v1.41 - Documentation*. Institute of Silviculture, Department of Forest- and Soil Sciences. University of Natural Resources and Applied Life Sciences (BOKU) Vienna. April 2006. <http://www.wabo.boku.ac.at/picus.html> (03. 07. 2007).
- SPÖRK, J., 2003: *Waldbau*, unpubl. Lehrveranstaltungsunterlagen, Inst. für Waldbau, Dpt. für Wald- und Bodenwissenschaften, Univ. für Bodenkultur.
- STAMPFER, K., LEXER, M.J. & HOCHBICHLER, E., 2008: *Waldbau und Forsttechnik*, unpubl. Lehrveranstaltungsunterlagen, Inst. für Forsttechnik und Inst. für Waldbau, Dpt. für Wald- und Bodenwissenschaften, Univ. für Bodenkultur.
- TROLL, W., 1937: *Vergleichende Morphologie der höheren Pflanzen*. Berlin.
- WALDZUSTANDSBERICHT 2006: Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.). Bayerische Forstverwaltung. ISBN-10: 3-9809897-1-2. ISBN-13: 978-3-9809897-1-8.
- WEGENSTEINER, R., HOCH, G. & STAUFFER, Ch., 2003: *Einführung in die Forstentomologie*, unpubl. Lehrveranstaltungsunterlagen, Inst. für Forstentomologie, Forstpathologie und Forstschutz, Dpt. für Wald- und Bodenwissenschaften, Univ. für Bodenkultur.
- WULF, A. & BERENDES, K.-H., 1993: *Schwammspinner-Kalamität im Forst. Konzepte zu einer integrierten Bekämpfung freifressender Schmetterlingsraupen*. In: *Mitteilung aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin*. Heft **293**: 288 S. ISSN 0067-5849.
- ZENTRALANSTALT FÜR METEOROLOGIE UND GEODYNAMIK, 2007. <http://www.zamg.ac.at/>, 06. 03. 2007.

## Persönliche Mitteilungen

ENGLISCH, M., 2004, Inst. für Waldökologie und Boden, BFW, Schönbrunn.

ENGLISCH, M., 2008, Inst. für Waldökologie und Boden, BFW, Schönbrunn.

ENGLISCH, M., POCK, H. & REITER, R., 2007: *Provisorische Bodenkarte der Umgebung von Waidhofen/ Ybbs* (unpubl.). Inst. für Waldökologie und Boden, BFW, Schönbrunn.

HOCHBICHLER, E., 2009. Inst. für Waldbau, Dpt. für Wald- und Bodenwissenschaften, Univ. für Bodenkultur.

KLUMPP, R.Th., 2004, Inst. für Waldbau, Dpt. für Wald- und Bodenwissenschaften, Univ. für Bodenkultur.

LEXER, M.J., 2007, Inst. für Waldbau, Dpt. für Wald- und Bodenwissenschaften, Univ. für Bodenkultur.

LEXER, M.J., 2009., Inst. für Waldbau, Dpt. für Wald- und Bodenwissenschaften, Univ. für Bodenkultur.

SEIDL, R., 2008, Inst. für Waldbau, Dpt. für Wald- und Bodenwissenschaften, Univ. für Bodenkultur.

## Audiovisuelle Quellen und Links

- URL: <http://bfw.ac.at/rz/bfwcms.web?dok=7157> (11. 02. 2008). Stand: 19. 02. 2009. Abfrage: 19. 02. 2009. MEZ 11:17 Uhr.
- URL: <http://bfw.ac.at/rz/bfwcms.web?dok=7365> (29. 05. 2008). Stand: 14. 02. 2009. Abfrage: 14. 02. 2009. MEZ 14:40 Uhr.
- URL: [http://bfw.ac.at/030/pdf/1818\\_pi18.pdf](http://bfw.ac.at/030/pdf/1818_pi18.pdf) (27. 03. 2009). Stand: 27. 03. 2009. Abfrage: 27. 03. 2009. MEZ 19:55 Uhr.
- URL: <http://bfw.ac.at/050/pdf/biodiversitaet.pdf> (07. 03. 2009). Stand: 07. 03. 2009. Abfrage: 07. 03. 2009, MEZ 11:45 Uhr.
- URL: <http://bfw.ac.at/300/1027.html> (15. 03. 2005). Stand: 14. 04. 2007. Abfrage: 14. 04. 2007, MEZ 21:48 Uhr.
- URL: <http://bfw.ac.at/300/1197.html> (08. 09. 2000). Stand: 27. 02. 2009. Abfrage: 27. 02. 2009, MEZ 17:54 Uhr.
- URL: <http://elearning.iufro.org/artikel/expert-articles/de/#c12852> (20. 03. 2009). Stand: 20. 03. 2009. Abfrage: 20. 03. 2009, MEZ 13:15 Uhr.
- URL: <http://web.bfw.ac.at/i7/oewi.oewi0002> (20. 08. 2004). Stand: 22. 06. 2008. Abfrage: 22. 06. 2008, MEZ 14:08 Uhr.
- URL: <http://webdoc.sub.gwdg.de/diss/2004/doebbeler/index.html> (15. 10. 2004). Stand: 15. 10. 2004. Abfrage: 22. 02. 2009. MEZ 17:36 Uhr.
- URL: [http://www.alf-ts.bayern.de/forstwirtschaft/26790/linkurl\\_0\\_2.pdf](http://www.alf-ts.bayern.de/forstwirtschaft/26790/linkurl_0_2.pdf) (18. 02. 2009). Stand: 18. 02. 2009. Abfrage: 18. 02. 2009, MEZ 20:35 Uhr.
- URL: [http://www.fnr-server.de/cms35/fileadmin/allgemein/pdf/veranstaltungen/waldstrategie/10\\_12\\_2008/6-KNOKE.pdf](http://www.fnr-server.de/cms35/fileadmin/allgemein/pdf/veranstaltungen/waldstrategie/10_12_2008/6-KNOKE.pdf) (10. 12. 2008). Stand: 10. 12. 2008. Abfrage: 10. 12. 2008, MEZ 00:00 Uhr.
- URL: [http://www.land-oberoesterreich.gv.at/cps/rde/xbcr/ooe/Forst\\_Laubholz.pdf](http://www.land-oberoesterreich.gv.at/cps/rde/xbcr/ooe/Forst_Laubholz.pdf) (25. 04. 2009). Stand: 25. 04. 2009. Abfrage: 25. 04. 2009, MEZ 22:55 Uhr.
- URL: <http://www.lfi.ch/> (08. 04. 2009). Stand: 08. 04. 2009. Abfrage: 08. 04. 2009, MEZ 00:00 Uhr.
- URL: <http://www.lwf.bayern.de/publikationen/daten/baumarten-wobl/eiche-wobl.pdf> (28. 11. 2008). Stand: 24. 04. 2009. Abfrage: 24. 04. 2009, MEZ 14:24 Uhr.
- URL: [http://www.mad.zmaw.de/IPCC\\_DDC/html/SRES\\_AR4/index.html](http://www.mad.zmaw.de/IPCC_DDC/html/SRES_AR4/index.html) (03. 03. 2009). Stand: 03. 03. 2009. Abfrage: 03. 03. 2009, MEZ 10:40 Uhr.
- URL: [http://www.mluv.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.4595.de/fb\\_ahorn.pdf](http://www.mluv.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.4595.de/fb_ahorn.pdf) (25. 03. 2009). Stand: 25. 03. 2009, MEZ 14:49 Uhr.

URL: <http://www-personal.umich.edu/~wcurrie/index.html> (19. 02. 2009). Stand: 19. 02. 2009. Abfrage: 19.02.2009, MEZ 12:46 Uhr.

URL: <http://www.seba.ethz.ch> (31. 08. 2005). Stand: 24. 02. 2009. Abfrage: 24. 02. 2009, MEZ 23:49 Uhr.

URL: <http://www.wabo.boku.ac.at/picus.html> (03. 07. 2007). Stand: 24. 08. 2008. Abfrage: 24. 08. 2008, MEZ 19:08 Uhr.

URL: [http://www.wald.sg.ch/home/st\\_galler\\_wald/umwelt\\_und\\_klima.Par.0001.DownloadListPar.0001.File.tmp/KFA%20Brosch\\_einz.pdf](http://www.wald.sg.ch/home/st_galler_wald/umwelt_und_klima.Par.0001.DownloadListPar.0001.File.tmp/KFA%20Brosch_einz.pdf) (25. 04. 2009). Stand: 25. 04. 2009. Abfrage: 25. 04. 2009, MEZ 22:57 Uhr.

