

S O C I A L E C O L O G Y W O R K I N G P A P E R 1 0 6

**Veronika Gaube • Christina Kaiser • Martin Wildenberg •  
Heidi Adensam • Peter Fleissner • Johannes Kobler • Julia Lutz •  
Barbara Smetschka • Angelika Wolf • Andreas Richter • Helmut Haberl**

**Ein integriertes Modell für Reichraming  
Partizipative Entwicklung von Szenarien für die  
Gemeinde Reichraming (Eisenwurzen) mit Hilfe eines  
agentenbasierten Landnutzungsmodells**

Veronika Gaube, Christina Kaiser, Martin Wildenberg,  
Heidi Adensam, Peter Fleissner, Johannes Kobler, Julia Lutz, Barbara Smetschka,  
Angelika Wolf, Andreas Richter, Helmut Haberl , 2008:

Ein integriertes Modell für Reichraming  
Partizipative Entwicklung von Szenarien für die Gemeinde Reichraming  
(Eisenwurzen) mit Hilfe eines agentenbasierten Landnutzungsmodells

Social Ecology Working Paper 106, Vienna

Social Ecology Working Paper 106  
Vienna, November 2008

ISSN 1726-3816

Institute of Social Ecology  
IFF - Faculty for Interdisciplinary Studies (Klagenfurt, Graz, Vienna)  
Klagenfurt University  
Schottenfeldgasse 29  
A-1070 Vienna  
+43-(0)1-522 40 00-403  
[www.uni-klu.ac.at/socec](http://www.uni-klu.ac.at/socec)  
[iff.socec@uni-klu.ac.at](mailto:iff.socec@uni-klu.ac.at)

© 2008 by IFF – Social Ecology

## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	1
Abbildungsverzeichnis.....	2
Tabellenverzeichnis.....	3
Einleitung.....	4
Forschungshintergrund.....	4
Methode.....	6
Mathematische Simulationsmodelle.....	6
Das Gesamtkonzept des integrierten Rechraming Modell SERD.....	11
Das Akteursmodell.....	12
Die Abbildung von Handeln bzw. Verhalten in agentenbasierten Modellen.....	12
Partizipative Modellierung.....	14
Das Agenten-basierte Modul des Modells SERD.....	17
Stoffflussmodell.....	36
Modellebenen.....	39
Modellierung der C und N Flüsse für Wald- und Grünlandflächen.....	44
Modellierung der C und N Flüsse in der Grünlandwirtschaft.....	54
Modellierung der C- und N-Flüsse in der Forstwirtschaft.....	69
Modellierung C und N Flüsse von Haushalten und Betrieben.....	74
Treibhausgasemissionen.....	76
C- und N-Bilanz der Gemeinde.....	78
Technische Umsetzung.....	79
Schnittstellen zwischen Modellmodulen.....	80
Übersetzungstabelle GIS → Modell:.....	80
Übersetzungstabelle Modell → GIS:.....	81
Interaktive Oberfläche.....	83
Elemente der Oberfläche.....	83
Szenarien.....	88
Ergebnisse und Diskussion.....	91
Sozio-ökonomische Strukturveränderungen.....	91
Landnutzung.....	95
Stoffflüsse.....	98
Schlussfolgerungen.....	105
Literaturliste.....	107
Anhang A - Beschreibung der Output-Tabellen.....	111

## Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1. DER VERÄNDERUNGSZYKLUS.....	7
ABBILDUNG 2. GRUNDSTRUKTUR VON SYSTEMDYNAMIK-MODELLEN.....	10
ABBILDUNG 3. GESAMTKONZEPT DES INTEGRIERTEN MODELLS SERD.....	12
ABBILDUNG 4. EINSATZ VON (AGENTENBASIERTEN) MODELLEN IN EINEM STAKEHOLDER-PROZESS.....	15
ABBILDUNG 5. ZUSTANDSDIAGRAMM LANDWIRTSCHAFTLICHER HAUSHALT.....	23
ABBILDUNG 6. STATECHART GEMEINDE.....	27
ABBILDUNG 7: KONZEPTUELLER AUFBAU DES MODELS. ....	32
ABBILDUNG 8. MODELLEBENEN DES STOFFFLUSSMODELLS. ....	40
ABBILDUNG 9. STICKSTOFF INPUTS UND OUTPUTS EINER GRÜNLANDFLÄCHE. ....	53
ABBILDUNG 10. MODELLKONZEPT LANDWIRTSCHAFTLICHER C UND N KREISLAUF.....	61
ABBILDUNG 11. GIS SCHNITTSTELLE: ZUORDNUNG VON RÄUMLICHEN EINHEITEN IM GIS ZU BERECHNUNGSEINHEITEN IM MODELL.....	83
ABBILDUNG 12. HAUPTDISPLAY MIT DEN REGLERN „EXTERNE VERÄNDERUNGEN“ UND „INTERNE VERÄNDERUNGEN“ UND JEWEILS ZWEI GRAPHEN PRO THEMENBEREICH.....	87
ABBILDUNG 13. DISPLAYS ZU DEN THEMENBEREICHEN (A) LANDWIRTSCHAFT, (B) STOFFFLUSS & ÖKOLOGIE, (C) GEMEINDE, (D) REFERENZVERGLEICH.....	88
ABBILDUNG 14: TRENDENTWICKLUNG (A) DER ANZAHL DER HAUSHALTE IN REICHRAMING UND (B) DES GEMEINDEBUDGETS IN DEN SZENARIEN REF, TREND, GLOB, LOC, LQ+ UND LQ <sup>-</sup> .....	92
ABBILDUNG 15: TRENDENTWICKLUNG DES ANTEILS DER PENDLER AN DER GESAMTEN WOHNBEVÖLKERUNG DER GEMEINDE REICHRAMING IN DEN SZENARIEN REF, TREND, GLOB, LOC, LQ+ UND LQ <sup>-</sup> .....	92
ABBILDUNG 16: TRENDENTWICKLUNG (A) DER ANZAHL DER LANDWIRTSCHAFTLICHEN BETRIEBE UND (B) DER DURCHSCHNITTLICHEN GRÖÖE (IN HA) DER BETRIEBE IN DER GEMEINDE REICHRAMING IN DEN SZENARIEN REF, TREND, GLOB, LOC, LQ+ UND LQ <sup>-</sup> .....	94
ABBILDUNG 17: TRENDENTWICKLUNG (A) DER ANZAHL DER ALTERNATIVEN LANDWIRTSCHAFTLICHEN BETRIEBE (MIT PFERD- SCHAF- UND WILDTIERHALTUNG) UND (B) DER BIOBAUERN IN DER GEMEINDE REICHRAMING IN DEN SZENARIEN REF, TREND, GLOB, LOC, LQ+ UND LQ <sup>-</sup> .....	94
ABBILDUNG 18: TRENDENTWICKLUNG (A) DER LANDWIRTSCHAFTLICHEN ARBEITSSTUNDEN PRO LANDWIRTSCHAFTLICHER ARBEITSKRAFT PRO JAHR UND (B) DES LANDWIRTSCHAFTLICHEN EINKOMMENS PRO LANDWIRTSCHAFTLICHER ARBEITSKRAFT PRO JAHR IN DEN SZENARIEN REF, TREND, GLOB, LOC, LQ+ UND LQ <sup>-</sup> IN STUNDEN.....	95
ABBILDUNG 19: (A) VERTEILUNG DER FLÄCHENKATEGORIEN WALD UND GRÜNLAND IM JAHR 2036 UND (B) ENTWICKLUNG DER GRÜNLANDFLÄCHE IN DEN SZENARIEN REF, TREND, GLOB, LOC, LQ+ UND LQ <sup>-</sup> ..	96
ABBILDUNG 20: (A) TREIBHAUSGASBILANZ (ALLE NATURRÄUMLICH UND ANTROPOGEN VERURSACHTEN CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O UND CH <sub>4</sub> -FLÜSSE DARGESTELLT ALS CO <sub>2</sub> -ÄQUIVALENTE; NEGATIVE WERTE BEDEUTEN NETTO-CO <sub>2</sub> - AUFNAHME, POSITIVE WERTE BEDEUTEN NETTO TREIBHAUSGASEMISSIONEN) UND (B) N-VERLUSTE ( N <sub>2</sub> O, NH <sub>3</sub> UND NO <sub>3</sub> ) FÜR WÄLDER UND GRÜNLANDFLÄCHEN ÜBER 30 JAHRE MODELLSIMULATION (2008-2037) AUFSUMMIERT FÜR DIE SZENARIEN TREND, GLOB, LOC, LQ+ UND LQ <sup>-</sup> .....	99
ABBILDUNG 21: TREIBHAUSGASEMISSIONEN UND N-VERLUSTE PRO HEKTAR GRÜNLAND VERURSACHT DURCH GRÜNLANDBEWIRTSCHAFTUNG (INKLUDIERT ALLE VERLUSTE UND EMISSIONEN IM BEREICH DES LANDWIRTSCHAFTLICHEN BETRIEBES) IN DEN JAHREN 2008-2037 IN DEN SZENARIEN TREND, GLOB, LOC, LQ+ UND LQ <sup>-</sup> .....	101
ABBILDUNG 22: TREIBHAUSGASEMISSIONEN VERURSACHT DURCH LANDWIRTSCHAFTLICHE BETRIEBE, HAUSHALTE UND SONSTIGE BETRIEBEN IM ZEITRAUM 2008-2037 FÜR DIE SZENARIEN TREND, GLOB, LOC, LQ+ UND LQ <sup>-</sup> .....	102
ABBILDUNG 23: DURCHSCHNITTLICH GESPEICHERTER C PRO HA GRÜNLANDFLÄCHE BZW. WALDFLÄCHE (BEWIRTSCHAFTET: ÖBF, PRIVATWALD UND KOOPERATIONSWALD; UNBEWIRTSCHAFTET: NATIONALPARK) IN DEN SZENARIEN TREND, GLOB, LOC, LQ+ UND LQ <sup>-</sup> .....	104

## Tabellenverzeichnis

TABELLE 1. HANDELN UND VERHALTEN ALS ERGEBNIS EINER KOMBINATION VON PERSON UND KONTEXT SOWIE VON MÖGLICHKEITS- UND PRÄFERENZSTRUKTUR.....	13
TABELLE 2. BEDINGUNGEN FÜR DEN WECHSEL ZWISCHEN VERSCHIEDENEN ZUSTÄNDEN EINES LANDWIRTSCHAFTLICHEN BETRIEBES.....	24
TABELLE 3. GEWICHTUNG DER UNTERSCHIEDLICHEN BEREICHE FÜR DIE JEWEILIGEN AGENTEN.....	32
TABELLE 4. DATENGRUNDLAGE UND VOM MODELL BERECHNETE OUTPUTWERTE DER EINZELNEN MODELLKOMPARTIMENTE.....	42
TABELLE 5. DURSCHNITTLICH FELDFALLENDER N PRO GVE UND JAHR FÜR JEDE INTENSITÄTSSTUFE.....	48
TABELLE 6. MODELLANNAHMEN ÜBER N-INPUT UND BIOMASSEENTNAHME WÄHREND BEWEIDUNG BEI DEN DREI IM MODELL VORKOMMENDEN WEIDEARTEN.....	49
TABELLE 7. PARAMETER FÜR DIE BIOME-BGC-MODELLIERUNG FÜR WIESEN.....	49
TABELLE 8. PARAMETER FÜR DIE BIOME-BGC-MODELLIERUNG FÜR WEIDEN.....	50
TABELLE 9. BEREICHE VON GVE/HA UND MILCHLEISTUNG FÜR DIE VERSCHIEDENEN IM MODELL DEFINIERTEN INTENSITÄTSSTUFEN DER DREI BETRIEBSTYPEN MILCHKUH-, MUTTERKUH- UND ALTERNATIVBETRIEB. ...	56
TABELLE 10. EINTEILUNG DER ZU EINEM BETRIEB GEHÖRENDE KULTURWEIDEN IN EXTENSIV, INTENSIV ODER NORMAL JE NACH GVE/HA UND MILCHLEISTUNG DES BETRIEBES.....	58
TABELLE 11. BERECHNUNG DES N INPUTS FÜR DIE VERSCHIEDENEN WEIDETYPEN.....	59
TABELLE 12. TREIBHAUSGAS-EMISSIONEN BEI PRODUKTION DER IM MODELL VERWENDETEN FUTTERMITTEL....	64
TABELLE 13. BERECHNETE TREIBHAUSGASEMISSIONEN FÜR ENERGIEKRAFTFUTTER UND PROTEINFUTTER.....	64
TABELLE 14. HOLZVERWERTUNGSANTEILE (%) FORSTBETRIEB STEYRTAL.....	70
TABELLE 15. EMISSIONEN DURCH FORSTWIRTSCHAFT (KG/KG HOLZ).....	71
TABELLE 16. TRANSPORTEMISSIONEN FÜR HOLZTRANSPORT MIT LKW.....	71
TABELLE 17. DURCHSCHNITTLICHE TURNOVERZEITEN FÜR KOHLENSTOFF (JAHRE).....	72
TABELLE 18. VERWENDUNG VON STAMM UND INDUSTRIEHOLZ (%).....	72
TABELLE 19. ENDENERGIEBEDARF PRO HEIZART IN REICHRAMING (1000 kWh).....	75
TABELLE 20. BETRIEBE, ANZAHL DER BESCHÄFTIGTEN UND ENERGIEEINSATZ PRO ENERGIETRÄGER (1000 kWh/a) JE BESCHÄFTIGTEN MENSCHEN.....	76
TABELLE 21. WIRKUNG DER REGLER (SLIDER), DIE INTERAKTIV AN DER MODELLOBERFLÄCHE VERSTELLBAR SIND.....	85
TABELLE 22. OUTPUT VARIABLEN GEGLIEDERT NACH DISPLAYS:.....	86
TABELLE 23. SZENARIENANNAHMEN FÜR DAS REFERENZSZENARIO UND DIE FÜNF SZENARIEN TREND, GLOB, LOC, LQ+ UND LQ-.....	90
TABELLE 24. GESAMTER, IN BODEN UND VEGETATION GESPEICHERTER KOHLENSTOFF IN GRÜNLANDFLÄCHEN, BEWIRTSCHAFTETEN WALDFLÄCHEN (ÖBF, PRIVATWALD, KOOPERATIONSWALD) UND NATIONALPARKFLÄCHEN IN REICHRAMING IM MODELLJAHR 2008 UND 2037 FÜR DIE SZENARIEN TREND, GLOB, LOC, LQ+ UND LQ- (106 KG CARBON).....	103

## **Einleitung**

### ***Forschungshintergrund***

Das oberösterreichische Ennstal südlich von Steyr, in dem die Gemeinde Reichraming liegt, ist durch mangelnde Erwerbs- und Einkommensmöglichkeiten und die damit verbundenen Probleme wie Abwanderung und Notwendigkeit des Pendelns geprägt. Die Geschichte der Eisenwurzten als vorindustrielle Eisengewinnungs- und -verarbeitungsregion wirkt aber noch insofern nach, als in der Region eine hohe Kompetenz im Umgang mit Eisen sowie eine Tradition der Arbeit im Gewerbe- und Industriesektor besteht, wobei aber die Einwohnerinnen und Einwohner von Reichraming heute vor allem in Betrieben in Steyr oder Linz Arbeitsplätze vorfinden.

Die Landwirtschaft in Reichraming, wie überhaupt in diesem Teil des Ennstales, ist auf Grund ihrer montanen Charakteristik prekär und beschränkt sich vorwiegend auf Grünlandwirtschaft. Forstwirtschaft spielt eine maßgebliche Rolle, wobei die Wälder im Reichraminger Hintergebirge überwiegend von den Österreichischen Bundesforsten bewirtschaftet werden. Der Waldanteil in der Gemeinde ist bereits jetzt sehr hoch und nimmt durch Nutzungsaufgabe von Landwirten rasch weiter zu. Nach allgemeiner Einschätzung der Expertinnen, Experten in der Region wird dieser Verwaltungsprozess auch in Zukunft weitergehen, was von der Bevölkerung als problematisch erlebt wird (Verlust von Lebensqualität und gesamtgesellschaftlicher Wertschätzung im Sinne von „Verwilderung“).

Die Einrichtung des Nationalparks Kalkalpen hat zwar eine Zunahme an Tagestourismus aus der näheren Umgebung bewirkt, bislang aber nicht in größerem Umfang zu den erhofften Einnahmen für die Region und insbesondere für die Gemeinde Reichraming geführt. Vielfach wird hierfür vor allem die mangelnde regionale Kooperation (etwa zwischen den Gemeinden) verantwortlich gemacht, die bislang den Aufbau eines attraktiven Angebots für Touristinnen, Touristen, die längere Zeit in der Region bleiben würden, verhindert habe. So fehlen Übernachtungsmöglichkeiten und attraktive gastronomische Angebote sind rar.

Große Hoffnungen setzen lokale Akteure in eine Verbesserung der Kooperation zwischen Tourismus, Landwirtschaft und dem Nationalpark. Diese, in Verbindung mit einer Offensive zum Umstieg auf biologische Landwirtschaft und lokale Direktvermarktung, sehen sie als eine Chance auf zusätzliches Einkommen für landwirtschaftliche Betriebe, das die weitere Fortsetzung des Verwaltungsprozesses stoppen oder zumindest verlangsamen könnte.

Vor dem Hintergrund der erkannten Probleme der Gemeinde Reichraming fand von 2005-2007 das Forschungsprojekt „Integrierte Modellierung von gesellschaftlichen und ökosyste-

maren Stoff- und Materialflüssen“ finanziert vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur (BMBWK) im Rahmen des Forschungsprogramms „pro Vision“, statt.

Übergeordnetes Ziel des Projektes war, ein konzeptiv völlig neues, integriertes Modell zu erstellen, das es erlaubt, die gesellschaftlichen und naturräumlichen Auswirkungen verschiedener Entwicklungsoptionen der Gemeinde Reichraming zu simulieren und gleichzeitig die ökologischen Folgen zu analysieren und abzubilden. Das Modell besteht aus einem agentenbasierten Akteursmodell, das mit einem integrierten gesellschaftlichen/wirtschaftlichen/ökologischen Stoffflussmodell gekoppelt ist. Die Dynamik des Modells ergibt sich aus Annahmen über Änderungen in den gesellschaftlich-wirtschaftlichen Rahmenbedingungen. Das Modell entstand in einem interdisziplinären Forschungsprozess und wurde in einem partizipativen Prozess in der Gemeinde entwickelt und validiert. Herausforderungen des Projektes im Bereich der Modellierung waren:

- Entwicklung eines interdisziplinären, integrierten Modells zur Simulation sozial-ökologischer Systeme. Dieses Modell bildet Handlungen von Akteuren und deren Folgen auf Stoffbestände- und -flüsse ab.
- Das Modell ist für die Simulation von Zukunftsszenarien und damit für das Aufzeigen von Entwicklungsmöglichkeiten der Gemeinde geeignet.
- Das Modell wurde in einem partizipativen Prozess entwickelt und dazu verwendet, Handlungsoptionen für lokale und regionale Akteure zu entwickeln.