URL: [http://www.waldundklima.net/klima/klima\\_docs/textfassung\\_cbernhofertagg\\_070927.pdf](http://www.waldundklima.net/klima/klima_docs/textfassung_cbernhofertagg_070927.pdf) (19. 02. 2008). Stand: 20. 03. 2009. Abfrage: 20. 03. 2009, MEZ 13:14 Uhr.

URL: [http://www.waldwissen.net/themen/waldoekologie/boden\\_standortkunde/bfw\\_standort\\_klima\\_2006\\_DE?start=0](http://www.waldwissen.net/themen/waldoekologie/boden_standortkunde/bfw_standort_klima_2006_DE?start=0) (25. 08. 2008). Stand: 25. 08. 2008. Abfrage: 25. 08. 2008, MEZ 09:42 Uhr.

URL: <http://www.zamg.ac.at/> (06. 03. 2007). Stand: 06. 03. 2007. Abfrage: 06. 03. 2007, MEZ 16:43 Uhr.

NEUE ZÜRCHER ZEITUNG, 2002: *Den Raritäten im Wald auf der Spur. Seltene Baumarten in der Schweiz*. 13. November. <http://www.seba.ethz.ch> (31. 08. 2005).

RADIO ÖSTERREICH 1, *Vom Leben der Natur*, 2006: *Trockenstandorte inmitten der Donauauen*. 17. - 21. Juli.

## Anhang

Tab. A1: Standortsinformation für den Bestand *Abetzberg 1*.

Punktnr.	Seehöhe [m]	Hangneigung [°]	Exposition [°]	Gründigkeit [cm]	Topographie	Bodentyp	Bodenart (0 - 30cm)	Grobskelett (0 - 30cm) [%]	Humustyp
1	385	3	20	55+	Oberhang	Pseudogley	Lehm	0	Moder
2	385	0	0	53+	Ebene	Pseudogley	lehmiger Ton	0	Moder
3	385	2	85	65+	Oberhang	Pseudogley	toniger Lehm	0	Moder
4	385	1	110	53+	Oberhang	Pseudogley	lehmiger Ton	0	Moder

Tab. A2: Standortsinformation für den Bestand *Abetzberg 2*.

Punktnr.	Seehöhe [m]	Hangneigung [°]	Exposition [°]	Gründigkeit [cm]	Topographie	Bodentyp	Bodenart (0 - 30cm)	Grobskelett (0 - 30cm) [%]	Humustyp
1	360	13	80	65+	Mittelhang	Parabraunerde	toniger Lehm	0	Moder
2	350	13	90	65+	Grabeneinhang	Parabraunerde	Lehm	3	Moder
3	360	20	100	60+	Grabeneinhang	Parabraunerde	Lehm	0	Moder
4	350	13	55	55+	Grabeneinhang	Parabraunerde	Lehm	0	Moder

Tab. A3: Standortsinformation für den Bestand *Abetzberg 3*.

Punktnr.	Seehöhe [m]	Hangneigung [°]	Exposition [°]	Gründigkeit [cm]	Topographie	Bodentyp	Bodenart (0 - 30cm)	Grobskelett (0 - 30cm) [%]	Humustyp
1	390	9	200	55+	Mittelhang	Parabraunerde	Lehm	0	Moder
2	390	9	210	56+	Mittelhang	Parabraunerde	Lehm	0	Moder
3	390	8,5	225	65+	Mittelhang	Pseudogley	toniger Lehm	0	Moder
4	390	10		60+	Mittelhang	Parabraunerde	toniger Lehm	0	Moder

Tab. A4: Standortsinformation für den Bestand *Abetzberg 4*.

Punktnr.	Seehöhe [m]	Hangneigung [°]	Exposition [°]	Gründigkeit [cm]	Topographie	Bodentyp	Bodenart (0 - 30cm)	Grobskelett (0 - 30cm) [%]	Humustyp
1	390	9	45	50+	Mittelhang	Parabraunerde	Lehm	0	Moder
2	390	8,5	10	50+	Mittelhang	Parabraunerde	Lehm	0	Moder
3	390	9,7	20	45+	Mittelhang	Parabraunerde	Lehm	0	Moder

Tab. A5: Standortsinformation für den Bestand *Abetzberg 5*.

Punktnr.	Seehöhe [m]	Hangneigung [°]	Exposition [°]	Gründigkeit [cm]	Topographie	Bodentyp	Bodenart (0 - 30cm)	Grobskelett (0 - 30cm) [%]	Humustyp
1	380	0	0	47+	Ebene	Braunerde	sandiger Lehm	50	Moder
2	380	0	0	60+	Ebene	Parabraunerde	sandiger Lehm	20	Moder



Tab. A6: Standortsinformation für den Bestand *Abetzberg 6*.

Punktnr.	Seehöhe [m]	Hangneigung [°]	Exposition [°]	Gründigkeit [cm]	Topographie	Bodentyp	Bodenart (0 - 30cm)	Grobskelett (0 - 30cm) [%]	Humustyp
1	370	8	30	65+	Mittelhang	Parabraunerde	Lehm	0	mullartiger Moder
2	370	9,2	30	60+	Mittelhang	Parabraunerde	Lehm	0	Moder
3	370	9,8	50	65+	Mittelhang	Parabraunerde	Lehm	0	Moder

Tab. A7: Standortsinformation für den Bestand *Hametholz 1*.

Punktnr.	Seehöhe [m]	Hangneigung [°]	Exposition [°]	Gründigkeit [cm]	Topographie	Bodentyp	Bodenart (0 - 30cm)	Grobskelett (0 - 30cm) [%]	Humustyp
1	290	5	250	60+	Oberhang	Pseudogley	schluffiger Ton	0	Moder
2	290	4	250	60+	Oberhang	Pseudogley	schluffiger Ton	0	Moder
3	290	4	250	60+	Oberhang	Pseudogley	schluffiger Ton	0	Moder
4	290	4	250	60+	Oberhang	Pseudogley	schluffiger Ton	0	Moder

Tab. A8: Standortsinformation für den Bestand *Hametholz 2*.

Punktnr.	Seehöhe [m]	Hangneigung [°]	Exposition [°]	Gründigkeit [cm]	Topographie	Bodentyp	Bodenart (0 - 30cm)	Grobskelett (0 - 30cm) [%]	Humustyp
1	280	2	320	50+	Oberhang	Pseudogley	Ton	0	Moder
2	280	2	320	50+	Oberhang	Pseudogley	Ton	0	Moder
3	280	2	260	60+	Oberhang	Pseudogley	Ton	0	Moder
4	280	2	270	60+	Oberhang	Pseudogley	Ton	0	Moder

Tab. A9: Standortsinformation für den Bestand *Hametholz 3*.

Punktnr.	Seehöhe [m]	Hangneigung [°]	Exposition [°]	Gründigkeit [cm]	Topographie	Bodentyp	Bodenart (0 - 30cm)	Grobskelett (0 - 30cm) [%]	Humustyp
1	290	5	360	50+	Oberhang	Pseudogley	lehmiger Ton	0	Moder
2	290	3	370	50+	Oberhang	Pseudogley	lehmiger Ton	0	Moder
3	290	0	0	60+	Oberhang	Pseudogley	lehmiger Ton	0	Moder
4	290	5	90	50+	Oberhang	Pseudogley	lehmiger Ton	0	Moder

Tab. A10: Datenerhebungsblatt für den *Standort* (Quelle: Inst. für Waldbau, Univ. für Bodenkultur 2007).

**SP-Standort**

Untersuchungsbestand: .....	Stichprobe-Nr.: .....
Erhebungsteam: .....	Datum: .....

Standortsmerkmale sind auf einer konzentrischen Kreisfläche von 500m<sup>2</sup> um den Probepunkt anzusprechen (r = 12.6m).

Seehöhe [m]:		<i>Topographie</i> (zutreffendes ankreuzen)			
Neigung [°]:		Oberhang			
		Mittelhang			
Exposition [°]:		Unterhang			
		Grabeneinhang			
Geologie:		Talboden			
		Ebene			
Bestockbare Fläche [%]:		Mulde			
Gründigkeit [cm]:	0-30				
	30+				
	sonstig				
	exakt [cm]:				
Bodentyp:		<b>Pedo-Horizonte</b>	<b>[cm]</b>		
Bodenart (0-30cm):					
Grobskelett (0-30cm) [%]:					
Humustyp:					
Auflagemächtigkeit [cm]:					
<b>Bodenprobe geworben:</b>	Mineralboden:				
	Auflage:				
<b>Bodenvegetation/ Vegetationstyp</b>		<b>Bestandestextur</b> im weiteren Umfeld des SP (ca. 1.0ha) ansprechen			
Deckungsgrad [%]:		Löcher im Bestand (Anzahl):			
Höhe (min/ max) [m]:		Dimension repräsentatives Loch: D <sub>max</sub> :..... D <sub>min</sub> :.....			
dominierende Art(en):		<b><u>Orientierung der Löcher</u></b> (bezogen auf die Hangneigungsrichtung)			
		Rund:		Quer:	

Tab. A11: Indikatoren *Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung, Biodiversität, Schadanfälligkeit, Kostenintensität* und *Grundwasserneubildung* für das Produktionsprogramm *Fi-BAU* auf *trockener Parabraunerde* im Klimaraum *Abetzberg*.

Indikatoren	Periode	<i>baseline</i>	Klimaszenario <i>CC-A1B</i>	Klimaszenario <i>CC-A2</i>	Klimaszenario <i>CC-B1</i>
Produktivität [m <sup>3</sup> /ha/a]	2020	15,84	4,41	7,14	4,42
	2050	22,67	11,33	14,76	11,97
	2100	13,18	2,21	2,28	6,00
Vorrat [m <sup>3</sup> /ha]	2020	65,10	15,31	26,47	13,12
	2050	385,25	161,15	229,68	169,89
	2100	578,50	107,53	148,22	237,80
Kohlenstoffspeicher [tC/ha]	2020	125,53	101,81	109,23	98,77
	2050	202,10	141,00	163,31	142,21
	2100	228,32	104,65	117,68	143,96
Baumarteneignung ≤ 0,25: <i>gering</i> 0,25 < x < 0,75: <i>mittel</i> ≥ 0,75: <i>gut</i>	2020	0,69	0,37	0,44	0,46
	2050	0,62	0,47	0,53	0,53
	2100	0,62	0,14	0,17	0,30
Biodiversität 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	1	1	1	1
	2050	1	1	1	1
	2100	1	1	1	1
Schadanfälligkeit 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	3	2	3	2
	2050	3	3	3	3
	2100	2	3	3	3
Kostenintensität 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	2	2	2	2
	2050	2	2	2	2
	2100	2	2	2	2
Grundwasserbildung [mm/a]	2020	284,39	324,92	334,02	330,29
	2050	304,25	337,82	335,09	359,49
	2100	295,05	313,56	295,69	345,21

Tab. A12: Indikatoren *Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung, Biodiversität, Schadanfälligkeit, Kostenintensität* und *Grundwasserneubildung* für das Produktionsprogramm *Fi-BAU* auf *trockener Parabraunerde* im Klimaraum *Hametholz*.

Indikatoren	Periode	<i>baseline</i>	Klimaszenario <i>CC-A1B</i>	Klimaszenario <i>CC-A2</i>	Klimaszenario <i>CC-B1</i>
Produktivität [m <sup>3</sup> /ha/a]	2020	6,58	1,23	1,49	1,38
	2050	15,65	6,40	8,25	7,32
	2100	9,00	0,44	0,66	3,27
Vorrat [m <sup>3</sup> /ha]	2020	24,85	4,45	7,05	4,74
	2050	224,03	78,05	100,79	84,95
	2100	344,35	27,35	34,29	87,70
Kohlenstoffspeicher [tC/ha]	2020	107,51	92,55	95,51	92,49
	2050	161,42	112,40	119,60	112,97
	2100	176,42	70,88	76,28	98,82
Baumarteneignung ≤ 0,25: <i>gering</i> 0,25 < x < 0,75: <i>mittel</i> ≥ 0,75: <i>gut</i>	2020	0,51	0,28	0,34	0,35
	2050	0,55	0,26	0,38	0,36
	2100	0,48	0,08	0,12	0,22
Biodiversität 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	1	1	1	1
	2050	1	1	1	1
	2100	1	1	1	1
Schadanfälligkeit 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	2	2	2	2
	2050	2	3	3	3
	2100	3	3	3	3
Kostenintensität 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	3	2	2	2
	2050	2	2	2	2
	2100	2	2	2	2
Grundwasserbildung [mm/a]	2020	160,37	198,30	204,79	202,70
	2050	196,77	232,19	233,29	244,33
	2100	187,39	211,70	195,79	229,77

Tab. A13: Indikatoren *Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung, Biodiversität, Schadanfälligkeit, Kostenintensität* und *Grundwasserneubildung* für das Produktionsprogramm *Fi-BAU* auf *frischer Parabraunerde* im Klimaraum *Abetzberg*.

Indikatoren	Periode	<i>baseline</i>	Klimaszenario <i>CC-A1B</i>	Klimaszenario <i>CC-A2</i>	Klimaszenario <i>CC-B1</i>
Produktivität [m <sup>3</sup> /ha/a]	2020	18,14	8,20	11,95	9,39
	2050	26,33	16,05	19,75	18,17
	2100	15,64	3,96	4,55	8,12
Vorrat [m <sup>3</sup> /ha]	2020	76,96	30,94	42,69	29,89
	2050	444,80	242,35	327,46	284,67
	2100	686,35	192,24	250,46	360,90
Kohlenstoffspeicher [tC/ha]	2020	130,61	111,62	117,57	109,58
	2050	217,06	168,20	189,04	178,10
	2100	254,51	133,26	146,29	176,67
Baumarteneignung ≤ 0,25: <i>gering</i> 0,25 < x < 0,75: <i>mittel</i> ≥ 0,75: <i>gut</i>	2020	0,71	0,50	0,60	0,60
	2050	0,81	0,56	0,62	0,59
	2100	0,72	0,25	0,27	0,41
Biodiversität 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	1	1	1	1
	2050	1	1	1	1
	2100	1	1	1	1
Schadanfälligkeit 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	3	3	3	2
	2050	3	3	3	2
	2100	2	3	3	3
Kostenintensität 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	2	3	2	2
	2050	2	2	2	2
	2100	2	2	2	2
Grundwasserbildung [mm/a]	2020	263,11	298,43	303,54	300,49
	2050	284,76	307,05	308,11	327,27
	2100	274,72	278,85	261,76	313,97

Tab. A14: Indikatoren *Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung, Biodiversität, Schadanfälligkeit, Kostenintensität* und *Grundwasserneubildung* für das Produktionsprogramm *Fi-BAU* auf *frischer Parabraunerde* im Klimaraum *Hametholz*.

Indikatoren	Periode	<i>baseline</i>	Klimaszenario <i>CC-A1B</i>	Klimaszenario <i>CC-A2</i>	Klimaszenario <i>CC-B1</i>
Produktivität [m <sup>3</sup> /ha/a]	2020	12,88	2,91	5,74	4,34
	2050	20,55	10,70	13,31	11,59
	2100	11,66	1,59	2,09	6,04
Vorrat [m <sup>3</sup> /ha]	2020	52,71	10,00	21,31	13,61
	2050	343,38	146,74	199,01	163,78
	2100	517,15	81,99	111,81	222,63
Kohlenstoffspeicher [tC/ha]	2020	120,98	97,59	105,85	99,19
	2050	194,46	136,59	153,82	141,50
	2100	221,51	94,48	109,02	140,50
Baumarteneignung ≤ 0,25: <i>gering</i> 0,25 < x < 0,75: <i>mittel</i> ≥ 0,75: <i>gut</i>	2020	0,59	0,36	0,48	0,43
	2050	0,64	0,32	0,52	0,44
	2100	0,63	0,14	0,17	0,28
Biodiversität 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	1	1	1	1
	2050	1	1	1	1
	2100	1	1	1	1
Schadanfälligkeit 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	3	2	2	2
	2050	3	3	3	3
	2100	2	3	3	3
Kostenintensität 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	3	2	2	2
	2050	2	2	2	2
	2100	2	2	2	2
Grundwasserbildung [mm/a]	2020	130,48	166,55	168,94	169,43
	2050	170,57	200,78	199,07	210,45
	2100	158,71	171,40	156,97	196,34

Tab. A15: Indikatoren *Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung, Biodiversität, Schadanfälligkeit, Kostenintensität* und *Grundwasserneubildung* für das Produktionsprogramm *Fi-BAU auf trockenem Pseudogley* im Klimaraum *Abetzberg*.