Spezifische Fragestellungen, die sich aus den identifizierten Problemfeldern der Gemeinde Reichraming ergeben, können mit dem Modell simuliert werden und adressieren vor allem Praxis-Interessen:

1. Unter welchen Rahmenbedingungen (etwa lokalen und regionalen politischen Maßnahmen) ist realistischer Weise eine Eindämmung des zunehmenden Verwaltungsprozesses in der Gemeinde möglich?
2. Welche Auswirkungen haben die folgenden Optionen auf die Regionalentwicklung und welche ökologischen Folgen sind von diesen Entwicklungen zu erwarten?
  - + Verstärkter Ausbau der Kooperation zwischen Landwirtschaft, Nachbargemeinden, Nationalpark und Tourismus.
  - + Entwicklung von regionalen Strukturen zur landwirtschaftlichen Direktvermarktung und damit einhergehend eine Förderung von biologischen Landbewirtschaftungsformen.
  - + Verbesserte regionale Kooperation beim Aufbau eines regionalen Tourismuskonzeptes.

3. Welche Risiken und Chancen bringen Umweltveränderungen und gesellschaftliche Prozesse (vor allem Landnutzungsänderungen, wie etwa Verwaltung) für die nachhaltige Entwicklung der Region „Eisenwurz“.

Schwerpunkt dieses Working Papers ist vor allem die methodische Herausforderung der Modellentwicklung und seinen einzelnen Modulen. Sowohl die technische Umsetzung der Modellierung in der Modellierungssoftware AnyLogic als auch inhaltliche Entscheidungen und Annahmen sind Gegenstand des Methodik-Kapitels. Die konkrete Anwendung des Modells zur Berechnung unterschiedlicher Szenarien und die daraus gewonnenen Erkenntnisse werden im Ergebniskapitel beschrieben. Abschließend fasst das Kapitel Schlussfolgerungen die oben aufgeworfenen Fragen und ein Fazit aus dem Modellierungsprozess zusammen.

## **Methode**

### ***Mathematische Simulationsmodelle***

Innerhalb der letzten Jahrzehnte haben sich in den Naturwissenschaften mathematische Simulationsmodelle als wichtiges Erkenntnismittel in den Vordergrund geschoben. Zusätzlich zum klassischen Experiment mit der Natur stellen sie heute eine nicht mehr zu vernachlässigende Quelle für Einsichten in komplexe Zusammenhänge dar (gute Beispiele dafür sind die Klimaforschung, die Gravitationsphysik, die Genetik und das Molecular Modelling<sup>1</sup>). Dieser Entwicklung haben sich auch die Sozialwissenschaften nicht verschließen können.

Worum geht es bei der mathematischen Simulation? Aus einer Perspektive der menschlichen Praxis können Simulationsmodelle als Teil des *Veränderungszyklus* (siehe Abbildung 1: Cycle of Change) gesehen werden, der als zwei wesentliche Grundfunktionen *Widerspiegelung* und *Vergegenständlichung* enthält.

---

<sup>1</sup> Siehe etwa die Explorationsstudie „Computersimulationen in den Wissenschaften - Neue Instrumente der Wissensproduktion“ von Gabriele Gramelsberger an der FU Berlin, [http://www.sciencepolicystudies.de/dok/explorationsstudie\\_computersimulationen/Computersimulation-4.pdf](http://www.sciencepolicystudies.de/dok/explorationsstudie_computersimulationen/Computersimulation-4.pdf)

## Cycle of Change

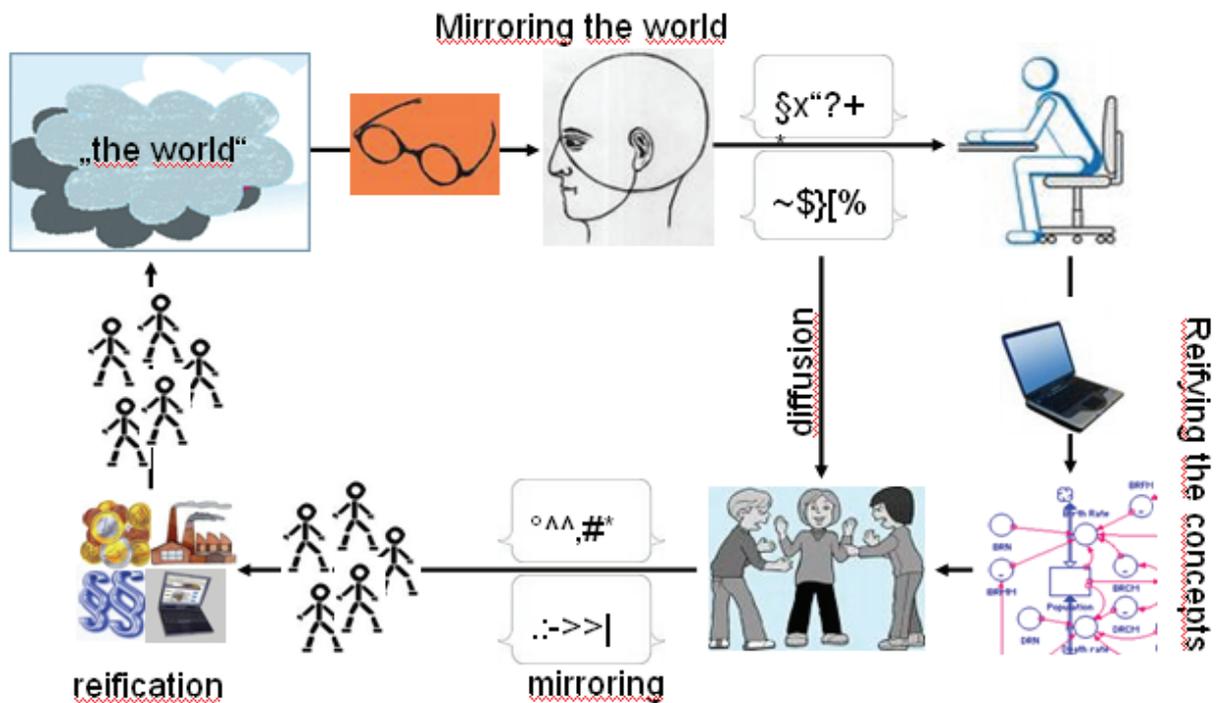


Abbildung 1. Der Veränderungszyklus

Die Menschen spiegeln ihre Umwelt zunächst geistig wider, indem sie Bilder und Zusammenhänge des Wahrgenommenen im Kopf erzeugen. Diese Widerspiegelungsprodukte sind aber nie eine rein objektive Wiedergabe der Realität (zu der es keinen direkten Zugang gibt), sondern immer gleichzeitig *Abbildung* und *Entwurf*, also menschliche Konstruktionen bestimmter Aspekte der Umwelt. In diesen Konstruktionen finden die Rahmenbedingungen der Menschen ihren Niederschlag, es gehen die bisherigen Erfahrungen der Einzelnen genauso ein wie deren Interessenslagen, Lebensbedingungen, ja vielleicht selbst die genetische Disposition. In der menschlichen Kommunikation finden diese Konstrukte des menschlichen Kopfes ihren Niederschlag, sie werden in Sprache und Gestik ausgedrückt. Durch Interaktion mit anderen Menschen oder mit der sonstigen Umwelt kann sich die Sicht der Dinge durchaus verändern. Die Konstruktionen sind daher im Zeitverlauf nicht unbedingt invariant, sondern die Sicht der Dinge kann sich verändern. Eventuell werden die Konstruktionen in Texten, Bildern oder anderen Artefakten vergegenständlicht, wodurch Momentaufnahmen der jeweiligen Interpretation der Umwelt entstehen, die möglicher Weise viele Menschen erreichen und dort neue Widerspiegelungs- und Vergegenständlichungsprozesse auslösen können. Manche dieser Prozesse führen zu *Entscheidungen*, die vermittelt über menschliche Praxis *Handlungen* auslösen, die unter Umständen die Umwelt verändern. Damit schließt sich der Kreis und der Veränderungszyklus kann von Neuem beginnen.

Mathematische Simulationsmodelle stellen im Kontext des Veränderungszyklus eine spezielle Form der Vergegenständlichung dar, indem Teile der theoretischen Widerspiegelung der Welt auf Papier oder in den Computer transferiert werden, wodurch mit den Theorien so „gearbeitet“ werden kann, als ob es „die Wirklichkeit“ selbst wäre. Von besonderer Bedeutung ist auch, dass die Modelle auf dem Computer in der Regel dynamisch sind, d.h., dass die Veränderungen der Modellkenngrößen in der Zeit beobachtet werden können, meist in anderen zeitlichen Maßeinheiten als in der Realität. So können Prozesse der Wirtschaftsentwicklung in wenigen Minuten betrachtet werden, die in der Wirklichkeit Jahrzehnte brauchen würden, aber auch molekulare Bewegungen, die sich in der Realität in Mikrosekunden abspielen, menschlichen Beobachtungsmöglichkeiten entsprechend in der Zeit gedehnt und verlangsamt werden. In manchen Fällen können die provisorischen Resultate der Simulation mit der Realität verglichen werden, sie erlauben vielleicht die Projektierung eines Experiments, in der die Umwelt gezielt manipuliert wird und die daraus entstehenden Veränderungen mehr oder weniger direkt beobachtet werden können. Diese Eingriffe in die Gesellschaft können verschiedenster Natur sein, sie können (dem Kanon der Einzelwissenschaften entsprechend) politisch, ökonomisch, ökologisch, sozial, rechtlich, künstlerisch, religiös sein und/oder physikalische, chemische, biologische, physiologische oder psychologische Aspekte beinhalten und vereinen.

Das vorliegende Forschungsprojekt hat sich mit der Gemeinde Rechraming und ihrer Umwelt einen sehr komplexen Gegenstand ausgewählt, der unter demographischen, ökonomischen, sozialen und ökologischen Gesichtspunkten betrachtet werden soll. Die Formen der Vergegenständlichung in mathematischen Modellen müssen diesem umfassenden Anspruch Rechnung tragen und dementsprechend komplex sein.

Welche Methoden der Simulation stehen derzeit zur Verfügung und nach welchen Grundzügen funktionieren sie? Die Methoden hängen natürlich immer von den entsprechenden Fragen ab, die das Simulationsmodell bearbeiten oder – im Idealfall – sogar beantworten soll. Die erste und wichtigste Entscheidung, eine Methode auszuwählen, ist, ob die Situation nur in einem einzigen Zeitpunkt oder über einen Zeitraum hinweg analysiert werden soll. In den Wirtschaftswissenschaften ist das beste Beispiel für ein statisches Modell die *Input-Output Tafel*<sup>2</sup> einer Volkswirtschaft, die eine Übersicht über die Produktion und die dazu erforderlichen Vorleistungen einerseits und gleichzeitig über die am Markt getätigten Käufe und Verkäufe an Bestandteilen der so genannten Endnachfrage (Konsum, Investitionen, Exporten und Importen) bietet, unterteilt nach mehr oder weniger zahlreichen Gütergruppen oder Wirtschaftszweigen. Mit ihrer Hilfe und mittels geeigneter mathematischer Transformationen las-

---

<sup>2</sup> [http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/volkswirtschaftliche\\_gesamtrechnungen/input-output-statistik/index.html](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/volkswirtschaftliche_gesamtrechnungen/input-output-statistik/index.html)

sen sich etwa die notwendigen Produktionsmengen bei gegebener Endnachfrage oder die mögliche Endnachfrage bei gegebener Produktion bestimmen.

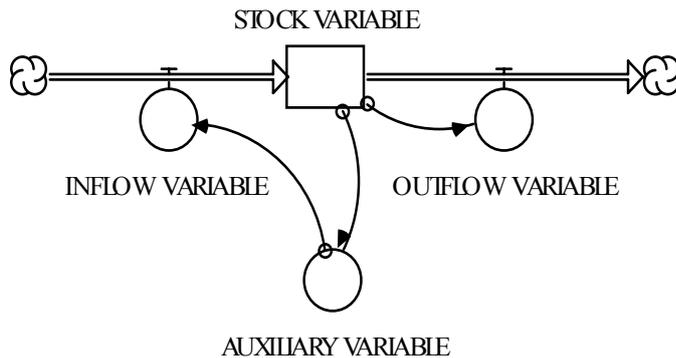
Wesentlich populärer sind dynamische Modelle. Hier hat sich in der Zeit nach dem Zweiten Weltkrieg<sup>3</sup> eine Disziplin, die Ökonometrie, etabliert, die Angaben macht, wie *ökonomische Modelle* konstruiert und die speziellen Parameter der darin vorkommenden Gleichungen auf empirischem Wege bestimmt werden können. Die Ökonometrie ist auf weite Strecken eine Disziplin der mathematischen Statistik, erlaubt aber auch, spezielle Fragestellungen aus dem Bereich der Wirtschaftstheorie praktisch anzuwenden. Ökonometrische Modelle wurden und werden zur Prognose von Wirtschaftsdaten und zur Bestimmung der Effekte wirtschaftspolitischer Entscheidungen verwendet.<sup>4</sup>

Nach dem Zweiten Weltkrieg entwickelte Jay Forrester in den USA aus einem Berechnungsverfahren für die Verbesserung der Treffsicherheit von Flieger-Abwehrkanonen ein Softwarepaket *DYNAMO*, das in der Lage war, dynamische Prozesse der Wirklichkeit auf dem Computer abzubilden, die auf linearen oder nichtlinearen Systemen von Differential- oder Differenzgleichungen beruhen. Er nannte die Modellierungstechnik *System Dynamics*. Zentrale Voraussetzung ist die Unterteilung aller Erscheinungen der Welt in zwei Gruppen von Variablen, in *Bestandsgrößen* (Stocks) und *Flußgrößen* (Flows). Der Zusammenhang zwischen Stocks und Flows ist sehr einfach: Die Bestandsgrößen können wie beim Wasserstand einer Badewanne nur durch Zu- oder Abflüsse verändert werden (Abbildung 2). Durch ein Grundelement, das aus Stocks und Flows besteht, das einer einfachen Differentialgleichung entspricht, wird die Dynamik der Variablen möglich. Mit zwei weiteren Grundelementen, den *Hilfsvariablen* (Auxiliary Variables) und den *Kausalpfeilen* ist die ganze Symbolik systemdynamischer Modelle beschrieben, die die Variablen verbinden. Eine kreisförmige Kette von Variablen, die durch Kausalpfeile verbunden sind, ermöglicht die Konstruktion von Rückkopplungsprozessen, die bei Regelungsprozessen (wie z.B. beim Thermostat) und auch bei selbstorganisierenden Prozessen eine zentrale Rolle spielen. Während *DYNAMO* noch auf textlichen Anweisungen beruhte, die per (IBM-Kugelpf-) Schreibmaschine in den Computer eingegeben wurden, sind moderne Varianten von *DYNAMO* (z.B. *STELLA*, *VENSIM*, *IThINK*) mit bequemen graphischen Interfaces ausgestattet, die eine zeichnerische Eingabe der Grundstrukturen des Simulationsmodells ermöglichen.

---

<sup>3</sup> Jan Tinbergen and Ragnar Frisch erhielten im Jahr 1969 als erste den Ökonomie-Nobelpreis für die Anwendung dynamischer Modelle auf ökonomische Prozesse. Ihre Vorarbeiten dazu reichen bis in die 1920er Jahre zurück.

<sup>4</sup> Siehe nur als ein Beispiel unter vielen: Bruckmann, G., and Fleissner, P. (Eds.) (1989) *Am Steuerrad der Wirtschaft - Ein ökonomisch-sozialkybernetisches Modell für Österreich*. Wien: Springer Verlag



**Abbildung 2. Grundstruktur von Systemdynamik-Modellen**

Systemdynamische Modelle eignen sich sehr gut zur Beschreibung aller dynamischen Vorgänge, seien sie linear oder nichtlinear, ihr Einsatz ist aber in den meisten Fällen auf die Darstellung von Makrozusammenhängen beschränkt. Ein Beispiel soll den Unterschied erläutern: Während in der Makroökonomie die Konsumfunktion eine wichtige Rolle spielt, die den Zusammenhang zwischen dem gesamten Lohneinkommen, dem Preisniveau (etwa dem Verbraucherpreisindex) und dem nachgefragten Konsum beschreibt und die Systemdynamik genau diesen Zusammenhang auf einem sehr hoch aggregierten Beschreibungsniveau abzubilden erlaubt, bleiben die einzelnen Entscheidungen der Konsumenten außer Betracht, auch ihre individuelle Lage bezüglich der Höhe ihres Einkommens, oder ihre Neigung, wie rasch und in welcher Höhe sie bei einem erhöhten Einkommen Konsumgüter kaufen werden etc. Der Grund dafür waren in der Zeit nach dem Zweiten Weltkrieg die Beschränkungen der Rechentechnik und der hohe Preis von schnellen Computern, die meist nur in großen Institutionen verfügbar waren. Der Siegeszug des Personal Computer hat demgegenüber neue Möglichkeiten geschaffen. Rechenzeit und Speicherplatz sind billiger und billiger geworden, die Arbeit ist dezentralisiert oder über das Internet möglich geworden, sodass es heute relativ einfach ist, in der Widerspiegelung eines Problems nicht nur die Aggregate zu berücksichtigen, sondern sogar einzelne Entscheidungseinheiten, Institutionen oder Individuen. Diese, je nach Anwendungsfeld *Mikrosimulationen* oder *Agent Based Modells* genannten Simulationsverfahren haben gegenüber Systemdynamik-Modellen einen erhöhten Datenbedarf und einen vermehrten Rechenaufwand. Letzterer fällt aber wegen der verbesserten Hard- und Software kaum ins Gewicht, ersterer wird durch die Verfügbarkeit elektronischer Datenbanken bewältigbar.

Das Projektteam hat diesen Möglichkeiten Rechnung getragen und verwendet ein Softwarepaket mit Namen *ANYLOGIC*,<sup>5</sup> das die meisten gängigen Simulationsverfahren abzubilden in der Lage ist. ANYLOGIC erlaubt es, sowohl die klassischen Methoden der Systemdynamik anzuwenden als auch Mikrosimulationen und Agenten Basierte Modelle (ABM) aufzubauen,

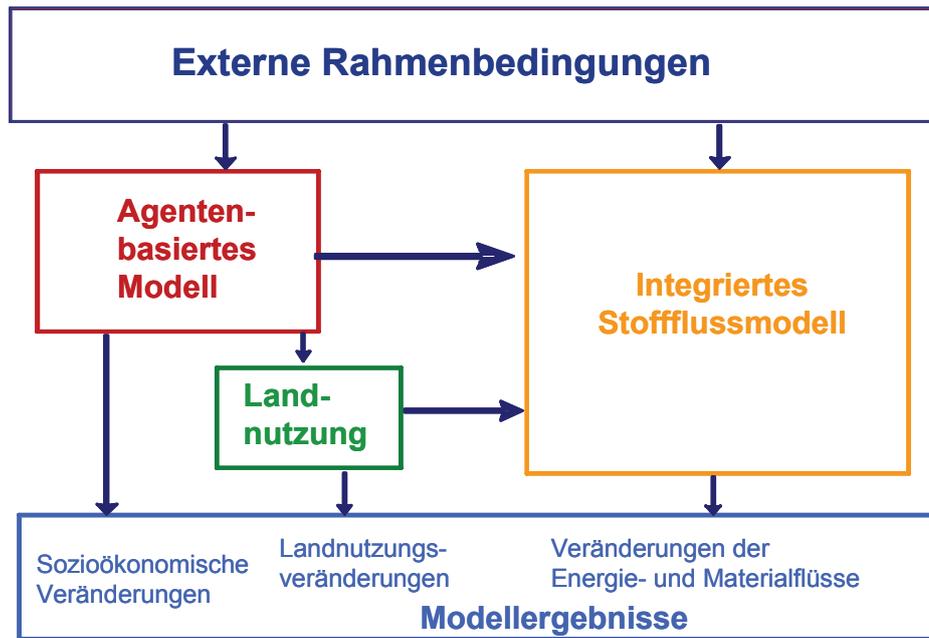
<sup>5</sup> <http://www.xjtek.com/anylogic/>

die das Verhalten einzelner Entscheidungsträger direkt repräsentieren können. Ein interessanter Nebeneffekt wird durch die Verwendung agentenbasierter Systeme möglich: Bei Veränderung der individuellen Verhaltensweisen können auf der Aggregatsebene überraschende Effekte auftreten, die ex-ante nicht oder nicht leicht prognostiziert werden können. Erst im Rückblick kann das Ursachenbündel für das alternative Verhalten der Modellvariablen verstanden werden.