Indikatoren	Periode	<i>baseline</i>	Klimaszenario <i>CC-A1B</i>	Klimaszenario <i>CC-A2</i>	Klimaszenario <i>CC-B1</i>
Produktivität [m <sup>3</sup> /ha/a]	2020	15,65	4,31	6,37	4,75
	2050	22,28	10,52	13,56	11,49
	2100	11,42	1,93	2,10	5,52
Vorrat [m <sup>3</sup> /ha]	2020	64,44	15,18	24,05	14,27
	2050	380,88	151,97	213,24	162,02
	2100	524,54	94,52	125,83	222,35
Kohlenstoffspeicher [tC/ha]	2020	152,70	128,56	134,49	126,37
	2050	226,77	161,52	182,51	164,44
	2100	241,50	122,75	134,29	162,16
Baumarteneignung ≤ 0,25: <i>gering</i> 0,25 < x < 0,75: <i>mittel</i> ≥ 0,75: <i>gut</i>	2020	0,41	0,22	0,28	0,30
	2050	0,38	0,29	0,33	0,33
	2100	0,38	0,10	0,12	0,19
Biodiversität 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	1	1	1	1
	2050	1	1	1	1
	2100	1	1	1	1
Schadanfälligkeit 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	3	2	3	2
	2050	3	3	3	3
	2100	2	3	3	3
Kostenintensität 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	2	2	2	2
	2050	2	2	2	2
	2100	2	2	2	2
Grundwasserbildung [mm/a]	2020	284,39	324,29	335,75	332,83
	2050	304,28	338,06	337,22	357,33
	2100	296,09	314,49	296,39	345,46

Tab. A16: Indikatoren *Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung, Biodiversität, Schadanfälligkeit, Kostenintensität* und *Grundwasserneubildung* für das Produktionsprogramm *Fi-BAU auf trockenem Pseudogley* im Klimaraum *Hametholz*.

Indikatoren	Periode	<i>baseline</i>	Klimaszenario <i>CC-A1B</i>	Klimaszenario <i>CC-A2</i>	Klimaszenario <i>CC-B1</i>
Produktivität [m <sup>3</sup> /ha/a]	2020	6,64	1,21	1,64	1,11
	2050	14,67	6,02	7,88	7,58
	2100	8,29	0,28	0,63	3,17
Vorrat [m <sup>3</sup> /ha]	2020	25,81	4,41	7,71	4,02
	2050	216,34	75,58	97,15	87,41
	2100	324,58	24,86	37,09	92,05
Kohlenstoffspeicher [tC/ha]	2020	135,04	119,05	122,76	118,33
	2050	183,94	134,49	142,17	137,23
	2100	194,01	90,96	98,42	121,08
Baumarteneignung ≤ 0,25: <i>gering</i> 0,25 < x < 0,75: <i>mittel</i> ≥ 0,75: <i>gut</i>	2020	0,33	0,19	0,22	0,24
	2050	0,34	0,18	0,28	0,24
	2100	0,31	0,06	0,09	0,15
Biodiversität 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	1	1	1	1
	2050	1	1	1	1
	2100	1	1	1	1
Schadanfälligkeit 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	2	2	2	2
	2050	3	3	3	3
	2100	3	3	3	3
Kostenintensität 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	2	2	2	2
	2050	2	2	2	2
	2100	2	2	2	2
Grundwasserbildung [mm/a]	2020	161,50	196,93	203,57	205,65
	2050	195,61	233,75	231,47	242,78
	2100	187,59	213,05	193,52	229,27



Tab. A17: Indikatoren *Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung, Biodiversität, Schadanfälligkeit, Kostenintensität* und *Grundwasserneubildung* für das Produktionsprogramm *Fi-BAU* auf *frischem Pseudogley* im Klimaraum *Abetzberg*.

Indikatoren	Periode	<i>baseline</i>	Klimaszenario <i>CC-A1B</i>	Klimaszenario <i>CC-A2</i>	Klimaszenario <i>CC-B1</i>
Produktivität [m <sup>3</sup> /ha/a]	2020	18,06	8,40	11,87	9,54
	2050	25,30	15,07	19,02	17,06
	2100	14,15	3,55	4,29	7,75
Vorrat [m <sup>3</sup> /ha]	2020	77,83	31,15	43,47	30,98
	2050	437,76	228,10	317,87	268,91
	2100	658,70	183,27	222,68	343,73
Kohlenstoffspeicher [tC/ha]	2020	158,34	138,86	144,86	136,97
	2050	240,91	188,92	211,98	197,89
	2100	269,87	154,08	162,03	196,35
Baumarteneignung ≤ 0,25: <i>gering</i> 0,25 < x < 0,75: <i>mittel</i> ≥ 0,75: <i>gut</i>	2020	0,42	0,31	0,38	0,37
	2050	0,48	0,35	0,36	0,36
	2100	0,42	0,17	0,18	0,27
Biodiversität 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	1	1	1	1
	2050	1	1	1	1
	2100	1	1	1	1
Schadanfälligkeit 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	3	3	3	2
	2050	3	3	3	3
	2100	2	3	3	3
Kostenintensität 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	2	3	2	2
	2050	2	2	2	2
	2100	2	2	2	2
Grundwasserbildung [mm/a]	2020	264,07	298,61	303,28	299,39
	2050	284,83	308,05	306,96	328,07
	2100	273,71	278,63	261,15	313,89

Tab. A18: Indikatoren *Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung, Biodiversität, Schadanfälligkeit, Kostenintensität* und *Grundwasserneubildung* für das Produktionsprogramm *Fi-BAU* auf *frischem Pseudogley* im Klimaraum *Hametholz*.

Indikatoren	Periode	<i>baseline</i>	Klimaszenario <i>CC-A1B</i>	Klimaszenario <i>CC-A2</i>	Klimaszenario <i>CC-B1</i>
Produktivität [m <sup>3</sup> /ha/a]	2020	12,33	2,78	5,60	4,35
	2050	19,17	9,68	12,50	10,75
	2100	11,07	1,46	1,89	6,04
Vorrat [m <sup>3</sup> /ha]	2020	51,12	9,80	20,25	14,06
	2050	324,91	134,96	195,51	152,91
	2100	468,82	73,47	114,64	203,24
Kohlenstoffspeicher [tC/ha]	2020	147,39	124,18	132,00	126,27
	2050	214,59	156,77	177,43	162,09
	2100	232,72	113,63	131,91	158,07
Baumarteneignung ≤ 0,25: <i>gering</i> 0,25 < x < 0,75: <i>mittel</i> ≥ 0,75: <i>gut</i>	2020	0,35	0,22	0,32	0,28
	2050	0,38	0,21	0,33	0,27
	2100	0,38	0,10	0,12	0,18
Biodiversität 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	1	1	1	1
	2050	1	1	1	1
	2100	1	1	1	1
Schadanfälligkeit 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	3	2	2	2
	2050	3	3	3	3
	2100	2	3	3	3
Kostenintensität 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	3	2	2	2
	2050	2	2	2	2
	2100	2	2	2	2
Grundwasserbildung [mm/a]	2020	131,77	168,02	170,81	168,54
	2050	169,43	202,58	200,45	211,25
	2100	158,55	172,37	156,73	196,43

Tab. A19: Indikatoren *Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung, Biodiversität, Schadanfälligkeit, Kostenintensität* und *Grundwasserneubildung* für das Produktionsprogramm *Lä-Bu* auf *trockener Parabraunerde* im Klimaraum *Abetzberg*.