### ***Das Gesamtkonzept des integrierten Rechraming Modell SERD***

Das integrierte Modell, SERD (Simulation of Ecological Compatibility of Regional Development), wurde in einem partizipativen Prozess in der Gemeinde Rechraming (Region „Eisenwurzten“) entwickelt und validiert. SERD wird in ein agentenbasiertes Akteursmodell und in ein sozio-ökonomische und biogeochemisch-ökologische Ansätze integrierendes Stoffflussmodell gegliedert (

Abbildung 3). Dabei werden verschiedene politisch-wirtschaftlich-soziale Rahmenbedingungen als externe Einflussgrößen variiert. Die Ergebnisse (model outputs) von SERD gliedern sich in drei Bereiche: (1) Abbildung von zu erwartenden Landnutzungsänderungen, (2) Abschätzung von gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Trends, (3) Veränderungen in den lokalen und regionalen Stoffflüssen. Daraus abgeleitet können Szenarien formuliert werden, die die Entwicklungen aller drei Bereiche berücksichtigen.



**Abbildung 3. Gesamtkonzept des integrierten Modells SERD**

Das Modell besteht aus zwei eng miteinander verknüpften Modulen, einem agentenbasierten Akteursmodul, welches Entscheidungsprozesse von Akteuren und deren Interaktionen abbildet, und einem vom Akteursmodul getriebenen integrierten Stoffflussmodell, das die Integration von sozio-ökonomischen und biogeochemisch-ökologischen Stoffflüssen ermöglicht und eine ökologische Bewertung der Szenarien erlaubt. Schnittstelle zwischen den beiden Modellkomponenten bildet im Wesentlichen die Landnutzung, die einerseits ein Ergebnis des Agenten-basierten Modells darstellt und gleichzeitig als Inputparameter ins Stoffflussmodell eingeht. Die Dynamik im Modell ergibt sich aus Veränderungen in den politischen, gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen.

### ***Das Akteursmodell***

#### **Die Abbildung von Handeln bzw. Verhalten in agentenbasierten Modellen**

Das Verhalten bzw. Handeln einer Person muss aus dem Zusammenwirken persönlicher und kontextueller Merkmale verstanden werden. Sowohl individuelle Charakteristika jeder Person, als auch situative Bedingungen (also der soziale Kontext bzw. die Situation) bedingen das Handeln einer Person (Lewin, 1951). Zudem folgen wir Coleman's Theorie kollektiven Handelns und unterscheiden Möglichkeitsstrukturen, die bestimmte Handlungen zulassen, von Präferenzstrukturen, die erklären, warum unter den möglichen Optionen eine bestimmte ausgewählt wird (Coleman, 1990).

Möglichkeiten- und Präferenzstrukturen gibt es sowohl auf persönlicher, als auch auf situativer (kontextueller) Ebene. So kann man einer Person bestimmte Kompetenzen zuschreiben, von ihr behaupten, sie „kann“ etwas. Analog gibt es in der Situation (im Kontext) bestimmte Möglichkeiten (und andere nicht), man kann also Situationen danach unterscheiden, was in ihnen „möglich ist“. Dasselbe gilt für Präferenzen bzw. Relevanzstrukturen (manchmal auch als „Selektionskultur“ bezeichnet, vgl. Pelikan and Halbmayer, 2000). Einerseits zeichnen sich Personen durch bestimmte Präferenzen aus („wollen“), andererseits gelten innerhalb des Kontextes bestimmte Handlungsoptionen als erwünscht (oder gar geboten) oder unerwünscht (verboten, verachtet; „sollen“). Die Präferenzen auf individueller und kontextueller Ebene können einander gleichen bzw. konform gehen oder voneinander abweichen (siehe Tabelle 1). Daraus ergeben sich verschiedene Interventionsstrategien, um erwünschtes Verhalten zu erreichen.

**Tabelle 1. Handeln und Verhalten als Ergebnis einer Kombination von Person und Kontext sowie von Möglichkeiten- und Präferenzstruktur.**

	Möglichkeitenstruktur	Relevanz- bzw. Präferenzstruktur	Interventionsstrategie
Person	können	wollen	Intervention setzt bei der Person an
Situation / Kontext	möglich sein	sollen	Intervention setzt bei der Situation an
Interventionsstrategie	ermöglichen / verunmöglichen	Werbung, Verbote, Gebote	

Wir gehen nun davon aus, dass diese Matrix die Mindestkomplexität dessen beschreibt, was man wissen muss, um Handeln zu verstehen, und mehr noch, um mögliche Interventionsstrategien erwägen zu können, mit denen Handeln beeinflusst werden kann. Im Alltagsdenken gibt es eine starke Vorliebe für die „erzieherische Lösung“: sie besteht in Interventionen in die Person, und sucht, entweder deren „Können“ oder deren Präferenzen („Wollen“) zu verändern. Insbesondere dann, wenn es um eine Vielzahl handelnder Personen geht, kann das eine sehr aufwändige Interventionsstrategie sein. Hier zeichnet sich die Intervention in „Können“ dadurch aus, dass sie in der Regel haltbarer ist (wenn Personen einmal etwas können, das sich als nützlich erweist, gebrauchen sie dieses Können weiterhin). Interventionen in das „Wollen“ von Personen stoßen typischerweise auf Widerstand und erzeugen nicht unbedingt lang anhaltende Effekte.

Gesellschaftspolitisch ist in der Regel eine Intervention in die Situation erwägenswert. Auch hier liegt die „erzieherische“ Strategie der Ver- und Gebote dem Alltagsdenken am nächsten, oder die modernere Strategie der Verführung, die Werbung. Verbote und Gebote sind recht

unflexibel, funktionieren nur bei hinreichender Sanktionsgewalt und erzeugen daher Kontrollkosten. Interventionen in die Möglichkeitsstruktur der Situation schließlich greifen oft auf nicht-kommunikative Mittel zurück (zum Beispiel: Pfosten einschlagen zur Verhinderung des Parkens auf dem Gehsteig) und Vermeiden damit – allerdings auch um einen gewissen Preis – soziale Konflikte.

Agentenbasierte Modellierung bietet die Möglichkeit, Handeln von Menschen unter Berücksichtigung der in Tabelle 1 dargestellten Rahmenbedingungen abzubilden, und so biophysische und sozioökonomische Teilmodelle zu verknüpfen. Dies ist sogar in räumlich disaggregierter Form möglich, sodass es möglich ist, agrar- und umweltpolitische Maßnahmen, betriebliche Landnutzungsentscheidungen und Umweltprozesse abzubilden (Berger, 2004). Die Erforschung von Landnutzungsdynamiken und geeigneten Agrarumweltpolitiken ist ein gesellschaftlich relevantes Forschungsfeld, zu dem die Agrar- und Ressourcenökonomik einen zentralen Beitrag leisten kann. Mit dieser Form der Computersimulationen lassen sich die Wechselwirkungen zwischen sozioökonomischen und biophysikalischen Prozessen abbilden, um so durch Szenarienanalysen die möglichen Wirkungen verschiedener Politikoptionen abzuschätzen.

Laut Definition der internationalen Forschungsinitiative „Land-Use and Land-Cover Change“ (Parker et al., 2002) bestehen agentenbasierte Landnutzungsmodelle aus zwei Modellkomponenten, einem Zellularmodul zur Abbildung der zu untersuchenden Landschaft und einem agentenbasierten Modul zur Abbildung von Entscheidungsprozessen von Akteuren und ihrer Interaktionen. Das Agentenmodul umfasst dabei autonome Entscheidungseinheiten, eine Umwelt, in der diese Agenten interagieren, und Regeln, welche die Beziehungen zwischen Agenten und ihrer Umwelt definieren und für die Abfolge von Entscheidungen und Handlungen verantwortlich sind.

### **Partizipative Modellierung**

Der Implementierung des Modells SERD liegen im Wesentlichen zwei Informationsquellen zu Grunde. Einerseits dienen statistische Daten der Statistik Austria Statistik Austria, 2001; Statistik Austria, 2004; Statistik Austria, 2003; BMLFUW, 2006 und der Gemeinde Rechraming (<http://www.reichraming.at/>) sowie räumlich verortete Daten über landwirtschaftliche Betriebe (Hofer et al., 2004) als Grundlage zur Initialisierung des Modells. Auf der anderen Seite stammen Annahmen zu Gesetzmäßigkeiten und Abläufen von Entscheidungs- und Beeinflussungsprozessen aus Angaben regionaler Stakeholder sowie überregionaler Experten aus den unterschiedlichsten Bereichen wie beispielsweise Nationalpark, Bundesforste und Landwirtschaft. Diese Informationen wurden im Rahmen eines zweijährigen, projektbegleitenden partizipativen Prozesses gewonnen.

Die Elemente dieses partizipativen Prozesses waren:

- Eine flächendeckende Fragebogenerhebung der landwirtschaftlichen Betriebe der Gemeinde
- Tiefeninterviews mit Landwirten und Landwirtinnen
- Experteninterviews mit Gemeindemitgliedern und regionalen Interessensvertretern
- Drei Workshops mit lokalen Stakeholdern
- Zwei Workshops mit Frauen der Gemeinde Reichraming zu frauenspezifischen Fragestellungen
- Drei Workshops mit LandwirtInnen unterschiedlicher Produktionsschwerpunkte

Der Einsatz des Modells in einem partizipativen Prozess ist in Abbildung 4 dargestellt: In einer (in der Praxis meist mehrstufigen) Rückkopplungsschleife fließen Informationen von Stakeholdern, die in einem partizipativen Prozess gewonnen werden, in ein heuristisches Modell, das in weiterer Folge formalisiert und für Simulationen herangezogen wird. Deren Ergebnisse werden den Stakeholdern zurückgespielt und führen zu veränderten Einschätzungen und Handlungsoptionen, die wiederum ins Modell eingearbeitet wird.

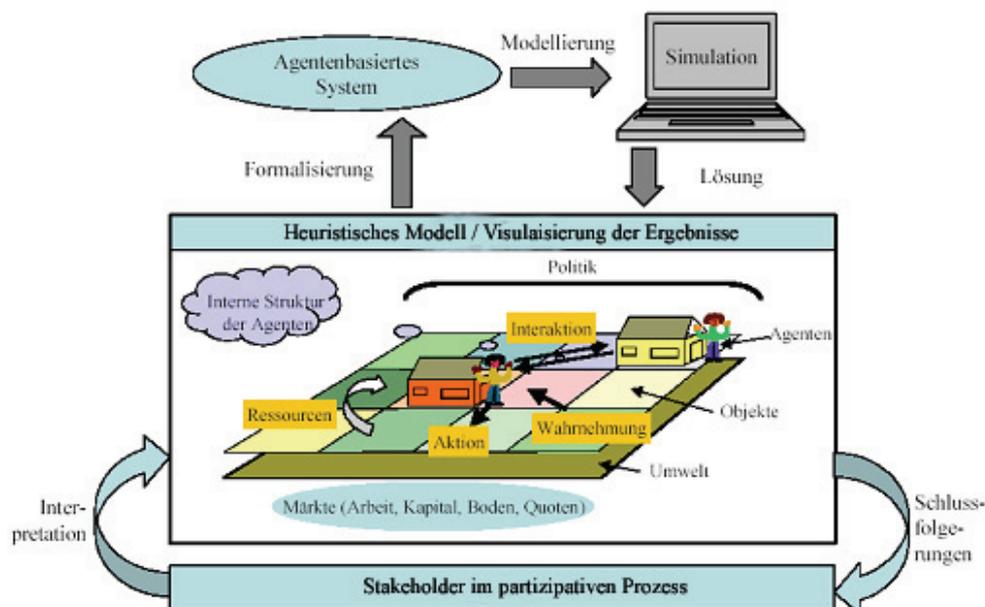


Abbildung 4. Einsatz von (agentenbasierten) Modellen in einem Stakeholder-Prozess.

Quelle: Berger, 2004

Bei der Entwicklung des Agentenbasierten Modells waren Akteure von Beginn an involviert. Die Methode der partizipativen Modellierung hat dabei folgende Ziele.

- Wissen über Möglichkeits- und Präferenzstrukturen der Akteure generieren
- Gemeinsames Verständnis von Systemdynamiken entwickeln
- Handlungsoptionen erarbeiten
- Ergebnisse zu erhalten, die für Stakeholder und Wissenschaft weiter verwendbar sind.

Für Vennix (1998) bestehen die Ziele der Methode „Group Modell Building“ darin, eine Gruppe von AkteurInnen bei der Definition und Strukturierung eines Problems zu unterstützen, um gemeinsam effektive Strategien zu entwickeln, mit diesem Problem umzugehen. Diese für Organisationen und Teams entwickelte Methode kann unseres Erachtens auch in transdisziplinären Forschungsprozessen diesen Zielen dienen. Darüber hinaus ergibt sich aus der gemeinsamen Arbeit mit Stakeholdern für ForscherInnen ein guter Zugang zum Systemwissen und zu den Perspektiven der AkteurInnen, während diese sich ein gemeinsames Systemverständnis erarbeiten.

Beim „Group Model Building“ haben die AkteurInnen die Aufgabe, ein systemdynamisches Modell zu erstellen. Die WorkshopteilnehmerInnen tauschen ihre Sichtweise des Problems aus und können eine gemeinsame, auf Konsens basierende Sichtweise der Situation entwickeln. Die Basis dafür kann erst in den Workshops geschaffen werden. Es ist aber auch möglich, mit Modellvorstellungen in die Diskussion einzusteigen. Durch die gemeinsame Erarbeitung des Modells werden neue Einsichten in das Problem geschaffen und ein systemisches Verständnis desselben erreicht. So wird die Entwicklung von Strategien auf Basis der gemeinsamen Einschätzung ermöglicht und eine Akzeptanz für die gemeinsame Weiterarbeit geschaffen. Der Konsensfindung weist Vennix in diesem Prozess besondere Wichtigkeit zu. Kompromisse können zu Unzufriedenheiten in den nächsten Arbeitsschritten führen und somit die Qualität der Arbeit und auch die Motivation der Beteiligten verringern.

Für die Leitung der Workshops ist wichtig, eine angenehme Atmosphäre in der Gruppe zu schaffen und die Beteiligten durch einen Prozess des Austausches und gemeinsamen Lernens zu führen ohne sich inhaltlich einzumischen. Bei der Moderation ist auf eine ausgewogene Beteiligung aller Akteure zu achten. Zwischenergebnisse werden zusammengefasst und immer wieder präsentiert und diskutiert. Vor allem zwischen einzelnen Workshops ist es wichtig auf ausreichende Information über den laufenden Prozess zu achten und damit die Motivation zur weiteren Mitarbeit zu gewährleisten. Außerdem bietet eine solche Zusammenfassung die Möglichkeit, Unstimmigkeiten oder Zustimmung zu erkennen.

In kleineren Arbeitsgruppen (Workshops) oder auch in Einzelgesprächen (Interviews) mit Akteuren wurde sowohl die Modellkonzeption wie auch Annahmen des Modells diskutiert und gemeinsam weiter entwickelt. Thema dabei waren sowohl Entscheidungsprozesse von Einzelakteuren wie auch die diese Entscheidungen beeinflussenden Rahmenbedingungen.

Weiterer Gegenstand der gemeinsamen Arbeit am Modell war die Gestaltung der Oberfläche. Dazu gehören Entscheidungen darüber, welche Parameter interaktiv während eines Modelllaufes verstellbar sind, um deren Einfluss direkt beobachten zu können. Wichtig waren auch Entscheidungen über jene Ergebnisse, die für jeden leicht erkennbar an der Oberfläche zu sehen sind (siehe Interaktive Oberfläche). Der Prozess der Oberflächengestaltung zwingt zur Reduktion der Modellkomplexität, weil für eine übersichtliche Oberfläche nur ein eingeschränkter Auszug der implementierten Variablen und Parameter genutzt werden kann. Die gemeinsame Entwicklung der Oberfläche gewährleistet das Verständnis der Akteure für das Modell und für die Ergebnisse. Das Modell liefert somit nicht nur Ergebnisse für die Wissenschaft sondern ist für die Beteiligten verständlich und weiter verwendbar.

### **Das Agenten-basierte Modul des Modells SERD**

Im Wesentlichen sind Agenten-basierte Modelle durch folgende drei Komponenten charakterisiert (Ferber, 1999):

- die im Modell agierenden Agenten oder Agentengruppen,
- die Rahmenbedingungen, der Kontext, in dem die Agenten agieren und
- die Interaktionen der Agenten.

Landnutzung wird von Akteuren mehrerer Skalenebenen unterschiedlich beeinflusst, die mannigfache Ziele verfolgen, miteinander interagieren und für die unterschiedliche Rahmenbedingungen wirksam werden. Die Herausforderungen, die sich in Reichraming in Zusammenhang mit der Landnutzung ergeben, wurden gemeinsam mit den Akteuren im Zuge eines partizipativen Prozesses erarbeitet: Verwaldung und Abwanderung sind mittelfristig die wesentlichen Probleme, denen es unter anderem mit einem holistischen Verständnis für Landnutzung zu begegnen gilt.

### **Agenten im ABM**

Im Konkreten besteht das ABM Reichraming aus sieben Agenten bzw. Agentengruppen:

- (1) die landwirtschaftlichen Betriebe
- (2) die Wirtschaftsbetriebe (gegliedert in die drei Kategorien Tourismus, Bioenergien und sonstige)

- (3) die Gemeinde
- (4) die (nichtlandwirtschaftlichen) Haushalte
- (5) die Österreichischen Bundesforste
- (6) der Nationalpark Kalkalpen
- (7) Touristen

Landwirtschaftliche Betriebe der Gemeinde Rechraming stellen die Modellagenten mit dem höchsten Detailliertheitsgrad dar. Diese treffen Entscheidungen ausgehend von ihrer internen (familiären) Struktur, ihren individuellen Präferenzen sowie auf Basis von Informationen, einerseits über Topographie und Boden, andererseits über Veränderungen der Umwelt durch Handlungen benachbarter Agenten im Modell.

Zusätzlich wurden weitere Modellagenten eingeführt, die höher aggregierte Entscheidungseinheiten (z.B. Nationalpark, Bundesforste, Gemeindeverwaltung usw.) darstellen, womit sich die Möglichkeit ergibt, mehrskalige Multi-Agentenmodelle zu konstruieren, und so genannte „verschachtelte Strukturen“ bzw. Hierarchien von sozialen Organisationsformen abzubilden (Berger and Ringler, 2002).

Diese Agenten nehmen Einfluss auf die Landnutzung durch die land- und forstwirtschaftliche Bewirtschaftung, Verbauung, sonstige Nutzung (Gärten, Parkanlagen, Golfplatz) und durch Landnutzung „in Form von Naturschutz“ wie dies beim Nationalpark der Fall ist. Die land- und forstwirtschaftliche Bewirtschaftung erfolgt in erster Linie durch landwirtschaftliche Betriebe und die Bundesforste. Die Verbauung wird von den Haushalten durch Wohnbauten, von der Gemeinde durch Infrastruktureinrichtungen und von den Wirtschaftsbetrieben durch Betriebsgebäude- und anlagen bestimmt. Die sonstige Nutzung wird von allen Akteuren bestimmt, insbesondere von der Gemeinde in Form von Freizeiteinrichtungen wie Parkanlagen und den Haushalten in Form von Gärten.

Wichtig ist, sich in diesem Zusammenhang den Unterschied zwischen Landnutzung und Landbesitz zu verdeutlichen. Landbesitzer sind oft auch Nutzer ihres Landes. Landbesitzer können ihr Land aber auch an andere Landnutzer verpachten.

#### *(1) Akteur „landwirtschaftlicher Betrieb“*

In Rechraming gibt es rund 70 landwirtschaftliche Betriebe. Die Kulturfläche in Rechraming besteht zu 94 % aus Forst, der zu rund 80% im Besitz der Bundesforste ist. Die restlichen 20 % des Forstes gehören landwirtschaftlichen Betrieben und werden von diesen bewirtschaftet. Die restlichen 6% der nicht bewaldeten Kulturfläche bestehen zum Großteil (96%) aus Grünlandnutzungen, bei denen mehrmähdige Wiesen überwiegen.

Da die landwirtschaftlichen Betriebe zentrale Akteure bei Landnutzungsentscheidungen sind, wird möglichst jeder landwirtschaftliche Betrieb als Akteur abgebildet. Für jeden Betrieb werden Merkmale wie z. B. die bewirtschaftete Fläche, der Tierbesatz, die Anzahl und Altersstruktur der Familienmitglieder, die Bewirtschaftungsform (Almen, Hutweiden, etc.) im Modell verarbeitet. Die Datengrundlage für diese Informationen stellt einerseits eine Fragebogenerhebung dar bzw. wurde von den Landwirten eine Einverständniserklärung zur Verwendung der Invekos-Daten eingeholt (Hofer et al., 2004). Rund 50 der insgesamt 70 Betriebe können mittels Fragebogen bzw. Invekos-Daten ausreichend genau im Modell als Akteur abgebildet werden. Auf Basis der Betriebsdaten werden in Rechraming drei Betriebstypen unterschieden:

- Milchbetriebe
- Mutterkuhbetriebe
- Alternativbetriebe mit Pferden, Schafen oder Wildtierhaltung

Hinsichtlich der Landnutzung entscheiden landwirtschaftlichen Betriebe, ob die von ihnen bewirtschaftete Fläche als

- Forst,
- Acker oder
- Grünland

genutzt wird (Landcover-Entscheidung) und über die Art der Bewirtschaftung (Land use - Entscheidung).

Forst kann als

- Mischwald oder
- Monokultur

genutzt werden. Weiters werden beim Forst unterschiedliche Baumarten bzw. Waldtypen z.B. Fichtenmonokultur, Buchenmischwald) unterschieden.

Grünland kann als

- Alm
- Hutweide
- Kulturweide
- ein- oder mehrmähdige Wiese
- Fläche zur Produktion nachwachsender Rohstoffe und Energieträger.

genutzt werden.

Die Ackerflächen sind in Reichraming so gering und unbedeutend, dass diese gesondert ausgewiesen werden, unterschiedlichen Nutzungsmöglichkeiten der Ackerfläche (wie z. B. unterschiedliche Ackerpflanzen) werden jedoch nicht berücksichtigt. So wie die Grünlandfläche steht auch die Ackerfläche potentiell zur Produktion nachwachsender Rohstoffe und Energieträger zur Verfügung.

Insgesamt ist der Agent „landwirtschaftlicher Haushalt“ im Modell durch mehr als 50 verschiedene Merkmale wie z. B. Anzahl der Haushaltsmitglieder, der Betriebstyp oder die Charakteristik der bewirtschafteten Fläche und durch sein Entscheidungsverhalten definiert. Das Entscheidungsverhalten umfasst unterschiedliche Reaktionsmöglichkeiten des Haushalts auf Veränderungen der Umweltbedingungen durch Verhaltensweisen anderer landwirtschaftlicher Haushalte. Die Unterscheidung zwischen landwirtschaftlichem Haushalt und landwirtschaftlichem Betrieb ist in diesem Zusammenhang wesentlich, da z.B. das Einkommen des gesamten Haushalts für die Analyse herangezogen wird und nicht das Einkommen des Betriebes. D.h. zum Beispiel wird auch das Einkommen von Haushaltsmitgliedern, die nicht im landwirtschaftlichen Betrieb arbeiten, aber zum Haushalt des Betriebsführers gehören, hinzugezählt.

Die Zielsetzungen landwirtschaftlicher Haushalte in Bezug auf ihre Landnutzung wurden aus leitfadengestützten Interviews mit den lokalen Stakeholdern abgeleitet. Landwirtschaftliche Haushalte sind bestrebt, Fläche die sie bewirtschaften auch weiterhin zu bewirtschaften, selbst wenn andere Einkunftsöglichkeiten lukrativer wären. Das bedeutet, dass die im Modell repräsentierten landwirtschaftlichen Haushalte nicht das potentielle jährliche Einkommen maximieren, sondern das Ziel der Weiterführung des landwirtschaftlichen Betriebes und insbesondere die Aufrechterhaltung der Bewirtschaftung der Flächen verfolgen. Die Aufrechterhaltung bzw. Ausdehnung der Fläche ist allerdings an zwei Nebenbedingungen geknüpft:

- Ein bestimmtes *Mindesteinkommen* des Haushalts (15.000 Euro<sup>6</sup> pro Jahr und Haushaltsmitglied) muss erzielbar sein
- Ein bestimmtes Maß an *Freizeit* (zwei Stunden pro Arbeitskraft pro Tag) muss mindestens zur Verfügung stehen

Können Mindesteinkommen oder das Mindestausmaß an Freizeit nicht erreicht werden, verändert der landwirtschaftliche Haushalt seine Wirtschaftsweise entlang eines Entscheidungsbaumes.

---

<sup>6</sup> Fessel-GfK-Studie zur Kaufkraft 2005

Die folgenden Umweltbedingungen beeinflussen die Einkommens- und Arbeitsbelastungssituation des landwirtschaftlichen Haushaltes und damit sein Verhalten maßgeblich:

- Preise für landwirtschaftliche Produkte
- Fixe und variable Kosten für die Produktion der land- und forstwirtschaftlichen Produkte
- Zeitbedarf für die Produktion der land- und forstwirtschaftlichen Produkte
- Landwirtschaftliche Förderungen
- Durchschnittlicher Stundenlohn am Arbeitsmarkt
- Durchschnittlicher Stundenlohn für landwirtschaftliche Lohnarbeit
- Anzahl der Touristen in der Gemeinde
- Rahmenbedingungen für den Umstieg auf biologische Produktion
- Rahmenbedingungen für Bioenergie wie z. B. die Preise für Bioenergie
- Rahmenbedingungen für überbetriebliche Kooperationen
- Rahmenbedingungen für Direktvermarktung

Das Verhalten bzw. die Aktionen, die ein landwirtschaftlicher Haushalt setzen kann, werden durch das Zustandsdiagramm (Abbildung 5) beschrieben. In jeder Simulationsperiode (eine Simulationsperiode umfasst ein Kalenderjahr) evaluiert der landwirtschaftliche Betrieb seine Einkommenssituation und seine Zeitnutzung. Geht der Betriebsführer in diesem Jahr in Pension wird - wenn es keine Nachfolger gibt - der landwirtschaftliche Betrieb aufgegeben (Ausstieg) oder im Falle eines Nachfolgers der Betriebsführer gewechselt (BF-Wechsel). Ist der landwirtschaftliche Haushalt zufrieden – d. h. Einkommen und Freizeit stehen in ausreichendem Ausmaß zur Verfügung – investieren kleinere Betriebe (mit einer bewirtschafteten Fläche von unter 15 ha) Arbeitszeit in paralandwirtschaftliche Tätigkeiten wie z. B. Zimmervermietung oder Direktvermarktung. Zufriedene größere landwirtschaftliche Betriebe (bewirtschaftete Fläche größer 15 ha) möchten entweder ihre bewirtschaftete Fläche durch Zupachten ausdehnen oder intensivieren ihre Produktion, welche der beiden letztgenannten Optionen gewählt wird, ist stochastisch bestimmt. Je besser die Umweltbedingungen für biologische Landwirtschaft sind, umso geringer ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein landwirtschaftlicher Haushalt intensiviert und umso wahrscheinlicher ist es, dass dieser Betrieb seine Fläche ausdehnt.

„Intensivieren“ bedeutet hier, dass der Landwirt eine Intensitätsstufe intensiver wird, wobei in der Reihenfolge der Intensität drei Intensitätsstufen unterschieden werden: Biologische Landwirtschaft, konventionelle Landwirtschaft und intensive Landwirtschaft.

Bei unzufriedenen landwirtschaftlichen Haushalten ist nach dem Grund der Unzufriedenheit zu unterscheiden. Zu wenig Freizeit und zu wenig Einkommen (-€ -time) lassen den Betrieb

entweder extensivieren, kooperieren oder Fläche verpachten. Welche der drei Optionen gewählt wird, ist wieder stochastisch bestimmt. Ist der Betrieb unzufrieden, weil bei passender Einkommenssituation zu wenig Zeit zur Verfügung (+€ -time) steht, kann entweder der Betriebstyp gewechselt werden (BT Wechsel) oder Fremde Arbeitskräfte auf den Betrieb zur Unterstützung geholt werden. Steht zu wenig Einkommen zur Verfügung und ist ausreichend Freizeit vorhanden (-€ +time), investieren kleine Betriebe oder Betriebe ohne Nachfolger einen Teil ihrer Arbeitszeit am außerlandwirtschaftlichen Arbeitsmarkt. Alle anderen Betriebe wählen (stochastisch) zwischen Intensitätswechsel, die bewirtschaftete Fläche durch zupachten ausdehnen oder das Einkommen durch andere Arbeiten (Direktvermarktung oder am außerlandwirtschaftlichen Arbeitsmarkt) aufbessern. Intensitätswechsel bedeutet in diesem Stadium des Zustandsdiagramms entweder extensivieren (eine Intensitätsstufe reduzieren) oder auf Biobetrieb wechseln. Entscheidet sich der Betrieb für „andere Arbeiten“, kann zwischen Direktvermarktung oder Arbeit am außerlandwirtschaftlichen Arbeitsmarkt AM gewählt werden. Bei guten Rahmenbedingungen für Direktvermarktung ist die Wahrscheinlichkeit höher, dass sich der Betrieb für Direktvermarktung entscheidet.



**Tabelle 2. Bedingungen für den Wechsel zwischen verschiedenen Zuständen eines landwirtschaftlichen Betriebes.**

Transition zwischen States		Code	Beschreibung
Evaluate/ Verpachten	Pension	pension == 1    areaCultivated==0	Pensionsalter erreicht ODER Kultivierte Fläche = 0
	Unzufrieden	(income < main.min_income    overload > 0) && areaCultivated > 0 && pension != 1	Einkommen ODER Freizeit unter Minimum Wert
	Zufrieden	(income >= main.min_income && overload <= 0) && areaCul- tivated > 0 && areaCultivated != fallowLand && pension != 1	Einkommen ODER Freizeit über Minimum Wert
Pension	Betriebstyp Wechsel	changeLeader == true && area- Cultivated>0	Nachfolger UND kultivierte Fläche vorhanden
	Ausstieg	changeLeader == false    areaCul- tivated==0	Kein Nachfolger ODER keine kultivierte Fläche vorhanden
Zufrieden	Ausdehnen	areaCultivated >= main_farmSize && (probability <=0.99)    (areaGrassland == 0 && areaForest > 0)	zu 99% wenn Fläche > 15ha ODER nur Waldfläche vorhan- den
	Intensivieren	areaCultivated >= main_farmSize*2 && probabili- ty > 0.99 && areaGrassland != 0	zu 99% wenn Fläche > 30ha UND Grünland vorhanden
	Paraland- wirtschaft	areaCultivated < main_farmSize	kultivierte Fläche < 15ha
Unzufrieden	-Euro - time	income < main.min_income && overload > 0	Einkommen UND Freizeit < Minimum Wert
	-Euro + time	income < main.min_income && overload <= 0 && h_externWorker == 0	Einkommen < Minimum Wert UND Freizeit > Minimum Wert UND keine externen Arbeits- kräfte
	+Euro - time	income >= main.min_income && overload > 0	Einkommen > Minimum Wert UND Freizeit < Minimum Wert
	Reduce exter- nal workers	income < main.min_income && overload <= 0 && h_externWorker > 0	Einkommen < Minimum Wert UND Freizeit > Minimum Wert UND externe Arbeitskräfte vorhanden
-Euro - time	Extensivieren	50% (Referenz Wert)	mit 50% Wahrscheinlichkeit extensiviert der Betrieb *
	Fläche aufge- ben	25% (Referenz Wert)	mit 25% Wahrscheinlichkeit gibt der Betrieb Fläche auf *
	Kooperieren	25% (Referenz Wert)	mit 25% Wahrscheinlichkeit kooperiert der Betrieb *
Fläche aufge- ben	Aufforsten	forstBetrieb    probability >= 0.7	zu 30% wenn Betrieb kein Forstbetrieb ODER zu 100% wenn Betrieb ein Forstbetrieb ist *
	Verpachten	!forstBetrieb && probability < 0.7	wenn Betrieb kein Forstbetrieb zu 70% *
-Euro + time	Arbeitsmarkt1	successor == false	kein Nachfolger vorhanden
	Intensitäts- wechsel	probability > ( (1- probAusdehnen)/2 + probAus- dehnen ) && successor == true	wenn Betrieb kein Forstbetrieb UND ein Nachfolger vorhanden ist UND zu 50% (Wahrschein-

		&& !forstBetrieb	lichkeit 0 - 100% abhängig von Lebensqualität)
	Anders arbeiten	probability <=( (1- probAusdehnen)/2 + probAus- dehnen ) && probability > prob- Ausdehnen && successor == true	wenn Nachfolger vorhanden UND zu 50% (1- Wahr- scheinlichkeit Intensitätswechsel)
	Ausdehnen1	(probability <= probAusdehnen && successor == true)    forstBe- trieb	wenn Forstbetrieb ODER Nach- folger vorhanden UND zu 50% (1- Wahrscheinlichkeit Intensi- tätswechsel)
Intensitäts- wechsel	Intensivieren1	probability > 0.99	1% Wahrscheinlichkeit *
	Biowechsel	probability <= 0.99	99% Wahrscheinlichkeit *
Anders arbei- ten	Direkt- vermarktung	probability >= 0.6	40% Wahrscheinlichkeit *
	Arbeitsmarkt	probability < 0.6	60% Wahrscheinlichkeit *
+ Euro - time	BT Wechsel	areaCultivated < main._farmSize && enterpriseType == 1	wenn bewirtschaftete Fläche < 15ha UND konventionelle
	Fremde Ar- beitskraft	!( areaCultivated < main._farmSize && enterprise- Type == 1 )	wenn bewirtschaftete Fläche > 15ha UND nicht konventionell

Die grauen Spalten zeigen die Zustände / States. Die mit \* gekennzeichneten Werte können direkt durch den Benutzer, mit Hilfe von Reglern an der Oberfläche, verändert werden.

Die Interaktion der landwirtschaftlichen Betriebe im Modell besteht aus dem Pachten und Verpachten von Fläche: Während der eine Landwirt aufgrund seiner Entscheidungen hinsichtlich Arbeitszeiteinsatz und Landnutzung Fläche verpachtet, möchte ein anderer Landwirt aufgrund seiner Situation Flächen zupachten und expandieren. Landwirtschaftliche Haushalte, deren Betriebsführer in Pension geht, ohne dass ein Nachfolger den Betrieb übernimmt und durch vorangegangene Verpachtungen weniger als 0.5 ha Fläche bewirtschaften, geben den landwirtschaftlichen Betrieb auf und werden im Modell zu einem (nicht landwirtschaftlichen) Haushalt.

## (2) Akteur „Wirtschaftsbetriebe“

Reichraming hat eine lange Tradition als Industriestandort. Bereits zur Zeit der habsburgischen Erblande gab es eine wichtige Messingfabrik in Reichraming. Viele bedeutende Hammerherrenfamilien besaßen eisenverarbeitende Betriebe und Herrenhäuser. Der Holzreichtum des Reichraminger Hintergebirges diente als naheliegender Holzkohlelieferant für die Hammerwerke. Nach dem Zusammenbruch der Messingindustrie und der Schließung der Messingfabrik 1928 waren die Forstwirtschaft und der Fremdenverkehr die bedeutendsten Wirtschaftsfaktoren für Reichraming.

Zum Akteur Wirtschaftsbetrieb im Agenten-basierten Modell SERD zählen sämtliche Unternehmen mit Ausnahme der landwirtschaftlichen Betriebe (inklusive der Österreichischen

Bundesforste), insbesondere Gastronomie- und Hotelleriebetriebe, Gewerbebetriebe, Dienstleistungsbetriebe, Handel und Energieproduzenten. Heute finden sich in Reichraming rund 10 Betriebe im Bereich Tourismus, rund 15 Gewerbebetriebe, 5 Dienstleistungsbetriebe, 5 Handelsbetriebe, 5 Betriebe im Bereich Holzverarbeitung und 3 Energieproduzenten.

Wirtschaftsbetriebe in Reichraming nehmen unmittelbar durch Verbauung in Form von Betriebsgebäuden, Parkplätzen, Kraftwerksanlagen etc. Einfluss auf die Landnutzung. Im Gegensatz zur Agentengruppe der landwirtschaftlichen Betriebe wird in dieser Gruppe nicht jeder Betrieb als Einzelakteur abgebildet sondern Durchschnittsbetriebe von drei Betriebstypen mit durchschnittlicher Wirtschaftsleistung in Form des Umsatzes und durchschnittlichem Verbaubedarf je Mio. Jahresumsatz gerechnet. Die Betriebstypen im Modell sind

- Tourismusbetriebe
- Bio- und Bioenergiebetriebe
- Sonstige Betriebe

Im Modell werden diese drei Betriebstypen beschrieben durch die Anzahl der Unternehmen, die Arbeitsplätze, die sie zur Verfügung stellen und den Umsatz (Wertschöpfung) in diesem Bereich. In Bezug auf die Landnutzung bestimmen die Betriebe

- die notwendige betriebliche Infrastruktur (z. B. Verkehrsinfrastruktur etc.),
- den Bedarf an Fläche für Betriebsansiedlung und
- den Bedarf an Arbeitskräften.

Diese Betriebstypen werden im Gegensatz zu den Agenten der landwirtschaftlichen Betriebe nicht mit einem individuellen Verhalten ausgestattet, da sie im Model zu einem aggregierten Agenten zusammengefasst sind. Es ist vielmehr die Anzahl der Betriebe je Betriebstyp die im Wirtschaftsagenten enthalten ist und somit die Rahmenbedingungen für die anderen Agenten beeinflusst bzw. ist es die Anzahl der verfügbaren Arbeitsplätze innerhalb der Gemeinde durch die Wirtschaftsbetriebe, die direkten Einfluss auf die Lebensqualität der Haushalte und landwirtschaftlichen Betriebe haben sowie auf die Höhe des Gemeindebudgets (pro Einwohner 2500.- Euro; pro Tourist 1.- Euro)

### *(3) Akteur „Gemeindeverwaltung“*

Die Gemeindeverwaltung tritt im Modell in unterschiedlichen Rollen auf. So umfasst das Verhalten des Agenten „Gemeinde“ folgende Aktionen:

- die Widmung von Fläche, die für Wohnbau bzw. Betriebsansiedlungen zur Verfügung steht,
- die Errichtung von Infrastruktureinrichtungen für Haushalte, Betriebe und landwirtschaftliche Haushalte, so genannte soziale Infrastrukturleistungen, die wiederum einen positiven Einfluss auf die Lebensqualität von Haushalten in der Gemeinde haben.