Indikatoren	Periode	<i>baseline</i>	Klimaszenario <i>CC-A1B</i>	Klimaszenario <i>CC-A2</i>	Klimaszenario <i>CC-B1</i>
Produktivität [m <sup>3</sup> /ha/a]	2020	10,14	5,73	7,56	6,02
	2050	14,96	9,30	10,73	9,47
	2100	7,33	8,63	10,55	4,03
Vorrat [m <sup>3</sup> /ha]	2020	64,93	34,74	43,01	31,16
	2050	270,08	162,45	193,71	164,24
	2100	341,67	126,18	182,21	203,06
Kohlenstoffspeicher [tC/ha]	2020	133,62	119,33	123,44	114,96
	2050	196,71	163,35	176,27	162,00
	2100	198,31	129,57	148,38	150,94
Baumarteneignung ≤ 0,25: <i>gering</i> 0,25 < x < 0,75: <i>mittel</i> ≥ 0,75: <i>gut</i>	2020	0,79	0,42	0,57	0,59
	2050	0,73	0,57	0,62	0,58
	2100	0,74	0,22	0,28	0,40
Biodiversität 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	2	2	2	2
	2050	2	2	2	2
	2100	2	3	3	2
Schadanfälligkeit 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	2	2	2	2
	2050	2	2	2	2
	2100	2	1	2	2
Kostenintensität 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	3	3	3	3
	2050	3	3	3	3
	2100	2	2	2	2
Grundwasserbildung [mm/a]	2020	289,94	328,79	336,78	331,35
	2050	301,26	342,09	338,44	360,12
	2100	297,38	313,77	300,22	349,50

Tab. A20: Indikatoren *Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung, Biodiversität, Schadanfälligkeit, Kostenintensität* und *Grundwasserneubildung* für das Produktionsprogramm *Lä-Bu* auf *trockener Parabraunerde* im Klimaraum *Hametholz*.

Indikatoren	Periode	<i>baseline</i>	Klimaszenario <i>CC-A1B</i>	Klimaszenario <i>CC-A2</i>	Klimaszenario <i>CC-B1</i>
Produktivität [m <sup>3</sup> /ha/a]	2020	8,02	3,46	4,20	3,77
	2050	11,63	6,42	7,23	6,68
	2100	5,80	5,49	6,34	3,04
Vorrat [m <sup>3</sup> /ha]	2020	48,72	18,97	23,46	17,95
	2050	211,09	108,76	122,19	108,44
	2100	258,38	83,35	103,21	147,94
Kohlenstoffspeicher [tC/ha]	2020	126,02	108,94	112,80	106,82
	2050	177,55	144,46	151,29	144,48
	2100	170,32	111,59	120,35	135,68
Baumarteneignung ≤ 0,25: <i>gering</i> 0,25 < x < 0,75: <i>mittel</i> ≥ 0,75: <i>gut</i>	2020	0,64	0,33	0,45	0,46
	2050	0,65	0,40	0,49	0,47
	2100	0,63	0,15	0,21	0,31
Biodiversität 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	2	2	2	2
	2050	2	2	2	2
	2100	2	2	2	2
Schadanfälligkeit 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	2	2	2	2
	2050	2	2	2	2
	2100	2	1	1	2
Kostenintensität 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	3	3	3	3
	2050	3	3	3	3
	2100	2	2	2	2
Grundwasserbildung [mm/a]	2020	162,13	200,30	210,96	210,06
	2050	198,04	240,19	237,68	245,33
	2100	187,92	211,21	194,80	233,66

Tab. A21: Indikatoren *Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung, Biodiversität, Schadanfälligkeit, Kostenintensität* und *Grundwasserneubildung* für das Produktionsprogramm *Lä-Bu* auf *frischer Parabraunerde* im Klimaraum *Abetzberg*.

Indikatoren	Periode	<i>baseline</i>	Klimaszenario <i>CC-A1B</i>	Klimaszenario <i>CC-A2</i>	Klimaszenario <i>CC-B1</i>
Produktivität [m <sup>3</sup> /ha/a]	2020	11,45	7,82	9,57	7,57
	2050	15,88	12,08	13,30	12,16
	2100	8,00	3,99	4,82	5,87
Vorrat [m <sup>3</sup> /ha]	2020	72,85	46,45	56,96	40,80
	2050	300,84	215,18	249,63	206,84
	2100	376,95	233,89	271,78	269,74
Kohlenstoffspeicher [tC/ha]	2020	136,24	125,23	130,09	121,18
	2050	204,27	178,71	191,85	178,78
	2100	208,49	161,49	177,33	178,05
Baumarteneignung ≤ 0,25: <i>gering</i> 0,25 < x < 0,75: <i>mittel</i> ≥ 0,75: <i>gut</i>	2020	0,85	0,58	0,73	0,71
	2050	0,84	0,67	0,69	0,65
	2100	0,82	0,36	0,38	0,53
Biodiversität 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	2	2	2	2
	2050	2	2	2	2
	2100	2	2	2	2
Schadanfälligkeit 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	2	2	2	2
	2050	2	2	2	2
	2100	2	2	2	2
Kostenintensität 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	3	3	3	3
	2050	3	3	3	3
	2100	2	2	2	2
Grundwasserbildung [mm/a]	2020	267,06	304,39	304,65	305,87
	2050	285,77	310,03	310,04	329,69
	2100	276,11	282,43	263,23	315,71

Tab. A22: Indikatoren *Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung, Biodiversität, Schadanfälligkeit, Kostenintensität* und *Grundwasserneubildung* für das Produktionsprogramm *Lä-Bu* auf *frischer Parabraunerde* im *Klimaraum Hametholz*.

Indikatoren	Periode	<i>baseline</i>	Klimaszenario CC-A1B	Klimaszenario CC-A2	Klimaszenario CC-B1
Produktivität [m <sup>3</sup> /ha/a]	2020	9,79	5,49	6,83	5,47
	2050	14,11	9,19	10,52	9,09
	2100	6,85	8,22	10,06	4,11
Vorrat [m <sup>3</sup> /ha]	2020	61,45	32,70	38,93	27,67
	2050	254,87	157,64	182,46	157,33
	2100	315,25	122,22	171,45	197,01
Kohlenstoffspeicher [tC/ha]	2020	131,93	118,09	121,58	113,25
	2050	191,64	162,12	169,77	160,59
	2100	189,55	127,02	142,56	150,12
Baumarteneignung ≤ 0,25: <i>gering</i> 0,25 < x < 0,75: <i>mittel</i> ≥ 0,75: <i>gut</i>	2020	0,72	0,45	0,61	0,54
	2050	0,72	0,47	0,65	0,49
	2100	0,73	0,25	0,29	0,41
Biodiversität 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	2	2	2	2
	2050	2	2	2	2
	2100	2	3	3	2
Schadanfälligkeit 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	2	2	2	2
	2050	2	2	2	2
	2100	2	1	1	2
Kostenintensität 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	3	3	3	3
	2050	3	3	3	3
	2100	2	2	2	2
Grundwasserbildung [mm/a]	2020	136,52	173,32	174,79	177,82
	2050	169,62	203,67	203,05	211,70
	2100	160,99	175,66	159,67	199,64

Tab. A23: Indikatoren *Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung, Biodiversität, Schadanfälligkeit, Kostenintensität* und *Grundwasserneubildung* für das Produktionsprogramm *BAh-Es* auf *trockener Parabraunerde* im Klimaraum *Abetzberg*.

Indikatoren	Periode	<i>baseline</i>	Klimaszenario <i>CC-A1B</i>	Klimaszenario <i>CC-A2</i>	Klimaszenario <i>CC-B1</i>
Produktivität [m <sup>3</sup> /ha/a]	2020	5,01	2,46	2,42	2,07
	2050	7,82	4,66	5,14	4,84
	2100	5,19	3,48	4,00	2,80
Vorrat [m <sup>3</sup> /ha]	2020	19,53	9,51	9,28	7,35
	2050	97,33	57,85	60,72	55,98
	2100	165,03	82,68	92,45	104,57
Kohlenstoffspeicher [tC/ha]	2020	123,33	110,14	110,40	104,42
	2050	149,71	129,88	131,42	126,76
	2100	162,40	123,45	127,99	133,35
Baumarteneignung ≤ 0,25: <i>gering</i> 0,25 < x < 0,75: <i>mittel</i> ≥ 0,75: <i>gut</i>	2020	0,77	0,37	0,50	0,56
	2050	0,68	0,50	0,50	0,52
	2100	0,73	0,21	0,25	0,33
Biodiversität 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	2	2	2	2
	2050	2	2	2	2
	2100	2	2	2	2
Schadanfälligkeit 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	2	2	2	2
	2050	1	1	1	1
	2100	1	1	1	1
Kostenintensität 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	2	2	2	2
	2050	3	3	3	3
	2100	2	2	2	2
Grundwasserbildung [mm/a]	2020	291,97	327,63	343,96	337,33
	2050	307,07	341,78	344,85	364,44
	2100	302,33	319,97	299,94	352,22

Tab. A24: Indikatoren *Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung, Biodiversität, Schadanfälligkeit, Kostenintensität* und *Grundwasserneubildung* für das Produktionsprogramm *BAh-Es* auf *trockener Parabraunerde* im Klimaraum *Hametholz*.