Die Gemeinde ist mit einem relativ einfachen statechart ausgestattet, durch das ihr Verhalten am Pachtmarkt gesteuert wird (Abbildung 6).

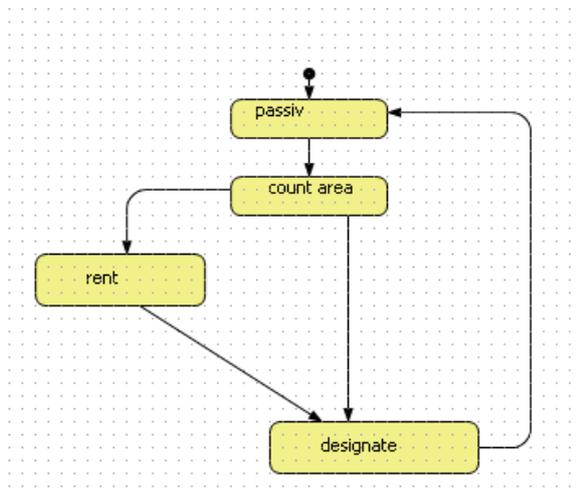


Abbildung 6. Statechart Gemeinde

Einmal im Jahr kalkuliert die Gemeinde ihre zur Verfügung stehende Fläche (Gemeindefläche – Fläche Betriebe & Haushalte). Beträgt der verfügbare Flächenanteil unter 5% der gesamten Gemeindefläche, dann agiert die Gemeinde als Agent auf dem Pachtmarkt und pachtet freigewordene landwirtschaftliche Fläche, die nicht von anderen landwirtschaftlichen Betrieben abgenommen wird. Im nächsten Jahr, wenn über 5% Flächenanteil zur Verfügung steht, wird diese Fläche nach Bedarf zu Bauland für Haushalte oder Betriebe gewidmet.

#### (4) Akteur „Haushalte“

Haushalte treffen in Abhängigkeit von ihrer Umwelt Entscheidungen über ihren Verbleib in oder ihre Absiedelung von der Gemeinde. Auch die Haushalte werden wie die Wirtschaftsbetriebe nicht als Einzelakteure modelliert sondern als durchschnittlicher Haushalt, d. h. es wird ein durchschnittlicher Bedarf von 20.2 ha m<sup>2</sup> pro Haushalt (Tappeiner et al 2002) für Verbauung von Wohngebäuden angenommen und eine für sonstige nicht-verbaute Nutzung erforderliche durchschnittliche Fläche. Ein Parameter des aggregierten Akteurs bezieht sich, wie bei den Wirtschaftsbetrieben, auf die Anzahl der Haushalte, die einen Indikator für die Wohn- und Lebensqualität für Gemeindemitglieder darstellt. Die Bevölkerung bestimmt im Wesentlichen

- den Bedarf an Wohnraum und Infrastrukturleistung (Kindergärten etc.),
- die Nachfrage nach Arbeitsplätzen,
- das Angebot an Arbeitskraft,
- die Nachfrage nach Produkten und Dienstleistungen aus der Region (Kaufkraft) und
- die Budgetsituation der Gemeinde

Wenn die soziale Infrastruktur, das Arbeitsplatzangebot und die Vielfalt der Landschaft eine positive Entwicklung erfahren, ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass die Haushalte in der Gemeinde bleiben bzw. neue Haushalte hinzukommen. Die Anzahl der Haushalte und ihre Art zu Heizen haben direkten Einfluss auf das Stoffflussmodell, welches die Emissionen der Haushalte und deren Heizungen direkt in die CO<sub>2</sub> Bilanz aufnimmt (Kapitel Modellierung C und N Flüsse von Haushalten und Betrieben).

#### *(5) Akteur „Bundesforste“*

Die Bundesforste sind mit 80% der Waldfläche der größte Waldbesitzer und -nutzer in Rechroming. Der Holzeinschlag der Bundesforstverwaltung beträgt jährlich rund 40.000 Fm. Die Waldfläche hat den größten Anteil an der Fläche Rechromings. Damit sind die Bundesforste ein zentraler Akteur in Bezug auf Landnutzung.

Die Bundesforste treten als potentielle Abnehmer von landwirtschaftlicher Fläche auf, um diese Flächen dann als Forstflächen zu nutzen. Weiters können die Bundesforste über die Art der Bewirtschaftung ihrer Flächen entscheiden, was in erster Linie die Baumartenzusammensetzung betrifft. Dabei ist das Verhalten der Bundesforste vor allem von der Entwicklung der Rahmenbedingungen für Bioenergie – je besser, umso größer der Anteil des Laubholzes, der energetisch genutzt wird – abhängig.

#### *(6) Akteur „Nationalparkgesellschaft“*

Die Nationalparkgesellschaft ist im Auftrag des Lebensministeriums für die Errichtung und den Betrieb des Nationalparks Oberösterreichische Kalkalpen zuständig, verfolgt mit seiner Landnutzung ein Naturschutzziel und hat die Funktion der Bewahrung der Nationalparkfläche vor einer anderen als durch die Gesetzgebung vorgesehenen Nutzung. Die Nationalparkgesellschaft entscheidet über z.B. naturnahe Aufforstungen, Rechte für den Zutritt zum Nationalpark oder über Jagdrechte am Nationalparkgebiet. Die „Nutzen“ durch den Schutz der Fläche bestehen im Erfüllen umweltpolitischer Zielsetzung wie z.B. den Erhalt von Biodiversität sowie in der Vermarktungsmöglichkeit des Nationalparks für den Tourismus.

Gleich wie die Bundesforste stellt der Agent Nationalpark Infrastruktur für Touristen, Haushalte und landwirtschaftliche Haushalte z. B. in Form eines Wegenetzes zur Verfügung und verbessert somit wieder die Lebensqualität dieser Agenten.

#### *(7) Akteur „Touristen“*

Der aggregierte Agententyp Tourismus wird beschrieben durch die Anzahl der Übernachtungen pro Saison (Winter/Sommersaison), durch die Finanzkraft der Touristen (Ausgaben pro Tourist pro Tag in Reichraming) und durch die Bedürfnisse der Besucher (Familienurlaub, Entspannung und Erholung, etc.). Größter Einflussfaktor auf die Touristen in der Gemeinde ist die Landschaft. Je mehr Wirtschaftsbetriebe sich in der Gemeinde ansiedeln umso negativer wirkt sich das auf die Lebensqualität der Touristen aus – gleich wie das Absiedeln von landwirtschaftlichen Betrieben und das damit verbundene Einhergehen von Verwaltung. Hingegen wirkt eine Verbesserung der touristischen Infrastruktur durch Kooperationen mit dem Nationalpark z.B. positiv auf den Tourismus, ebenso wie die Erhaltung der Kulturlandschaft in der Gemeinde durch ein Überleben der landwirtschaftlichen Betriebe. Die Anzahl der Touristen wirkt sich auf das Gemeindebudget aus (1.- Euro pro Tourist = Kurtaxe).

#### **Rahmenbedingungen des Agenten-basierten Modells**

Rahmenbedingungen oder externe Einflussgrößen sind Variablen die auf das System wirken aber nicht von dem System selbst beeinflusst werden. Die Kontexte und damit die relevanten Kontextbedingungen unterscheiden sich je nach Agententyp und betrachtetem System. Rahmenbedingungen für das gesamte hier untersuchte System der Agenten in der Gemeinde Reichraming sind:

- Gesetzliche Rahmenbedingungen
- Förderungen auf Bundes- und Landesebene
- Regionalpolitische Entscheidungen/Verhalten von anderen Gemeinden in der Region (die durch Reichraming nicht beeinflusst werden können)
- Preise für Agrarprodukte

Diese Kontextbedingungen gelten für das gesamte betrachtete System und können von diesem nicht verändert werden.

#### **Interaktionen zwischen den Agenten**

Das Konzept des Agenten-basierten Modells von Reichraming sieht zwei unterschiedliche Formen der Interaktionen vor.

(1) Einerseits stellt ein Flächenpachtmarkt eine Form der direkten Interaktion zwischen Agenten durch Handel mit Flächen dar. Teilnehmer am Pachtmarkt sind die Landwirte, die Ge-

meinde, die ÖBF und die Waldwirtschafts-Kooperationen. Während der eine Landwirt aufgrund seiner Familienstruktur, Präferenzen, Zukunftsplanung etc. seine bewirtschaftete Fläche reduzieren (zumeist verpachten) möchte, will ein anderer Landwirt aufgrund seiner derzeitigen Situation mehr Fläche bewirtschaften als bisher (zumeist zupachten). Liegen alle Angebote eines Jahres am Pachtmarkt, werden dort, wo Angebot und Nachfrage einander gut decken, Pachtgeschäfte abgeschlossen, in dem ein Landwirt seine Fläche vergrößert und dementsprechend für jeden Hektar Fläche Pacht zahlen muss. Der andere Landwirt verkleinert seine Fläche, muss für die Bewirtschaftung dieser keine Zeit mehr investieren, erwirbt allerdings auch keine Produktionserträge daraus, dafür bekommt er die Pacht für die abgegebene Fläche seinem Einkommen zugerechnet. Sollten mehrere Agenten Interesse an einem Landstück haben, dann wird in dieser Reihenfolge verpachtet: Landwirte, Gemeinde, Waldwirtschaft Kooperation, Bundesforste. Die Entscheidung zwischen Waldwirtschaft Kooperation und Bundesforste wird durch die Stellung des Reglers „Kooperationsbereitschaft“ beeinflusst.

(2) Die zweite Form der Interaktion wird nicht als direkte Interaktion zwischen zwei Agenten beschrieben, sondern findet durch Beeinflussung der Umwelt statt, die wiederum auf die Entscheidungen anderer Agenten wirkt. Jede Entscheidung, jedes Handeln von Agenten beeinflusst in unterschiedlichem Ausmaß verschiedene Bereiche der Umwelten andere Agenten. Diese veränderte Umwelt wirkt auf die Lebensqualität bzw. das Reproduktionsniveau anderer Agenten positiv oder negativ, und beeinflusst somit die Entscheidungen der Agenten im folgenden Jahr. Abbildung 7 zeigt, dass im Modell die Umwelt in vier Bereiche gegliedert wird:

### 1. **Infrastruktur**

Unter dem Begriff Infrastruktur ist hier sowohl touristische Infrastruktur gemeint, die sich positiv auf die Anzahl der Touristen auswirkt, als auch die soziale Infrastruktur, wie Kindergärten, Schulen, Freizeiteinrichtungen, Vereinsleben etc., die sich positiv auf die Haushalte auswirkt. Ebenso ist die Anbindung ans öffentliche Verkehrsnetz eine Infrastrukturmaßnahme, womit Infrastruktur auch einen Einfluss auf die Standortattraktivität der Gemeinde für Betriebsansiedlungen darstellt. Gestalter der Infrastruktur ist zu einem überwiegenden Teil die Gemeinde, die auf Basis des vorhandenen Gemeindebudgets Investitionen tätigt.

### 2. **Arbeitsmarkt**

Der Arbeitsmarkt in Reichraming stellt ein wesentliches Kriterium für den Verbleib von Haushalten (Arbeitsplatzangebot) und Betrieben (Arbeitskräfteangebot) dar. Wird von den Unternehmen mehr Arbeitskraft nachgefragt als von der Bevölkerung angeboten, pendeln Arbeitskräfte nach Reichraming ein bzw. findet ein verstärkter Zuzug in die Gemeinde statt. Wird mehr Arbeitskraft von der Bevölkerung angeboten als von den Unternehmen nachgefragt, pendeln Arbeitskräfte aus bzw. steigt die Abwanderung aus Reichraming. Das Angebot am Arbeitsmarkt beeinflusst neben den Haushal-

ten auch die landwirtschaftlichen Betriebe, die auf Basis der vorhandenen Arbeitsplätze und der Qualität dieser Arbeitsplätze (z. B. Flexibilität bei der Wahl der Arbeitszeit) leichter Entscheidungen treffen können, ob sie in den Nebenerwerb gehen oder im Haupterwerb bleiben. Wesentlichsten Einfluss auf die Gestaltung der Umwelt Arbeitsmarkt haben die Betriebe, die für die Verfügbarkeit von Arbeitsplätzen verantwortlich sind. Die betriebliche Standortattraktivität der Gemeinde wird unter anderem von der betrieblichen Infrastruktur in der Gemeinde wie Betriebsgrundstücke, Anbindung dieser an Verkehrsinfrastruktur, Bildungsinfrastruktur beeinflusst. Für einige Betriebe ist das Angebot an Rohstoffen von Bedeutung, z. B. für Betriebe der Lebensmittelverarbeitung, die bestimmte Bioprodukte benötigen, könnte dies ein Standortvorteil sein.

### 3. **Gemeindebudget**

Das Gemeindebudget speist sich aus der Anzahl der Haushalte der Gemeinde und der Touristen, die pro Jahr in der Gemeinde gezählt werden. Die Höhe des Budgets hat im ersten Schritt Einfluss auf das Reproduktionsniveau der Gemeinde, die mit diesem Geld Investitionen tätigt v.a. in Infrastruktur und Bauland, und so die Umwelten der anderen Agenten beeinflusst.

### 4. **Landschaft**

Die Landschaft der Gemeinde wird wesentlich durch die Landnutzungsentscheidungen der Agenten landwirtschaftliche Betriebe, ÖBF, Nationalpark und die Flächenwidmung der Gemeindeverwaltung bestimmt. Betriebsansiedlungen von Unternehmen der Schwerindustrie würden die Attraktivität der Gemeinde für Touristen und Haushalte massiv reduzieren, die Errichtung von Freizeiteinrichtungen durch die Gemeinde z. B. in Form eines Freibades erhöhen die Attraktivität der Gemeinde und damit die Lebensqualität für Haushalte und Touristen.

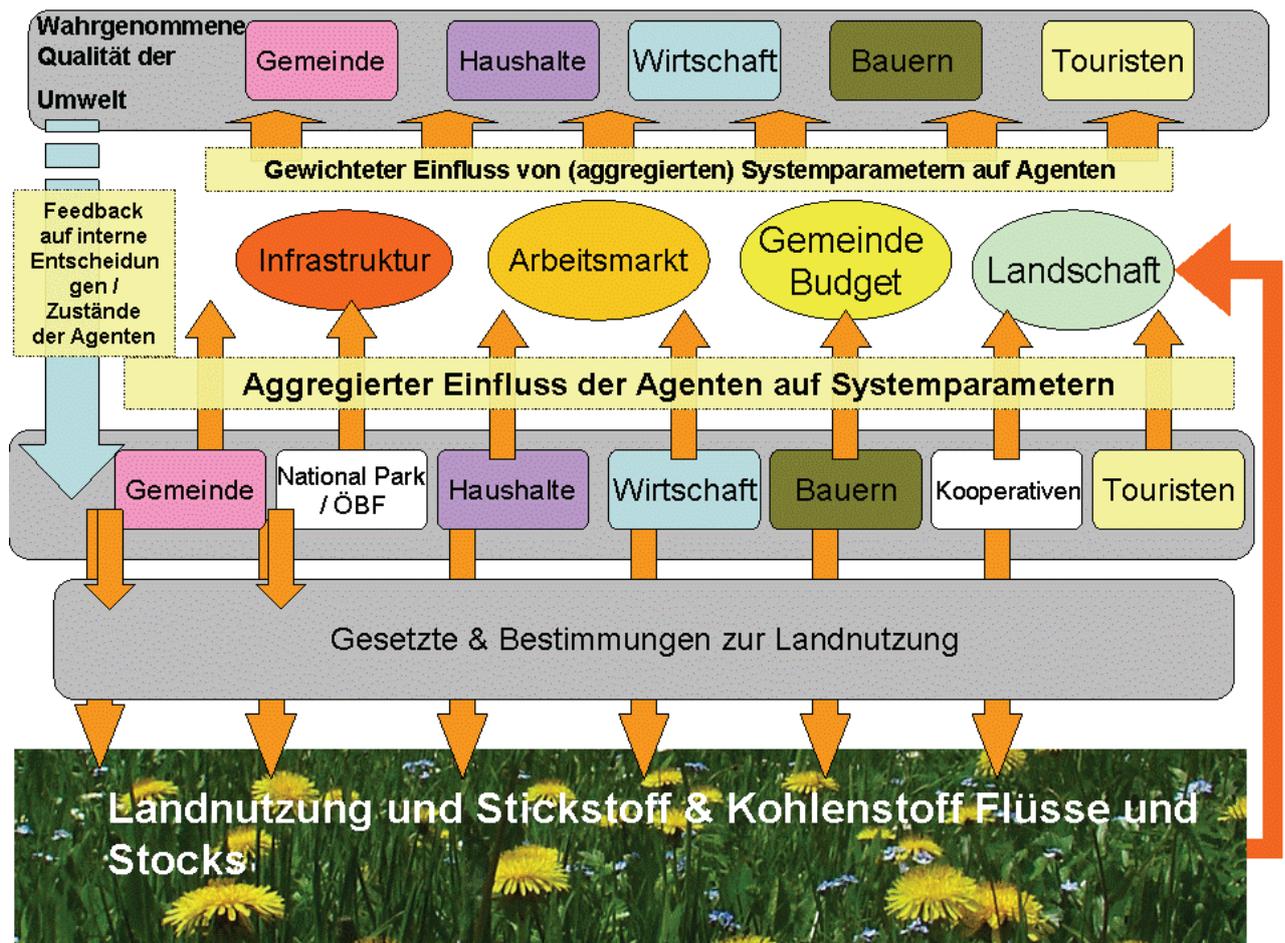


Abbildung 7: Konzeptueller Aufbau des Modells.

Der Begriff „Qualität“ bezeichnet im Modell den Zustand eines der vier für die Akteure wesentlichen Bereiche. Die verschiedenen Kennzahlen die diesen Zustand ausdrücken, nehmen im Modell Werte zwischen -5 und +5 an. Die daraus resultierende „Lebensqualität“ oder „Reproduktionsniveau“ für die unterschiedlichen Agenten wird dadurch errechnet das die Qualitäten der für den Agenten relevanten Bereiche addiert und gewichtet werden (Tabelle 3).