Indikatoren	Periode	<i>baseline</i>	Klimaszenario <i>CC-A1B</i>	Klimaszenario <i>CC-A2</i>	Klimaszenario <i>CC-B1</i>
Produktivität [m³/ha/a]	2020	3,11	0,92	1,25	1,13
	2050	5,47	2,45	3,26	2,85
	2100	3,75	2,67	3,61	1,76
Vorrat [m³/ha]	2020	11,88	3,71	4,62	3,80
	2050	66,35	29,12	36,15	32,28
	2100	119,76	38,12	53,76	66,57
Kohlenstoffspeicher [tC/ha]	2020	114,09	99,25	102,35	98,17
	2050	135,33	108,49	114,84	110,73
	2100	143,19	96,90	105,79	112,67
Baumarteneignung ≤ 0,25: <i>gering</i> 0,25 < x < 0,75: <i>mittel</i> ≥ 0,75: <i>gut</i>	2020	0,61	0,30	0,40	0,42
	2050	0,61	0,34	0,41	0,41
	2100	0,64	0,12	0,18	0,26
Biodiversität 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	2	2	2	2
	2050	2	2	2	2
	2100	2	2	2	2
Schadanfälligkeit 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	2	1	1	1
	2050	1	1	1	1
	2100	1	1	1	1
Kostenintensität 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	2	2	2	2
	2050	3	3	3	3
	2100	2	2	2	2
Grundwasserbildung [mm/a]	2020	169,58	203,24	212,07	208,48
	2050	202,70	241,28	239,52	248,30
	2100	191,45	215,14	197,61	238,25



Tab. A25: Indikatoren *Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung, Biodiversität, Schadanfälligkeit, Kostenintensität* und *Grundwasserneubildung* für das Produktionsprogramm *BAh-Es* auf *frischer Parabraunerde* im Klimaraum *Abetzberg*.

Indikatoren	Periode	<i>baseline</i>	Klimaszenario <i>CC-A1B</i>	Klimaszenario <i>CC-A2</i>	Klimaszenario <i>CC-B1</i>
Produktivität [m <sup>3</sup> /ha/a]	2020	5,41	3,55	3,79	3,07
	2050	8,57	6,56	7,42	6,67
	2100	5,69	4,96	5,91	3,72
Vorrat [m <sup>3</sup> /ha]	2020	21,36	13,58	14,29	11,02
	2050	105,55	80,95	89,59	79,28
	2100	184,86	115,04	137,67	135,06
Kohlenstoffspeicher [tC/ha]	2020	125,28	115,39	115,98	109,89
	2050	153,14	140,65	144,70	140,64
	2100	170,31	139,00	148,45	149,86
Baumarteneignung ≤ 0,25: <i>gering</i> 0,25 < x < 0,75: <i>mittel</i> ≥ 0,75: <i>gut</i>	2020	0,81	0,52	0,71	0,69
	2050	0,81	0,59	0,56	0,60
	2100	0,83	0,34	0,37	0,45
Biodiversität 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	2	2	2	2
	2050	2	2	2	2
	2100	2	2	2	2
Schadanfälligkeit 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	2	2	2	2
	2050	1	1	1	1
	2100	1	1	1	1
Kostenintensität 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	2	2	2	2
	2050	3	3	3	3
	2100	2	2	2	2
Grundwasserbildung [mm/a]	2020	268,58	303,69	308,88	304,00
	2050	289,78	312,08	314,78	334,19
	2100	278,33	285,04	268,48	319,30

Tab. A26: Indikatoren *Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung, Biodiversität, Schadanfälligkeit, Kostenintensität* und *Grundwasserneubildung* für das Produktionsprogramm *BAh-Es* auf *frischer Parabraunerde* im Klimaraum *Hametholz*.

Indikatoren	Periode	<i>baseline</i>	Klimaszenario <i>CC-A1B</i>	Klimaszenario <i>CC-A2</i>	Klimaszenario <i>CC-B1</i>
Produktivität [m <sup>3</sup> /ha/a]	2020	4,86	1,78	2,55	2,02
	2050	7,59	4,49	5,53	4,68
	2100	4,91	3,07	3,80	2,99
Vorrat [m <sup>3</sup> /ha]	2020	18,77	7,13	9,48	6,99
	2050	94,93	51,75	65,78	55,56
	2100	162,13	74,19	89,04	106,05
Kohlenstoffspeicher [tC/ha]	2020	122,33	106,10	110,04	104,25
	2050	149,05	124,44	134,31	127,11
	2100	161,15	117,97	125,84	134,99
Baumarteneignung ≤ 0,25: <i>gering</i> 0,25 < x < 0,75: <i>mittel</i> ≥ 0,75: <i>gut</i>	2020	0,68	0,39	0,58	0,51
	2050	0,64	0,35	0,52	0,45
	2100	0,75	0,23	0,27	0,33
Biodiversität 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	2	2	2	2
	2050	2	2	2	2
	2100	2	2	2	2
Schadanfälligkeit 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	2	1	1	1
	2050	1	1	1	1
	2100	1	1	1	1
Kostenintensität 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	2	2	2	2
	2050	3	3	3	3
	2100	2	2	2	2
Grundwasserbildung [mm/a]	2020	134,90	175,10	177,81	174,62
	2050	173,88	206,79	205,95	214,83
	2100	163,21	182,13	161,09	202,82

Tab. A27: Indikatoren *Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung, Biodiversität, Schadanfälligkeit, Kostenintensität* und *Grundwasserneubildung* für das Produktionsprogramm *StEi-Hbu* auf *trockenem Pseudogley* im Klimaraum *Abetzberg*.

Indikatoren	Periode	<i>baseline</i>	Klimaszenario <i>CC-A1B</i>	Klimaszenario <i>CC-A2</i>	Klimaszenario <i>CC-B1</i>
Produktivität [m <sup>3</sup> /ha/a]	2020	7,19	6,60	6,55	6,53
	2050	6,94	6,13	6,21	6,39
	2100	6,54	4,76	4,74	5,98
Vorrat [m <sup>3</sup> /ha]	2020	49,85	45,23	43,64	40,74
	2050	94,41	82,66	82,85	81,72
	2100	208,56	166,90	171,57	193,02
Kohlenstoffspeicher [tC/ha]	2020	162,99	160,91	160,26	156,09
	2050	183,40	177,73	178,62	177,77
	2100	220,82	204,35	206,42	217,10
Baumarteneignung ≤ 0,25: <i>gering</i> 0,25 < x < 0,75: <i>mittel</i> ≥ 0,75: <i>gut</i>	2020	0,75	0,51	0,73	0,68
	2050	0,72	0,66	0,72	0,64
	2100	0,79	0,45	0,48	0,57
Biodiversität 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	2	2	2	2
	2050	2	2	2	2
	2100	2	2	2	2
Schadanfälligkeit 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	2	2	2	2
	2050	2	1	1	2
	2100	1	1	1	1
Kostenintensität 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	2	2	2	2
	2050	3	3	3	3
	2100	3	3	3	3
Grundwasserbildung [mm/a]	2020	293,53	324,51	339,75	338,10
	2050	314,32	339,68	345,15	357,87
	2100	303,77	318,49	301,53	348,33

Tab. A28: Indikatoren *Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung, Biodiversität, Schadanfälligkeit, Kostenintensität* und *Grundwasserneubildung* für das Produktionsprogramm *StEi-Hbu* auf *trockenem Pseudogley* im Klimaraum *Hametholz*.

Indikatoren	Periode	<i>baseline</i>	Klimaszenario <i>CC-A1B</i>	Klimaszenario <i>CC-A2</i>	Klimaszenario <i>CC-B1</i>
Produktivität [m <sup>3</sup> /ha/a]	2020	6,88	5,46	5,90	5,51
	2050	6,11	5,25	5,54	5,34
	2100	5,91	3,99	4,03	5,18
Vorrat [m <sup>3</sup> /ha]	2020	47,46	34,07	36,76	31,69
	2050	83,87	68,43	73,32	67,97
	2100	186,65	131,80	140,20	162,72
Kohlenstoffspeicher [tC/ha]	2020	162,09	152,80	155,52	149,38
	2050	178,90	176,85	180,78	175,06
	2100	212,48	199,70	201,41	206,23
Baumarteneignung ≤ 0,25: <i>gering</i> 0,25 < x < 0,75: <i>mittel</i> ≥ 0,75: <i>gut</i>	2020	0,68	0,47	0,59	0,59
	2050	0,71	0,56	0,63	0,57
	2100	0,76	0,34	0,39	0,49
Biodiversität 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	2	2	2	2
	2050	2	2	2	2
	2100	2	2	2	2
Schadanfälligkeit 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	2	1	2	2
	2050	2	1	1	1
	2100	1	1	1	1
Kostenintensität 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	2	2	2	2
	2050	3	3	3	3
	2100	3	3	3	3
Grundwasserbildung [mm/a]	2020	169,48	203,47	208,30	207,61
	2050	201,53	241,17	241,17	248,37
	2100	191,78	212,79	194,53	229,60

Tab. A29: Indikatoren *Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung, Biodiversität, Schadanfälligkeit, Kostenintensität* und *Grundwasserneubildung* für das Produktionsprogramm *StEi-Hbu* auf *frischem Pseudogley* im Klimaraum *Abetzberg*.

Indikatoren	Periode	<i>baseline</i>	Klimaszenario <i>CC-A1B</i>	Klimaszenario <i>CC-A2</i>	Klimaszenario <i>CC-B1</i>
Produktivität [m <sup>3</sup> /ha/a]	2020	7,42	6,92	7,14	7,19
	2050	7,34	6,74	7,36	6,93
	2100	6,91	6,00	5,78	6,70
Vorrat [m <sup>3</sup> /ha]	2020	51,08	48,82	47,32	47,59
	2050	99,81	87,28	95,95	90,17
	2100	226,65	196,80	204,39	217,80
Kohlenstoffspeicher [tC/ha]	2020	163,75	163,38	162,02	161,30
	2050	185,22	182,05	185,87	182,42
	2100	225,25	220,70	221,21	226,00
Baumarteneignung ≤ 0,25: <i>gering</i> 0,25 < x < 0,75: <i>mittel</i> ≥ 0,75: <i>gut</i>	2020	0,77	0,63	0,79	0,75
	2050	0,75	0,74	0,77	0,68
	2100	0,81	0,54	0,58	0,63
Biodiversität 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	2	2	2	2
	2050	2	2	2	2
	2100	2	2	2	2
Schadanfälligkeit 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	2	2	2	2
	2050	1	2	1	2
	2100	1	1	1	1
Kostenintensität 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	2	2	2	2
	2050	3	3	3	3
	2100	3	3	3	3
Grundwasserbildung [mm/a]	2020	268,57	302,18	307,68	303,56
	2050	286,58	313,03	309,10	332,86
	2100	277,64	283,15	265,60	319,33

Tab. A30: Indikatoren *Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung, Biodiversität, Schadanfälligkeit, Kostenintensität* und *Grundwasserneubildung* für das Produktionsprogramm *StEi-Hbu* auf *frischem Pseudogley* im Klimaraum *Hametholz*.

Indikatoren	Periode	<i>baseline</i>	Klimaszenario <i>CC-A1B</i>	Klimaszenario <i>CC-A2</i>	Klimaszenario <i>CC-B1</i>
Produktivität [m <sup>3</sup> /ha/a]	2020	7,21	6,31	6,70	6,39
	2050	6,75	5,99	6,25	6,02
	2100	6,76	4,89	4,83	5,77
Vorrat [m <sup>3</sup> /ha]	2020	50,84	43,29	44,08	40,46
	2050	91,48	79,73	83,29	77,67
	2100	215,64	166,25	171,57	181,11
Kohlenstoffspeicher [tC/ha]	2020	164,16	159,97	160,75	156,55
	2050	183,02	176,56	179,77	181,76
	2100	225,48	206,40	208,80	213,38
Baumarteneignung ≤ 0,25: <i>gering</i> 0,25 < x < 0,75: <i>mittel</i> ≥ 0,75: <i>gut</i>	2020	0,75	0,55	0,69	0,67
	2050	0,71	0,62	0,70	0,62
	2100	0,78	0,44	0,48	0,58
Biodiversität 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	2	2	2	2
	2050	2	2	2	2
	2100	2	2	2	2
Schadanfälligkeit 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	2	2	2	2
	2050	2	1	1	1
	2100	1	1	1	1
Kostenintensität 1= <i>gering</i> 2= <i>mittel</i> 3= <i>hoch</i>	2020	2	2	2	2
	2050	3	3	3	3
	2100	3	3	3	3
Grundwasserbildung [mm/a]	2020	132,75	172,52	175,18	175,75
	2050	174,37	209,42	207,29	217,52
	2100	160,07	174,44	161,16	201,68

Tab. A31: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicherung*, *Baumarteneignung* und *Grundwasserneubildung* des Produktionsprogramms *Fi-BAU* auf trockener *Parabraunerde* im Klimaraum *Abetzberg*.

Indikatoren	Periode	Änderung [%]
Produktivität	2020	-72
	2050	-50
	2100	-83
Vorrat	2020	-76
	2050	-58
	2100	-81
Kohlenstoffspeicher	2020	-19
	2050	-30
	2100	-54
Baumarteneignung	2020	-46
	2050	-25
	2100	-77
Grundwasserbildung	2020	14
	2050	11
	2100	6

Tab. A32: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicherung*, *Baumarteneignung* und *Grundwasserneubildung* des Produktionsprogramms *Fi-BAU* auf *trockener Parabraunerde* im Klimaraum *Hametholz*.

Indikatoren	Periode	Änderung [%]
Produktivität	2020	-81
	2050	-59
	2100	-95
Vorrat	2020	-82
	2050	-65
	2100	-92
Kohlenstoffspeicher	2020	-14
	2050	-30
	2100	-60
Baumarteneignung	2020	-45
	2050	-53
	2100	-83
Grundwasserbildung	2020	24
	2050	18
	2100	13



Tab. A33: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicherung*, *Baumarteneignung* und *Grundwasserneubildung* des Produktionsprogramms *Fi-BAU* auf *frischer Parabraunerde* im Klimaraum *Abetzberg*.

Indikatoren	Periode	Änderung [%]
Produktivität	2020	-55
	2050	-39
	2100	-75
Vorrat	2020	-60
	2050	-46
	2100	-72
Kohlenstoffspeicher	2020	-15
	2050	-23
	2100	-48
Baumarteneignung	2020	-29
	2050	-31
	2100	-65
Grundwasserbildung	2020	13
	2050	8
	2100	2

Tab. A34: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicherung*, *Baumarteneignung* und *Grundwasserneubildung* des Produktionsprogramms *Fi-BAU* auf *frischer Parabraunerde* im Klimaraum *Hametholz*.

Indikatoren	Periode	Änderung [%]
Produktivität	2020	-77
	2050	-48
	2100	-86
Vorrat	2020	-81
	2050	-57
	2100	-84
Kohlenstoffspeicher	2020	-19
	2050	-30
	2100	-57
Baumarteneignung	2020	-39
	2050	-49
	2100	-78
Grundwasserbildung	2020	28
	2050	18
	2100	8

Tab. A35: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicherung*, *Baumarteneignung* und *Grundwasserneubildung* des Produktionsprogramms *Fi-BAU* auf trockenem *Pseudogley* im Klimaraum *Abetzberg*.

Indikatoren	Periode	Änderung [%]
Produktivität	2020	-72
	2050	-53
	2100	-83
Vorrat	2020	-76
	2050	-60
	2100	-82
Kohlenstoffspeicher	2020	-16
	2050	-29
	2100	-49
Baumarteneignung	2020	-46
	2050	-22
	2100	-75
Grundwasserbildung	2020	14
	2050	11
	2100	6

Tab. A36: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicherung*, *Baumarteneignung* und *Grundwasserneubildung* des Produktionsprogramms *Fi-BAU* auf trockenem *Pseudogley* im Klimaraum *Hametholz*.

Indikatoren	Periode	Änderung [%]
Produktivität	2020	-82
	2050	-59
	2100	-97
Vorrat	2020	-83
	2050	-65
	2100	-92
Kohlenstoffspeicher	2020	-12
	2050	-27
	2100	-53
Baumarteneignung	2020	-44
	2050	-47
	2100	-81
Grundwasserbildung	2020	22
	2050	19
	2100	14

Tab. A37: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicherung*, *Baumarteneignung* und *Grundwasserneubildung* des Produktionsprogramms *Fi-BAU* auf *frischem Pseudogley* im Klimaraum *Abetzberg*.