Tabelle 3. Gewichtung der unterschiedlichen Bereiche für die jeweiligen Agenten

<b>Haushalte</b>	Qualität = $0.53 \cdot \text{infrastructure} + 0.37 \cdot \text{labourMarket} + 0.10 \cdot \text{landscape}$
<b>Tourismus Betriebe</b>	Qualität = $0.36 \cdot (\text{infrastructure.CT\_I\_NP} + \text{infrastructure.CT\_I\_M}) / 2.0 + 0.2 \cdot \text{landscape.CT\_L} + 0.14 \cdot \text{tourists.CT\_T} + 0.3 \cdot \text{labourMarket.QP}$ ;
<b>Andere Betriebe</b>	$\text{enterprises.LQ\_CO} = (\text{infrastructure.CO\_I\_M} + \text{labourMarket.QP}) / 2.0$ ;
<b>Landwirte</b>	Qualität = $0.15 \cdot \text{infrastructure} + 0.20 \cdot \text{labourMarket} + 0.10 \cdot \text{landscape} + 0.25 \cdot \text{productQuality} + 0.25 \cdot \text{subsidiesQuality}$ ;
<b>Touristen</b>	Qualität = $0.3 \cdot \text{infrastructure.T\_I} + 0.4 \cdot \text{infrastructure.T\_Beds} + 0.3 \cdot \text{landscape.T\_L}$ ;
<b>Gemeinde</b>	Qualität = Budget

Bei den meisten Agenten, außer bei den Landwirten, wird die Anzahl (z.B. Anzahl der Haushalte) durch ein sinken der Lebensqualität negativ durch ein Steigen der Lebensqualität positiv beeinflusst. Die Lebensqualität für landwirtschaftliche Betriebe beeinflusst nicht direkt die Anzahl der Betriebe sondern die Entscheidungsstrategien der einzelnen Betriebe. Sie wirkt auf die Wahrscheinlichkeit, dass die landwirtschaftlichen Betriebe einen Nachfolger haben und dass sie sich in den Zustand (state) „Zufriedenheit“ und „zu wenig Einkommen aber ausreichend Zeit“ für ein Ausdehnen der Flächen entscheiden. Für die Berechnung der Lebensqualität für Landwirte werden noch zwei externe Kennzahlen herangezogen: productQuality und subsidiesQuality drücken die Entwicklung in den Preisen für landwirtschaftliche Produkte und in den Subventionen aus. Diese können durch die Regler „Preise für landwirtschaftliche Produkte“ und „Landwirtschaftliche Förderungen“ verändert werden.

Die Qualitäten werden wie folgt berechnet:

### **(1) Landscape Quality**

Die „Landscape Quality“ beeinflusst Haushalte, Landwirte, Touristen und Tourismus Betriebe auf unterschiedliche Weise. Neben Unterschieden in der Gewichtung (im Vergleich zu den anderen „Qualitäten“) stehen für die verschiedenen Akteure andere Eigenschaften der Landschaft im Vordergrund. Dies wird bei der Berechnung der Qualitäten für die einzelnen Agenten berücksichtigt. Die Verhältnisse folgender Flächen fließen in die Berechnung der Landschafts-„Qualität“ ein:

- Naturfläche/Baufläche
- Andere Naturfläche/Wald
- Wohnraumfläche/Baufläche

Wobei sich die einzelnen Flächen wie folgt berechnen:

- Waldfläche=Summe der Hektar der Waldstücke
- andere Naturfläche=Summe der Hektar der Landstücke
- Naturfläche=Waldfläche+andere Naturfläche
- Baufläche=Gesamte Fläche in Reichraming – Naturfläche
- Wohnfläche=Haushalte \*350m<sup>2</sup>

### **Landscape Quality Haushalte (LQ\_H):**

Die Landscape Quality Haushalte wird aus der Veränderung folgender Verhältnisse:

- Wohnraumfläche/Bauland HH\_L\_W
- Naturfläche/Baufläche HH\_L\_N
- andereNaturfläche/Waldfläche HH\_L\_aN

und dem Angebot an Wohnfläche (HH\_L\_W) berechnet. Wenn 10% mehr Wohnfläche da ist als nachfragt wird, dann ist der Indikator HH\_L\_W +5, wenn kein zusätzliches Wohnraumangebot da ist, dann ist der Indikator -5. Aus diesen Werten wird das gewichtete Mittel:  $HH_L = HH_L_W * 0,6 + HH_L_N * 0,2 + HH_L_{aN} * 0,2$  gebildet, das dann die Landschaftsqualität aus Sicht der Haushalte widerspiegelt.

#### Landscape Quality Touristen (T\_L)

Die Landscape Quality Touristen wird aus der Veränderung folgender Verhältnisse:

- Naturfläche/Baufläche T\_L\_N
- andereNaturfläche/Waldfläche T\_L\_aN

berechnet. Aus diesen Werten wird das gewichtete Mittel:  $T_L = T_L_N * 0,5 + T_L_{aN} * 0,5$  gebildet, das wiederum die Landschaftsqualität aus Sicht der Touristen widerspiegelt.

#### Landscape Quality Farms

Die Landscape Quality Farms wird aus der Veränderung des Verhältnisses

- andereNaturfläche/Waldfläche

berechnet.

#### **(2) Infrastructur Quality**

Die „Infrastructure Quality“ ergibt sich aus den vier Bereichen:

- Infrastruktur für Touristen
- Nationalpark Infrastruktur
- ÖBF Infrastruktur
- Gemeinde Infrastruktur

#### Betriebe:

Gemeinde Infrastruktur: Lineare Transformation des Budgets für Infrastruktur von 0 – 5 Mio. € auf -5 bis + 5

#### Landwirtschaftliche Betriebe:

- Gemeinde Infrastruktur: 0,5% des Gemeindebudgets, maximal 1 Mio. Euro
- Nationalpark Infrastruktur
- ÖBF Infrastruktur

### Haushalte:

- Gemeinde Infrastruktur: 10% des Gemeindebudgets, maximal 10 Mio. Euro

### Touristen:

- Infrastruktur für Touristen
- Gemeinde Infrastruktur: 0,5 % des Gemeindebudgets, maximal 1 Mio. Euro
- Nationalpark Infrastruktur
- ÖBF Infrastruktur

Zusätzlich fließt noch Information über die Anzahl der verfügbaren Betten in die Berechnung ein.

### **(3) Arbeitsmarkt Qualität**

Die Qualität des Arbeitsmarktes ist von den vorhandenen Arbeitsplätzen abhängig. Je nachdem, ob ein Agent auf dem Arbeitsmarkt Arbeit anbietet (Betriebe) oder Arbeit sucht (Haushalte und Farms), sind das Arbeitskraftangebot oder das Arbeitsplatzangebot ausschlaggebend.

Sie werden wie folgt berechnet:

Arbeitskraftangebot (von Arbeitskräften) und zugleich Arbeitsplatznachfrage: Anzahl der Haushalte \* 1,2 (Arbeitskräfte Vollzeit pro Haushalt) + Vollzeitarbeitskräfte der landwirtschaftlichen Haushalte ( $h_{nonagri}/Arbeitsstage\_pro\_Jahr/8\ h\_am\_Tag$ )

Arbeitsplatzangebot (von Unternehmen) und zugleich Arbeitskraftnachfrage: Tourismusbetriebe \* 5 + sonstige Betriebe \* 4 + Bioenergiebetriebe \* 3 + 10 (Gemeindebedienstete)

### **(4) Budget**

Wird durch die Höhe des Budgets bestimmt das wie folgt berechnet wird:

Gemeindebudget = Anzahl Haushalte \* 10.000 + Anzahl der sonstigen Unternehmen \* 2000 + Anzahl der Tourismusbetriebe \* 5.000 + Anzahl der LW HH \* 10.000 + Anzahl der Touristen \* 100

### **Zeitschritte**

Simuliert wird ein Jahreszyklus. Sämtliche Systemvariablen werden pro Jahr ermittelt und auch Entscheidungen der landwirtschaftlichen Haushalte werden einmal pro Jahr getroffen. Zeitschritt der Simulation ( $\Delta t$ ) ist damit ein Jahr. Ein Modellauf umfasst 30 Jahre.

## ***Stoffflussmodell***

Das Stoffflussmodell ist ein Teil des Sozioökonomisch-ökologischen Modells und dient dazu, ökologisch relevante Stoffflüsse (in diesem Fall Kohlenstoff- und Stickstoffflüsse) der Gemeinde Reichraming zu modellieren. Durch die direkte Koppelung zum agentenbasierten sozio-ökonomischen Modellteil können die Auswirkungen der möglichen Entwicklungen der Gemeinde auf diese Stoffkreisläufe integriert simuliert werden.

Das Stoffflussmodell berechnet die folgenden Teile des Kohlenstoff (C) und Stickstoff (N) Kreislaufes:

- C und N Speicher in Boden und Vegetation der einzelnen Grünland- und Waldflächen
- C Bilanz von Grünlandflächen, Waldflächen, landwirtschaftlichen Betrieben und der Gemeinde gesamt
- Treibhausgasemissionen (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O)
- N-Verluste ins Grundwasser (NO<sub>3</sub>) und als NH<sub>3</sub> in die Atmosphäre.

Der Kohlenstoff und Stickstoffkreislauf der Gemeinde wird durch unterschiedlichste Faktoren beeinflusst (z.B. natürliche Flüsse in Wäldern und Wiesen, landwirtschaftliche Bewirtschaftung, privater Energieverbrauch), die jeweils von verschiedenen Modellteilen berechnet werden.

Einer der grundlegenden Bereiche für die Modellierung der Stoffflüsse im Gemeindegebiet sind die natürlichen Kohlenstoff- und Stickstoffflüsse in Boden und Vegetation der Waldgebiete und Grünlandflächen wie z.B. die Kohlenstoffassimilation durch Nettoprimärproduktion, Abbau von organischem Kohlenstoff durch heterotrophe Respiration und Stickstoffverlust durch natürliche Auswaschung oder Ausgasung. Die Berechnung dieser Stoffflüsse erfordert allerdings eine komplexe biogeochemische Modellierung, die auch Klima, geologische Faktoren und den Wasserkreislauf berücksichtigt.

Da das Modell räumlich explizit arbeitet, also geologische und geographische Daten (zb. Höhenlage, Exposition, geologischer Untergrund, Bodentyp, Vegetation) auf räumlicher Basis in hoher Auflösung zur Verfügung stehen, ist es prinzipiell möglich, für alle Wald- und Grünlandparzellen auf dem Gemeindegebiet genaue Berechnungen der natürlichen Kohlenstoff und Stickstoffflüsse durchzuführen. Andererseits erfordern detaillierte Berechnungen genaue (und validierte) biogeochemische Modelle und einen hohen Aufwand an Rechenzeit.

Unser Ziel für die Stoffflussmodellierung von Reichraming war es, einerseits hinreichend genaue Berechnungen der C und N Flüsse durchzuführen und andererseits ein Modell zu ha-

ben, das als Gesamtmodell voll integriert ist und so auf jede mögliche Änderung der Flächenbewirtschaftung durch die Agenten unmittelbar reagieren kann. Zusätzlich sollte das Modell einen Simulationszeitraum von 50 Jahren in wenigen Minuten durchspielen können, wodurch komplizierte Berechnungen für viele verschiedene Parzellen (biogeochemische Modelle berechnen üblicherweise in Tagesschritten) nicht möglich sind.

Um dieses Ziel zu erreichen, wurden Vorberechnungen für alle Parzellen des Gemeindegebietes mit dem an der Universität für Bodenkultur Wien für europäische Waldökosysteme und Graslandtypen adaptierten biogeochemischen Ökosystem-Modell BIOME-BGC durchgeführt (Petritsch et al. 2007, Pietsch und Hasenauer 2006, 2005, 2003, 2002, Pietsch et al. 2005, 2003, Thornton et al. 2002, Thornton 1998). Mit diesem Modell wurden Jahresmittelwerte für C- und N-Pools und -Flüsse für den Istzustand aller Flächen vorberechnet und darauf aufbauend die C- und N-Flüsse für alle möglichen Kombinationen aus geologisch/geographischen Bedingungen und Flächenbewirtschaftungen, die im Laufe einer Simulation vorkommen können. Die Ergebnisse dieser Berechnungen stehen dem Stoffflussmodell nun als Prozessdaten zur Laufzeit zur Verfügung und bilden die Grundlage für die flächenbezogenen Stoffflussberechnungen.

Zusätzlich zu den parzellenbezogenen, naturräumlichen Stoffkreislaufberechnungen gibt es Modellteile, die Stoffkreisläufe auf Bauernhöfen, in der Forstwirtschaft und in den Haushalten und Betrieben der Gemeinde berechnen. Einer der komplexeren Systeme sind dabei die landwirtschaftlichen Betriebe, deren Kohlenstoff und Stickstoffflüsse vom Stoffflussmodell für jeden Hof einzeln simuliert werden. Zur Berechnung des N-Kreislaufs auf einem Bauernhof, vom N in der Ernte über die Viehfütterung bis zum „feldfallenden“ Stickstoff im Wirtschaftsdünger wurde dabei auf die Analyse der vorhandenen Daten mit Hilfe eines bereits bestehenden „Hoftormodells“ zurückgegriffen (Guggenberger 2006, Steinwider und Guggenberger 2003).

Durch die gemeinsame Modellierung aller wesentlichen Kohlenstoff und Stickstoffflüsse der Gemeinde (aus Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Haushalten und Betrieben) und die direkte Einbindung in das sozio-ökonomische Modell ist es möglich die Folgen verschiedenster sozio-ökonomischer Entwicklungen auf den Kohlenstoff- und Stickstoffkreislauf der Gemeinde darzustellen.

### **Carbon balance**

Einer der Schwerpunkte des Stoffflussmodells ist die Erstellung einer Kohlenstoffbilanz für die verschiedenen Teilsysteme von Reichraming (Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Haushalte, Betriebe). Um die Kohlenstoffbilanz eines Ökosystems zu beschreiben, wird oft der Begriff „Net ecosystem production“ (NEP) verwendet, der die Differenz zwischen der Gesamt-

Kohlenstoffaufnahme des Systems durch Photosynthese (Gross primary production – GPP) und der gesamten ökosystemaren Respiration (Ecosystem respiration - ER) beschreibt (Woodwell and Whittaker 1968). Eine positive NEP bedeutet, dass das Ökosystem netto Kohlenstoff akkumuliert wird, eine negative NEP, dass es Kohlenstoff verliert.

Die NEP beinhaltet jedoch nur den direkten Kohlenstoffaustausch zwischen Ökosystem und Atmosphäre, und ist daher für viele Anwendungen nicht ausreichend. Um eine Kohlenstoffbilanz zu beschreiben, die auch andere, laterale, C Transporte aus dem System berücksichtigt (z.B. durch Ernte), wurde in den letzten Jahren die erweiterte Definition NECB (Net ecosystem carbon balance) vorgeschlagen (Chapin et al 2006). Die von unserem Stoffflussmodell berechneten Kohlenstoffbilanzen basieren auf diesen Definitionen von NEP und NECB, zusätzlich wurde ein analog zu verstehender Begriff für die Stickstoff Akkumulation eingeführt: NENB (Net ecosystem nitrogen balance).

$$NEP = GPP - ER = NPP - r_{het}$$

(Akkumulation oder Verlust von C im Ökosystem)

$$NECB = NPP - r_{het} - harvest$$

(Akkumulation oder Verlust von C im Ökosystem, berücksichtigt lateralen Transfer von C)

NENB

(Akkumulation oder Verlust von N im Ökosystem)

NEP	Net Ecosystem Production
GPP	Gross Primary Production
NPP	Net Primary Production
ER	Ecosystem Respiration
$r_{het}$	Heterotrophe Respiration
harvest	C Verlust durch Ernte
NECB	Net Ecosystem Carbon Balance
NENB	Net Ecosystem Nitrogen Balance

NECB und NENB können positiv (Akkumulation) oder negativ (Verlust) sein. Wenn eine Grünland- oder Waldfläche eine positive NECB hat, bedeutet das, dass dort Kohlenstoff akkumuliert wird, trotz Entnahme durch Ernte und Abbauvorgängen im Boden. Eine positive Kohlenstoffbilanz könnte z.B. bei einem (Jung)-Wald der Fall sein, der schneller nachwächst als Holz entnommen wird. Ein Landstück mit positiver NECB wäre demnach eine Senke für Kohlenstoff bezogen auf die Atmosphäre (wobei es natürlich gerade bei Wäldern stark auf die Länge des betrachteten Zeitraums ankommt, dieser muss groß genug sein um einen vollständigen Wachstums-/Erntezyklus zu enthalten). Aber selbst wenn ein Landstück selbst eine positive NECB hat, weil es Kohlenstoff akkumuliert, kann dessen Bewirtschaftung netto zum

Kohlenstoffverlust gegenüber der Atmosphäre beitragen, wenn man es von einer höheren Ebene aus betrachtet, z.B. von der des bewirtschaftenden Betriebes. Deswegen beschreibt das Modell sowohl die NECB auf Landstückebene (NECB\_grassland bzw. NECB\_forest) und auch auf Ebene des bewirtschaftenden Betriebes (NECB\_farm bzw. NECB\_forestEnterprise), sowie auf Ebene der Gemeinde.

### **Nitrogen balance**

Die Berechnung von NENB gestaltet sich ein wenig anders als beim Kohlenstoff, vor allem in landwirtschaftlichen Betrieben, weil ein Teil des N im System selbst im Kreis geführt wird. Hier ist es nicht so wesentlich, ob NENB positiv oder negativ ist - auch eine hohe Akkumulation von N im Ökosystem sagt nichts aus über die N-Menge die an die Umwelt in Form von Gasen oder als Eintrag ins Grundwasser verloren geht. Das kommt daher, weil N in größeren Mengen in Form von zugekauftem Proteinkraftfutter oder zugekauftem Dünger von außen ins System gebracht wird, wobei ein Teil im System akkumuliert, ein Teil über die Ernte ans Vieh verfüttert wird und somit im Kreis geführt wird und ein Teil über verschiedene Prozesse verloren geht. Wenn viel von außen hineingebracht wird, kann unter Umständen einiges akkumulieren, aber auch gleichzeitig viel in unerwünschter Form verloren gehen und die Umwelt belasten. Hier gilt: je geschlossener der N-Kreislauf, d.h. je mehr N verlustfrei im Kreis geführt werden kann und je weniger von außen eingebracht werden muss, desto besser/nachhaltiger ist das System. Aus diesem Grund haben wir im Modell einen Indikator für die Geschlossenheit des N-Kreislaufs in landwirtschaftlichen Betrieben eingeführt, „Prozent\_N\_internal\_recycled“, der beschreibt, wie viel Prozent des gesamten N-Flusses hofintern rezykliert wird. Zusätzlich sind die Form der N-Verluste für jeden Hof genau aufgeschlüsselt. Das auch deswegen, weil die verschiedenen Formen des N-Verlustes verschiedene Auswirkungen auf die Umwelt haben:  $N_2O$  ist ein Treibhausgas,  $NH_3$  belastet die Umwelt, weil es im regionalen Umkreis die N-Deposition erhöht,  $NO_3$  belastet das Grundwasser.

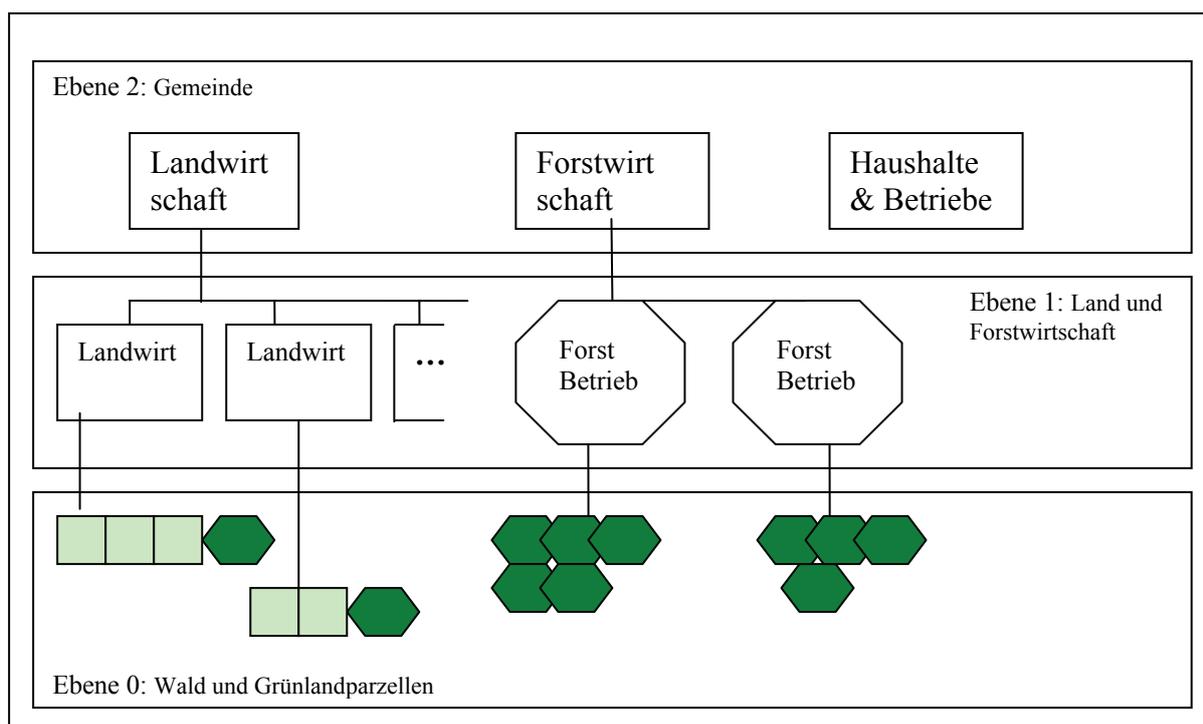
In anderen Modellteilen (z.B. Waldflächen, Forstwirtschaft) ist der N-Kreislauf ein wenig einfacher modelliert, da kein zusätzlicher Eintrag von außen (abgesehen von der anthropogen verursachten N-Deposition) stattfindet.

### **Modellebenen**

Um Aussagen über die C/N-Bilanz eines Systems machen zu können, ist es wichtig, seine Systemgrenzen genau zu definieren. Die Kohlenstoffbilanz eines Feldes könnte z.B. einerseits nur durch die Differenz von Kohlenstoffaufnahme durch Photosynthese und Kohlenstoffverlust durch Veratmung bzw. Ernte beschrieben werden oder aber andererseits auch die zusätzlichen Kohlenstoffverluste durch landwirtschaftliche Bearbeitung und Transportkosten be-

rücksichtigen. Letztere stellen auch mit dem Feld assoziierte Kohlenstoffverluste an die Atmosphäre dar, auch wenn der Kohlenstoff nicht direkt aus dem Feld stammt.

Das hier entwickelte Stofffluss-Modell berechnet C- und N-Bilanzen auf drei verschiedenen Ebenen (mit unterschiedlichen Systemgrenzen). Die erste Ebene ist die Landschaftsebene, auf der C- und N-Flüsse für ein abgegrenztes Stück Feld oder Wald berechnet werden, nur unter Berücksichtigung der naturräumlichen Flüsse. Die zweite Ebene ist die eines landwirtschaftlichen (Hofebene) oder eines forstwirtschaftlichen Betriebes, auf der auch der Kohlenstoff für Bewirtschaftungsaufwand, Kraftfutterimport, Holztransport etc berücksichtigt wird. Gerade auf Hofebene sind naturgemäß durch die Kreislaufwirtschaft Kohlenstoff- und Stickstoffkreislauf sehr eng miteinander verknüpft. Die dritte Ebene ist schließlich die Gemeindeebene, die auch die weiteren Emissionen der Gemeinde, wie z.B. Energieverbrauch durch Haushalte und Betriebe mit einbezieht. Letztendlich können die Ergebnisse der zweiten Ebene durch die jeweils zu den einzelnen landwirtschaftlichen/forstwirtschaftlichen Betrieben assoziierten Flächen wieder auf räumliche Einheiten umgelegt und dargestellt werden (Abbildung 8).



**Abbildung 8. Modellebenen des Stoffflussmodells.**

**Ebene 0 besteht aus 2640 Wald und Grünlandeinheiten, Ebene 1 aus 51 landwirtschaftlichen Betriebe und zwei Forstbetrieben („Steyrtal“ und „NP Kalkalpen“), auf Ebene 2 werden Landwirtschaft, Forstwirtschaft, sowie Haushalte und Betriebe zusammengefasst.**

### **Datengrundlagen**

Als Grundlage für die Stoffflussmodellierung standen eine Vielzahl verschiedener Datensätze zur Verfügung (Operatsdaten der Österreichischen Bundesforste, INVEKOS Datensatz für

landwirtschaftliche Betriebe, Bodendaten, Daten der digitalen Katastralmappe etc.) die zuerst integriert und aufbereitet werden mussten. Tabelle 4 gibt einen Überblick über die für die verschiedenen Modellteile als Grundlage dienenden Datensätze, Daten die durch die Vorberechnungen mit dem BIOME-BGC zur Verfügung stehen, sowie die durch das Modell während der Simulation berechneten Ergebniswerte.

**Tabelle 4. Datengrundlage und vom Modell berechnete Outputwerte der einzelnen Modellkompartimente.**

	<b>Datengrundlage</b>	<b>Ausgabewerte BGC</b>	<b>Berechnungen Modell</b>
Waldparzellen	ÖBF: Operatsdaten (Bodentyp, Seehöhe, Neigung, Exposition, Baumart, Baumaltersklassen)	C+N Pool Vegetation (oberirdisch+unterirdisch) C+N Pool Boden C+N Pool Streu+Totholz Ertrag N-Auswaschung N-Ausgasung NPP Heterotrophe Respiration	NEP (C) NECB (C) NENB (N) N-Verluste (NO <sub>3</sub> , N <sub>2</sub> O)
Grünlandparzellen	INVEKOS Daten (Düngeinput, Schnitthäufigkeit, Beweidungsintensität), GIS-Landnutzungsdatensatz (SEGER), Bodendaten, GIS-Höhenmodell (Bodentyp, Seehöhe, Neigung, Exposition, Düngeinput,	C+N Pool Vegetation (oberirdisch+unterirdisch) C+N Pool Boden C+N Pool Streu+Totholz C+N abgeweidet C+N gemäht N-Auswaschung N-Ausgasung NPP Heterotrophe Respiration	NEP (C) NECB (C) NENB (N) N-Verluste (NO <sub>3</sub> , N <sub>2</sub> O, NH <sub>3</sub> ) N-Verlust per Input (N)
Landwirtschaftlicher Betrieb	INVEKOS Daten, Daten aus Fragebogenerhebung (GVE/ha, Betriebstyp, Milchleistung)		<b>C:</b> NECB_Grünland (C) NECB_Wald (C) Emissionen Kraftfutterimport (CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O) Emissionen Energie (CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O) Emissionen Tierhaltung (CH <sub>4</sub> ) NECB_Hof <b>N:</b> NENB_Grünland (N) NENB_Wald (N) N-Verluste Futterkonservierung (NH <sub>3</sub> , N <sub>2</sub> O) N (Dung)Lagerungsverluste (N <sub>2</sub> O, NH <sub>3</sub> ) N (Dung)Ausbringungsverluste (N <sub>2</sub> O, NH <sub>3</sub> ) NH <sub>3</sub> -Loss NLeaching N <sub>2</sub> O emissions gesamt CH <sub>4</sub> emissions gesamt CO <sub>2</sub> emissions gesamt Greenhousegas-emissions Percent_NInternal_Recycled
Forstwirtschaftlicher Betrieb	Persönliches Gespräch mit Forstmeister (Holzverwendung, Holztransporte), GEMIS-Daten (Forstbewirtschaftungs-emissionen, Transportemissionen)		Transportemissionen (CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O, CH <sub>4</sub> ) Turnover geerntetes Holz (CO <sub>2</sub> ) Emissionen Energie (CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O, CH <sub>4</sub> )
Haushalte	Haus- und Wohnungszählung (Statistik Austria)		Emissionen Energie (CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O, CH <sub>4</sub> )
Betriebe	Arbeitsstättenzählung (Statistik Austria)		Emissionen Energie (CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O, CH <sub>4</sub> )

Nach einer entsprechenden Aufbereitung der vorhandenen Daten (Kombination des INVEKOS-Datensatzes mit GIS-Landnutzungsdatensatz, Bodendatensatz und digitalem Höhenmodell, Abgrenzung der ÖBF-Operatsdaten auf das Gemeindegebiet, Zuordnung von INVEKOS-Bewirtschaftungseinheiten zu räumlichen Einheiten) werden die Wald und Grünlandflächen von Reichraming im Modell durch 445 Schläge, 205 Privatwaldgrundstücke und 1990 Waldoperate der Bundesforste abgebildet.

Diese so genannten „Landstücke“ stellen Bewirtschaftungseinheiten im Modell dar, wobei zu jedem Landstück genaue Informationen über Boden, Untergrund, Vegetation und Bewirtschaftungsart vorhanden ist. Jedes dieser Landstücke wird im Modell entweder zu einem der 51 landwirtschaftlichen Betriebe zugeordnet (die jeder durch einen eigenen „Agenten“ im sozio-ökonomischen Modellteil repräsentiert sind), oder zu einem der beiden Forstbetriebe (Forstbetrieb Steyrtal und Forstbetrieb „Nationalpark Kalkalpen“, entsprechen den beiden Agenten „Bundesforste“ und „Nationalpark“ im sozio-ökonomischen Modellteil) und wird von diesem bewirtschaftet. Landwirtschaftliche Betriebe können mehrere Schläge und Waldgrundstücke bewirtschaften, Forstbetriebe nur Waldgrundstücke.

### **Simulationsablauf**

Während der Simulation wird jedes Jahr für die Bereiche Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Haushalte und Betriebe eine Berechnung des Kohlenstoff- und Stickstoffkreislaufes durchgeführt. Für land- und forstwirtschaftliche Betriebe wird dabei zunächst für alle zu diesem Betrieb gehörenden Landstücke eine C/N-Fluss Modellierung durchgeführt. In diese Berechnung fließt einerseits die vorgegebene Lage und Qualität dieses Landstücks ein und andererseits die aktuelle Bewirtschaftung durch den landwirtschaftlichen/forstwirtschaftlichen Betrieb. Landwirtschaftliche Betriebe können (innerhalb des sozio-ökonomischen Modellteils) jedes Jahr über Betriebstypenwechsel (z.B. Milchkuh->Mutterkuh), Intensitätsstufenwechsel (Intensivierung oder Extensivierung) oder pachten/verpachten ihrer Flächen entscheiden, mit unmittelbaren Auswirkungen auf die Stoffflussberechnungen. Forstwirtschaftliche Betriebe haben weniger Entscheidungsmöglichkeiten, per Definition nutzt der Forstbetrieb „Nationalpark Kalkalpen“ seine Waldflächen seit 1997 nicht mehr forstwirtschaftlich, der Forstbetrieb „Steyrtal“ hingegen schon. Theoretisch könnten sich die Betriebe dazu entscheiden, alle Nadelwaldbestände in niedrigen Lagen auf Laubwald umzustellen oder – im Fall des Forstbetriebs Steyrtal – alle Flächen außer Nutzung zu stellen. Diese Entscheidungsmöglichkeiten sind allerdings im sozio-ökonomischen Modell noch nicht implementiert.

Nachdem für jeden landwirtschaftlichen/forstwirtschaftlichen Betrieb die C/N-Flüsse aller Landstücke ausgerechnet wurden, werden die C/N-Flüsse auf Betriebsebene berechnet (Summe aller Flüsse der Landstücke und zusätzlich C/N-Flüsse für Kraftfutterverbrauch, Energieeinsatz, Tieremissionen, Holztransport). Schließlich wird die Emissionsberechnung für Haus-

halte und (andere) Betriebe durchgeführt und dann werden die C&N-Bilanzen auf Gemeindeebene nach den Sektoren Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Haushalte&Betriebe aufsummiert. Die Ergebnisse werden einerseits als Protokolldateien ausgegeben, sind andererseits teilweise auf der interaktiven Oberfläche graphisch dargestellt.

Zusätzlich können die Ergebnisse über die GIS-Schnittstelle räumlich im GIS dargestellt werden. Damit kann z.B. visualisiert werden, wie hoch der C-Speicher der einzelnen Landstücke nach 50 Jahren ist bzw. wie/ob er sich verändert hat, oder wie hoch die gesamten N-Verluste eines Feldstücks in diesem Zeitraum sind.

## **Modellierung der C und N Flüsse für Wald- und Grünlandflächen**

### **(1) Waldflächen**

Der größte Teil des Waldbestandes von Reichraming wird durch die Österreichischen Bundesforste verwaltet, einerseits durch den Forstbetrieb Steyrtal, der die Waldflächen im Norden von Reichraming bewirtschaftet, sowie durch den Forstbetrieb Nationalpark Kalkalpen, der für die zum Nationalpark Kalkalpen gehörende Waldfläche zuständig ist. Insgesamt befinden sich ca 2100 sogenannte Unterabteilungen (oder Forstoperate) der Bundesforste auf der Gemeindefläche von Reichraming, für die detaillierte Daten über Baumartenzusammensetzung, Altersklassenstruktur, Boden, Nutzung etc. vorliegen. Da es im Rahmen des Projektes nicht möglich war, so viele Simulationen durchzuführen, wurden die für die Modellierung wesentlichen Parameter in Kategorien eingeteilt, um Unterabteilungen mit ähnlichen Standortbedingungen herausfinden und in „Standortstypen“ gruppieren zu können.

Dafür wurden die vorkommenden Werte für Seehöhe, Exposition, Neigung, Alter und Baumarten in Kategorien nach folgendem Schema eingeteilt:

- *Seehöhe:* 400-800m; 900-1200 m;1300-1500m
- *Neigung:* 0- 20; 25-50
- *Alter:* 0- 60 J; 65-130 J; 135-170;175-240 J
- *Exposition:* S,O,W,N
- *Baumart:* Laubholz, Nadelholz

Mithilfe dieser Kategorien und dem in den Operatsdaten vorgegebenen Feld „Standortseinheit“ (beschreibt Bodeneigenschaften/Geologie) wurden Datensätze, die in allen Kategorien gleich waren, zu Standortstypen zusammengefasst. Zusätzlich musste jede Unterabteilung auch bei gemischtem Baumbestand entweder als „Laubwald“ oder als „Nadelwald“ klassifiziert werden, weil BIOME-BGC keine Mischwälder simulieren kann. Da eine Unterabteilung aus verschiedenen Bestandesschichten mit unterschiedlicher Baumartenzusammensetzung

bestehen kann, mussten die Datensätze auf eine Bestandesschicht reduziert werden. Dafür wurde jeweils die erste (=dominanteste bezogen auf Vorrat und Alter) ausgewählt.

Nach der Analyse blieben ca 600 Standortstypen übrig, 300 im Forstbetrieb Steyrtal und 300 im Forstbetrieb Nationalpark Kalkalpen (Da die Waldstücke in den beiden Forstbetrieben eine unterschiedliche Nutzungsgeschichte haben, wurden die Standortgruppen für beide Forstbetriebe separat erstellt). Für die Simulation der Waldflächen im Nationalpark Kalkalpen wurde für die Zeit vor 1997 eine normale forstwirtschaftliche Nutzung (wie derzeit im Forstbetrieb Steyrtal) angenommen. Ab 1997 (Eröffnung des Nationalparks) wird eine Nutzungsaufgabe simuliert. Für die Nutzung wurde eine Rotationsperiode von 240 Jahren bei Laubholzbeständen bzw. 170 Jahren bei Nadelholzbeständen sowie Durchforstungen nach jeweils 40 und 70 Jahren angenommen. Alle Modellberechnungen wurden ohne Berücksichtigung von Klimaänderungsszenarien für den Zeitraum 1987-2086 durchgeführt und basieren auf täglichen Klimawerten, die mittels des Interpolationstools DAYMET für den Zeitraum 1960-2006 erstellt wurden (Petritsch, 2007).

Für alle Standortgruppen wurden Jahresmittelwerte für die Jahre 2006 – 2086 für folgende drei Szenarien berechnet:

- Simulation der gegebenen Nutzung bis zum Jahr 2087
- Simulation der Nutzungsaufgabe für alle Flächen des Forstbetriebs Steyrtal ab 2007
- Simulation einer Baumartenumstellung von Nadelbaum auf Laubbaum in allen Standorten in tieferen Lagen.

Die Auswahl der Szenarien war Ergebnis eines Szenarioworkshops mit Vertretern der Österreichischen Bundesforste.

Als Ergebnis der Biome-BGC Berechnungen standen dann Werte für C- und N-Stocks und -Flüsse (auf jährlicher Basis) für alle Standortgruppen und Optionen zur Verfügung (Tabelle 4). Diese Daten wurden über einen Schlüssel wieder zu den ursprünglichen Parzellen verlinkt, so dass für jede der im Rechraming-Modell eingelesenen 2100 Waldparzellen zur Laufzeit auf entsprechende Daten über biogeochemische Prozesse zugegriffen werden kann und diese als Basis für die C/N-Bilanzberechnung dienen.

## (2) Landwirtschaftliche Flächen

Die Aufbereitung der Informationen der landwirtschaftlichen Flächen gestaltete sich ein wenig schwieriger als die der ÖBF-Flächen, da die Information über landwirtschaftliche Bewirtschaftung über den INVEKOS-Datensatz nur auf Basis von landwirtschaftlichen Bewirtschaftungseinheiten, dem sogenannten „Schlag“ vorlag, die sich aber nicht so ohne weiteres zu Grundstücken zuordnen lassen, da sie einerseits über mehrere Grundstücke verteilt sein kön-

nen und andererseits ein Grundstück mehrere Schläge beinhalten kann. Die Grundstücke sind jedoch wiederum die Einheit für die Darstellung im GIS und somit mit anderen für die Berechnung notwendigen Informationen wie Höhenlage, Exposition, Bodentyp verknüpft. Es wurde ein Datensatz erzeugt, der eine Liste aller Schläge enthält, die über eine Zuordnung zu GIS Einheiten räumlich verortet sind und alle notwendigen Informationen zur Bewirtschaftungsart, geographischen Parametern und Bodentyp enthalten.

### *Standortsgruppen*

Biome-BGC berechnet C- und N-Flüsse im Grünland unter Berücksichtigung von Düngemenge und Düngzeitpunkt, sowie Schnitthäufigkeit bzw. Weideintensität. Wie bei den Waldflächen wurden auch hier wieder Schläge mit ähnlichen Standortseigenschaften zu Standortsgruppen zusammengefasst. Diese unterscheiden sich durch:

- Bodentyp
- Seehöhe (<600 m; 600-1200 m)
- Neigung (<25; 25-50)
- Exposition (S,O,W,N)
- Bewirtschaftungsart (einmahlige Wiese, mehrmahlige Wiese, Hutweide, Kulturweide)

Im Modell werden folgende sechs Bewirtschaftungsarten unterschieden:

- Einmahlige Wiese
- zweimahlige Wiese
- dreimahlige Wiese
- Hutweide
- Kulturweide
- Kulturweide intensiv

Für die Simulation mit dem BGC müssen die Menge und Ausbringungszeitpunkte des N-Düngers, sowie genauen Schnittzeitpunkte bzw. Weidedauer und Weideintensität bekannt sein. Deswegen mussten für die sechs vorkommenden Bewirtschaftungsarten Annahmen getroffen werden. Diese sollten auf den derzeit in Reichraming üblichen, durchschnittlichen Düng- und Schnittmengen beruhen. Da in Reichraming praktisch kein Mineraldünger zum Einsatz kommt, wurden Annahmen für N-Input durch Wirtschaftsdünger und Beweidung auf Basis der vorhandenen Informationen (Fragebogen, Invekos-Daten, Nährstoffbilanzdaten aus dem Hoftor-Modell der HBFLA Gumpenstein) und Gesprächen mit Reichraminger Landwirten getroffen.