Indikatoren	Periode	Änderung [%]
Produktivität	2020	-53
	2050	-40
	2100	-75
Vorrat	2020	-60
	2050	-48
	2100	-72
Kohlenstoffspeicher	2020	-12
	2050	-22
	2100	-43
Baumarteneignung	2020	-25
	2050	-27
	2100	-61
Grundwasserbildung	2020	13
	2050	8
	2100	2

Tab. A38: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicherung*, *Baumarteneignung* und *Grundwasserneubildung* des Produktionsprogramms *Fi-BAU* auf *frischem Pseudogley* im Klimaraum *Hametholz*.

Indikatoren	Periode	Änderung [%]
Produktivität	2020	-77
	2050	-49
	2100	-87
Vorrat	2020	-81
	2050	-58
	2100	-84
Kohlenstoffspeicher	2020	-16
	2050	-27
	2100	-51
Baumarteneignung	2020	-37
	2050	-45
	2100	-73
Grundwasserbildung	2020	28
	2050	20
	2100	9

Tab. A39: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicherung*, *Baumarteneignung* und *Grundwasserneubildung* des Produktionsprogramms *Lä-Bu* auf *trockener Parabraunerde* im Klimaraum *Abetzberg*.

Indikatoren	Periode	Änderung [%]
Produktivität	2020	-44
	2050	-38
	2100	18
Vorrat	2020	-47
	2050	-40
	2100	-63
Kohlenstoffspeicher	2020	-11
	2050	-17
	2100	-35
Baumarteneignung	2020	-47
	2050	-22
	2100	-70
Grundwasserbildung	2020	13
	2050	14
	2100	6

Tab. A40: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung* und *Grundwasserneubildung* des Produktionsprogramms *Lä-Bu* auf *trockener Parabraunerde* im Klimaraum *Hametholz*.

Indikatoren	Periode	Änderung [%]
Produktivität	2020	-57
	2050	-45
	2100	-5
Vorrat	2020	-61
	2050	-48
	2100	-68
Kohlenstoffspeicher	2020	-14
	2050	-19
	2100	-34
Baumarteneignung	2020	-48
	2050	-39
	2100	-77
Grundwasserbildung	2020	24
	2050	21
	2100	12



Tab. A41: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung* und *Grundwasserneubildung* des Produktionsprogramms *Lä-Bu* auf *frischer Parabraunerde* im Klimaraum *Abetzberg*.

Indikatoren	Periode	Änderung [%]
Produktivität	2020	-32
	2050	-24
	2100	-50
Vorrat	2020	-36
	2050	-28
	2100	-38
Kohlenstoffspeicher	2020	-8
	2050	-13
	2100	-23
Baumarteneignung	2020	-31
	2050	-21
	2100	-56
Grundwasserbildung	2020	14
	2050	8
	2100	2

Tab. A42: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicherung*, *Baumarteneignung* und *Grundwasserneubildung* des Produktionsprogramms *Lä-Bu* auf *frischer Parabraunerde* im Klimaraum *Hametholz*.

Indikatoren	Periode	Änderung [%]
Produktivität	2020	-44
	2050	-35
	2100	20
Vorrat	2020	-47
	2050	-38
	2100	-61
Kohlenstoffspeicher	2020	-10
	2050	-15
	2100	-33
Baumarteneignung	2020	-38
	2050	-35
	2100	-65
Grundwasserbildung	2020	27
	2050	20
	2100	9

Tab. A43: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicherung*, *Baumarteneignung* und *Grundwasserneubildung* des Produktionsprogramms *BAh-Es* auf *trockener Parabraunerde* im Klimaraum *Abetzberg*.

Indikatoren	Periode	Änderung [%]
Produktivität	2020	-51
	2050	-40
	2100	-33
Vorrat	2020	-51
	2050	-41
	2100	-50
Kohlenstoffspeicher	2020	-11
	2050	-13
	2100	-24
Baumarteneignung	2020	-52
	2050	-26
	2100	-71
Grundwasserbildung	2020	12
	2050	11
	2100	6

Tab. A44: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicherung*, *Baumarteneignung* und *Grundwasserneubildung* des Produktionsprogramms *BAh-Es* auf *trockener Parabraunerde* im Klimaraum *Hametholz*.

Indikatoren	Periode	Änderung [%]
Produktivität	2020	-70
	2050	-55
	2100	-29
Vorrat	2020	-69
	2050	-56
	2100	-68
Kohlenstoffspeicher	2020	-13
	2050	-20
	2100	-32
Baumarteneignung	2020	-50
	2050	-44
	2100	-81
Grundwasserbildung	2020	20
	2050	19
	2100	12

Tab. A45: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicherung*, *Baumarteneignung* und *Grundwasserneubildung* des Produktionsprogramms *BAh-Es* auf *frischer Parabraunerde* im Klimaraum *Abetzberg*.

Indikatoren	Periode	Änderung [%]
Produktivität	2020	-34
	2050	-23
	2100	-13
Vorrat	2020	-36
	2050	-23
	2100	-38
Kohlenstoffspeicher	2020	-8
	2050	-8
	2100	-18
Baumarteneignung	2020	-36
	2050	-27
	2100	-59
Grundwasserbildung	2020	13
	2050	8
	2100	2

Tab. A46: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung* und *Grundwasserneubildung* des Produktionsprogramms *BAh-Es* auf *frischer Parabraunerde* im Klimaraum *Hametholz*.

Indikatoren	Periode	Änderung [%]
Produktivität	2020	-63
	2050	-41
	2100	-38
Vorrat	2020	-62
	2050	-45
	2100	-54
Kohlenstoffspeicher	2020	-13
	2050	-17
	2100	-27
Baumarteneignung	2020	-42
	2050	-46
	2100	-69
Grundwasserbildung	2020	30
	2050	19
	2100	12

Tab. A47: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicherung*, *Baumarteneignung* und *Grundwasserneubildung* des Produktionsprogramms *StEi-Hbu* auf *trockenem Pseudogley* im Klimaraum *Abetzberg*.

Indikatoren	Periode	Änderung [%]
Produktivität	2020	-8
	2050	-12
	2100	-27
Vorrat	2020	-9
	2050	-12
	2100	-20
Kohlenstoffspeicher	2020	-1
	2050	-3
	2100	-7
Baumarteneignung	2020	-32
	2050	-8
	2100	-43
Grundwasserbildung	2020	11
	2050	8
	2100	5

Tab. A48: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Produktivität, Vorrat, Kohlenstoffspeicherung, Baumarteneignung* und *Grundwasserneubildung* des Produktionsprogramms *StEi-Hbu* auf *trockenem Pseudogley* im Klimaraum *Hametholz*.

Indikatoren	Periode	Änderung [%]
Produktivität	2020	-21
	2050	-14
	2100	-32
Vorrat	2020	-28
	2050	-18
	2100	-29
Kohlenstoffspeicher	2020	-6
	2050	-1
	2100	-6
Baumarteneignung	2020	-31
	2050	-21
	2100	-55
Grundwasserbildung	2020	20
	2050	20
	2100	11



Tab. A49: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicherung*, *Baumarteneignung* und *Grundwasserneubildung* des Produktionsprogramms *StEi-Hbu* auf *frischem Pseudogley* im Klimaraum *Abetzberg*.

Indikatoren	Periode	Änderung [%]
Produktivität	2020	-7
	2050	-8
	2100	-13
Vorrat	2020	-4
	2050	-13
	2100	-13
Kohlenstoffspeicher	2020	0
	2050	-2
	2100	-2
Baumarteneignung	2020	-18
	2050	-1
	2100	-34
Grundwasserbildung	2020	13
	2050	9
	2100	2

Tab. A50: Auswirkungen des Klimaänderungsszenarios *CC-A1B* relativ zum heutigen Klima für die Indikatoren *Produktivität*, *Vorrat*, *Kohlenstoffspeicherung*, *Baumarteneignung* und *Grundwasserneubildung* des Produktionsprogramms *StEi-Hbu* auf *frischem Pseudogley* im Klimaraum *Hametholz*.

Indikatoren	Periode	Änderung [%]
Produktivität	2020	-13
	2050	-11
	2100	-28
Vorrat	2020	-15
	2050	-13
	2100	-23
Kohlenstoffspeicher	2020	-3
	2050	-4
	2100	-8
Baumarteneignung	2020	-27
	2050	-13
	2100	-43
Grundwasserbildung	2020	30
	2050	20
	2100	9