### *N-Input durch Wirtschaftsdünger*

Von den 6 Bewirtschaftungsarten werden vier gedüngt, und zwar: Zweischnittwiese, Dreischnittwiese, Kulturweide und Kulturweide intensiv. Der durchschnittliche Wirtschaftsdünger in den verschiedenen Bewirtschaftungsformen in Reichraming wurde anhand der Informationen aus den Fragebögen (Information pro Hof und pro Bewirtschaftungsform) berechnet. Ergebnis (in kg N/ha/Jahr):

- Dreischnittwiese: 101,6
- Zweischnittwiese: 47,3
- Kulturweide: 16,5
- Kulturweide intensiv: 76,2

### *N- Input und Biomasseentnahme durch Beweidung*

Die beweideten Flächen erhalten ebenfalls einen regelmäßigen N Input durch die Exkretionen der beweidenden Tiere. Zur Berechnung des durchschnittlichen Dünginputs während der Beweidung mussten folgende Faktoren berücksichtigt werden:

- Weidezeit (Tage pro Jahr, Annahme: es wird 12 Stunden pro Tag beweidet).
- Viehbesatz auf der Weide (GVE/ha)
- N-Exkretion der Weidetiere (abhängig von Milchleistung).

Zusätzlich führt die Beweidung zu einer Biomasseentnahme, die ebenfalls abhängig von der Intensität der Beweidung ist. Man kann im einfachsten Fall annehmen, dass dieselbe Menge Stickstoff, die bei der Beweidung durch Fraß aus der Wiese entfernt wird, wieder durch die Ausscheidungen der Tiere während der Beweidung in die Wiese zurückkommt. Andererseits würde bei dieser Annahme nicht die Tierhaltungsintensität berücksichtigt werden. Unser Modell nimmt als Grundlage die Intensität des Landwirtschaftlichen Betriebes, die über Milchleistung und GVE/ha ausgedrückt ist. Je mehr GVE/ha und Milchleistung, desto mehr Kraftfutter muss zugefüttert werden und dieses Kraftfutter erhöht im Allgemeinen die N-Ausscheidungen der Tiere. Mithilfe des Nährstoffbilanzmodells der HBFLA Gumpenstein (Guggenberger, 2006) ließ sich aus den INVEKOS Daten für Reichraming ein Zusammenhang zwischen Milchleistung und GVE/ha und zugefütterter Kraftfuttermenge ableiten und daraus wiederum die N-Menge im Dung berechnen.

Ein landwirtschaftlicher Betrieb kann im Modell eine von drei (Tierhaltungs-) Intensitätsstufen annehmen, die durch verschiedene Intensitäten von GVE/ha und Milchleistung gekennzeichnet sind (Kapitel Modellierung der C und N Flüsse in der Grünlandwirtschaft“, Tabelle 5 und 6). Von der HBFLA Gumpenstein wurden Nährstoffbilanzberechnungen für alle Höfe in Reichraming basierend auf den aktuellen INVEKOS Daten durchgeführt, wobei unter anderem der feldfallende N pro GVE und Jahr errechnet wurde. Durch eine Einteilung aller vor-

handenen Höfe (Milchbetriebe) in eine der drei von uns definierten Intensitätsstufen konnte aus diesen Daten der durchschnittliche feldfallende N pro GVE für jede Intensitätsstufe abgeschätzt werden (siehe Tabelle 5).

**Tabelle 5. Durchschnittlich feldfallender N pro GVE und Jahr für jede Intensitätsstufe.**

**Berechnet aus Ergebnisdaten der Nährstoffbilanzanalyse mit dem Hoftormodell der HBFLA Gumpenstein.**

<i>Intensitätsstufe</i>	<i>GVE/ha</i>	<i>Milchleistung</i>	<i>feldfallender N</i>
<i>Betrieb</i>	<i>(von – bis)</i>	<i>(l)</i>	<i>(kg N/GVE/Jahr)</i>
I	0,5-0,99	< 4000	46,7
II	1-1,49	4000-5500	60,7
III	1,5-2,3	>5500	70,1

Für die Bewirtschaftungsformen „Hutweide“, „Kulturweide“ und „Kulturweide intensiv“ mussten Annahmen über Weidezeit und Viehbesatz getroffen werden. Mit Hilfe dieser Annahmen und den Berechnungen zu den N Ausscheidungen der Tiere bei verschiedenen Tierhalteintensitäten konnte der N Input während der Beweidung (in kg N/ha/Tag) für jede der drei Weideformen abgeschätzt werden:

**Tabelle 6. Modellannahmen über N-Input und Biomasseentnahme während Beweidung bei den drei im Modell vorkommenden Weidearten.**

	<i>Hutweide</i>	<i>Kulturweide</i>	<i>Kulturweide intensiv</i>
<i>Durchschnittliche GVE/ha*</i> :	0,8	1	1,2
<i>Koppeln*</i> :	-	3	5
<i>Weidezeit pro Koppel (Tage)*</i> :	182	56	28
<i>GVE/ha allgemein</i>	0,8	1	1,2
<i>GVE-Besatz während Beweidung (auf den beweideten Koppeln):</i>	0,8	3	6
<i>Tierhaltungsintensität</i>	I	I	II+III
<i>kg N Exkretion/GVE/Jahr**</i>	46,7	46,7	60,7/70,1
<i>N-Input (kg N/ha/Tag) auf die beweidete Fläche***</i>	0,051	0,192	0,538
<i>Biomasseentnahme während Beweidung (kg Trockenmasse /ha/Tag)****</i>	7,2	27	60

\*Annahmen über durchschnittliche GVE/ha, Koppeln und Beweidungsdauer bei verschiedenen Weideformen aus persönlicher Kommunikation mit Peter Mikota (Bauer in Reichraming) sowie aus Buchgraber et.al, 1994

\*\* abhängig von Tierhaltungsintensität, berechnet mit Nährstoffbilanzmodell (siehe Tabelle 2)

\*\*\*N-input pro Tag auf beweideter Fläche, berechnet nach folgender Formel

$(\text{kg N-Exkretion/GVE/Jahr})/365/2(\text{da nur } 12 \text{ h auf der Weide}) * \text{GVE Besatz während Beweidung}$

\*\*\*\*Biomasseentnahme richtet sich nach Grundfutterbedarf (Intensitätsstufe I: 9 kgTM /GVE/Tag, Intensitätsstufe II+III: 10 kg TM/GVE/Tag (Buchgraber et al, 1994)).

### *Parameter der Wiesen und Weidenbewirtschaftung als Input für BGC*

Aufgrund der Düngeinput-Berechnungen für Wiesen und Weiden und weiteren Informationen/Annahmen über Schnittzeitpunkte wurden für die Simulation der verschiedenen Bewirtschaftungsformen mit BIOME-BGC die in Tabellen 7 und 8 zusammengefassten Parameter festgelegt.

**Tabelle 7. Parameter für die Biome-BGC-Modellierung für Wiesen**

	<i>Düngungszeitpunkte</i>	<i>Düngemenge gesamt (kg N/ha/Jahr)</i>	<i>Schnittzeitpunkte</i>
<i>Einmahdige Wiese</i>	-	-	1.Juli
<i>Zweimahdige Wiese</i>	Anfang April	50	1.Juni
	Anfang November		1.August
<i>Dreimahdige Wiese</i>	Anfang April	100	20.Mai
	Anfang Juni		20.Juni
	Ende August Mitte Oktober		30.August

**Tabelle 8. Parameter für die Biome-BGC-Modellierung für Weiden**

	Weidezeiten	N-Input während Weidezeit (kg N/ha/Tag)	Biomasse entnahme während Weidezeit (kg TM/ha/Tag)	Düngezeiten	Düngemenge (kg/ha/Jahr)	Pflegeschnitt
<i>Hutweide</i>	30.4.-28.10 14.5-27.5	0,051	7,2	-	-	-
<i>Kulturweide</i>	25.6-8.7 6.8-19.8 17.9-30.9	0,192	27	Mitte Okt.	16	-
<i>Kulturweide intensiv</i>	30.4-6.5 28.5-3.6 2.7-8.7 13.8-19.8	0,645	60	Anfang Apr Mitte Okt.	76	1.Okt

Bei Weideformen mit mehreren Koppeln (Kulturweide und Kulturweide intensiv) ist die Gesamtweidedauer pro Koppel geringer, da immer Koppeln zwischendurch nicht beweidet werden. Dafür ist die Viehbesatzdichte während der Beweidung höher. Wenn z.B. 1 GVE/ha auf einer Weide mit 3 Koppeln weiden, sind während der Beweidung immer 3 GVE/ha auf einer Koppel, dafür sind die anderen beiden Koppeln unbeweidet. Nach einer gewissen Weidezeit (zB. 2 Wochen) wird dann wieder die Koppel gewechselt und die zuvor beweidete Koppel ist nun unbeweidet. Für das Modell wurde die Annahme getroffen, das alle Koppeln der Kulturweiden zu jeweils denselben Zeiten beweidet und nicht beweidet werden, was in der Realität nicht der Fall sein kann. Für die Stoffflussberechnungen macht es aber keinen Unterschied, wann genau die einzelne Koppel beweidet wird, wichtig ist nur die Anzahl der Tage und die Dauer der Intervalle. Daher sind die Weidezeiten bei „Kulturweide“ (3 Koppeln) ca. zwei Wochen Beweidung, vier Wochen Ruhe, bei Kulturweide intensiv (5 Koppeln) ca. eine Woche Beweidung, vier Wochen Ruhe (wobei die genauen Daten der Beweidung bei allen gleich sind, um die Anzahl der Simulationen gering zu halten).

### *Bewirtschaftungsänderungen*

Bewirtschaftungsänderungen der einzelnen Grünlandflächen können im Modell durch verschiedene Handlungsoptionen der Agenten (Landwirte) vorkommen: Betriebe können sich entschließen, ihre Bewirtschaftung zu intensivieren oder zu extensivieren. Darüber hinaus können Flächen von anderen Betrieben (mit z.B. anderem Betriebstyp oder anderer Betriebsintensität) gepachtet oder verpachtet werden. Schließlich kann die Bewirtschaftung von Grünlandflächen von den Landwirten aufgegeben werden wodurch diese verwalden.

Um den Landwirte-Agenten im Modell eine Änderung der Bewirtschaftung ihrer Flächen zu ermöglichen, mussten auch alle möglichen Wechsel der Bewirtschaftungsart der Grünlandflächen mit BIOME-BGC vorberechnet werden. Deswegen wurden zusätzlich zur Simulation aller Grünlandflächen unter Zugrundelegung der aktuellen Bewirtschaftung die folgenden Übergänge simuliert:

Zweimahdige Wiese → dreimahdige Wiese

Dreimahdige Wiese → zweimahdige Wiese

Kulturweide → Kulturweide intensiv

Kulturweide intensiv → Kulturweide

Kulturweide → Hutweide

Zweimahdige Wiese → einmahdige Wiese

Alle → Verwaldung

Die vorberechneten Daten über C/N-Pools und -Flüsse für alle verschiedenen Szenarien und Jahre wurden wie bei den Ergebnissen der Waldvorberechnungen in geeigneter Form in Datenbank-Tabellen abgelegt, auf die das Stofffluss-Modell während der Laufzeit zugreifen kann. Jedes der Landstücke im Stofffluss-Modell hat dabei immer die aktuelle Bewirtschaftungsart sowie die Bewirtschaftungsart aus allen vorhergehenden Simulationsjahren gespeichert, so dass bei dem Zugriff auf die Daten zur Laufzeit immer diejenigen ausgesucht werden können, die dieselbe Bewirtschaftungsgeschichte haben (also z.B. seit x Jahren von zweimahdiger Wiese auf dreimahdige Wiese umgestellt).

### **C und N Bilanzen der Wald und Grünlandflächen**

Mit den mit Hilfe von BIOME-BGC vorberechneten Daten können nun vom Stoffflussmodell C und N Bilanzen auf Landstückeebene berechnet werden.

#### (1) Waldflächen

##### Kohlenstoffbilanz (NECB)

+	-
NPP	hetR C Ernte

$$\text{NEP\_forest} = \text{NPP} - \text{hetR}$$

$$\text{NECB\_forest} = \text{NPP} - \text{hetR} - \text{C Ernte}$$

*NECB: Akkumulation von Kohlenstoff im System*

*NPP: Nettoprimärproduktion: C der durch pflanzliche Photosynthese gebunden wird.*

*hetR heterotrophe Respiration. C der durch Veratmung (zb. Abbau von totem organischen Material im Boden) durch heterotrophe Organismen (zb. Mikroorganismen, Bodentiere, etc) freigesetzt wird.*

*C Ernte: Holzentnahme. Stellt auf dieser Ebene einen C Verlust fürs System dar. Auf Farm/Betriebsebene werden die Turnoverzeiten der unterschiedlichen Holzverwertungsarten berücksichtigt, da der Kohlenstoff ja je nach Verwendung noch gebunden bleibt und nicht gleich an die Atmosphäre abgegeben wird.*

**Stickstoffbilanz (NENB)**

+	-
N Deposition	N Loss gas
N Fixierung	N Loss leach
	N Ernte

$$NENB\_forest = N\ Deposition + N\ Fixierung - N\ Loss\ leach - N\ Loss\ gas - N\ Ernte$$

$$NLoss\_forest = N\ Loss\ leach + N\ Loss\ gas$$

*NENB: Akkumulation von N im System*

*N Deposition: Natürliche und anthropogene N Deposition.*

*N Fixierung: N Fixierung durch symbiontische oder freilebende Mikroorganismen im Boden, die Luftstickstoff in organischen N umwandeln.*

*N Loss gas: Gasförmiger N Verlust (N<sub>2</sub>O)*

*N Loss leach: N Verlust durch Auswaschung (NO<sub>3</sub>)*

*N Ernte: N im entnommenen Holz*

**(2) Grünlandflächen**

**Kohlenstoffbilanz (NECB)**

+	-
NPP	hetR
	C Ernte

$$NEP\_grassland = NPP - hetR$$

$$NECB\_grassland = NPP - hetR - CErnte$$

*C Ernte: C, der durch Ernte aus dem Feld entnommen wird. Er verteilt sich in Folge in Futterkonservierungsverluste, C in Fleisch und Milchprodukten, durch das Vieh veratmetes CO<sub>2</sub> sowie freigesetztes CH<sub>4</sub>. Auf diese Weise wird aller C aus der Ernte früher oder später als CO<sub>2</sub>(CH<sub>4</sub>) freigesetzt, daher wird die gesamte „Ernte“ sowohl auf dieser Ebene wie auch auf Ebene des Hofes als Verlust fürs System gezählt.*

Stickstoffbilanz (NENB)

+	-
N Deposition	N Loss gas
N Fixierung	N Loss leach
Wirtschaftsdünger	N Ernte
N Input Beweidung	

Indikator für die Geschlossenheit des N-Kreislaufs:

$$NLossPerInput\_grassland = NLoss / (WD + N\ Input\ Beweidung + N\ Deposition + N\ Fixierung)$$

Die Stickstoffbilanz auf Feldebene ist ein wenig komplexer als die Kohlenstoffbilanz, da der Stickstoff nicht wie der Kohlenstoff nur mit einem anderen großen Reservoir (der Atmosphäre) austauscht, sondern ein großer Teil des gesamten Stickstoffflusses über die Viehhaltung im Kreis geführt wird. Von diesem intern im Kreis laufenden Stickstoff geht ein Teil immer wieder verloren (z.B. Stickstoff, der gasförmig als NH<sub>3</sub> oder N<sub>2</sub>O an die Atmosphäre verloren geht oder in flüssiger Form durch Auswaschung von NO<sub>3</sub>). Auf der anderen Seite kommt auch laufend N von außen ins System, z.B. durch atmosphärische N-Deposition, symbiontische N-Fixierung oder durch die Zufütterung von Kraftfutter an das Vieh (Abbildung 9).

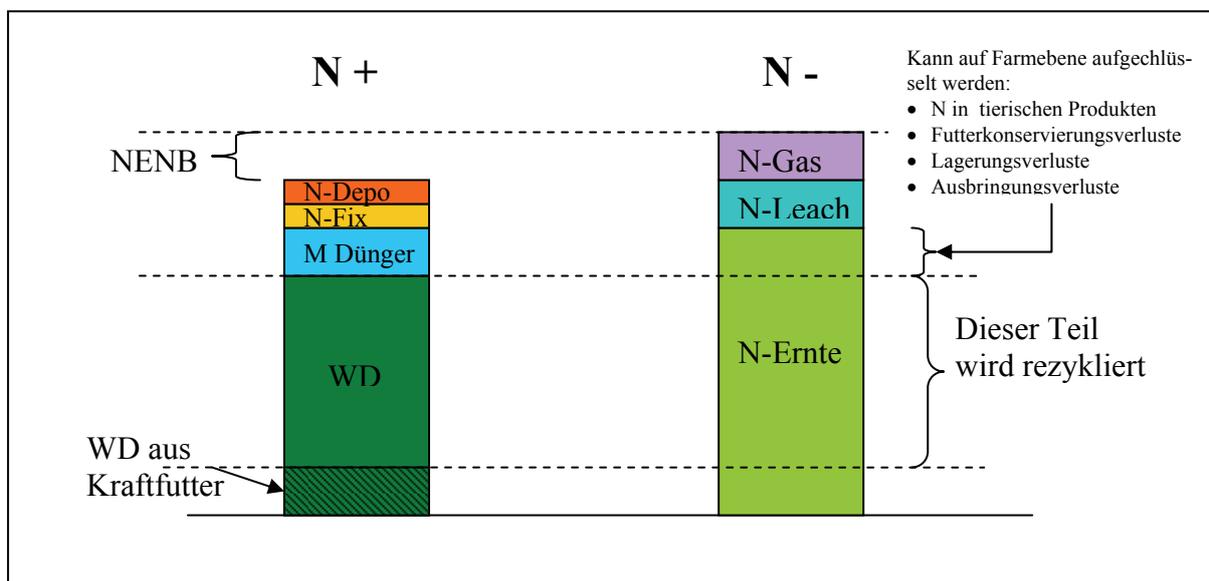


Abbildung 9. Stickstoff Inputs und Outputs einer Grünlandfläche.

**N-Depo:** N Deposition, **N-Fix:** N Fixierung, **M Dünger:** Mineraldünger, **N-Gas:** Gasförmige N Verluste, **N-Leach:** N Verluste durch Auswaschung, **N-Ernte:** N in der entnommenen Ernte, **WD:** Wirtschaftsdünger + N Input durch Beweidung

Da es in Rechrämung nicht üblich ist, Mineraldünger zu verwenden, wurde dieser Punkt auch im Modell nicht vorgesehen. Der Hauptteil des N-Inputs der Grünlandfläche kommt demnach

aus dem Wirtschaftsdünger bzw. aus Stickstoffausscheidungen während der Beweidung. Dieser Stickstoff stammt auch zum größten Teil aus der Grünlandfläche (N-Ernte) selbst und wurde über das Grundfutter an die Tiere verfüttert. Allerdings kann der Wirtschaftsdünger auch Stickstoff enthalten, der nicht aus der Grünlandernte stammt, sondern von außerhalb des Systems, dann nämlich, wenn zugefüttert wurde (z.B. Proteinkraftfutter). Auf der anderen Seite kommt es durch Lagerung/Konservierung des Grünlandfutters sowie auch während der Lagerung des Dungs zu N-Verlusten an die Umwelt. Welcher Teil der Ernte wieder rezykliert wird, lässt sich jedoch nur auf Hofebene aufschlüsseln, wenn bekannt ist, wie viel Verluste es auf dem Weg von der Grünlandernte zum Wirtschaftsdünger gibt und wie viel des Stickstoffs im Wirtschaftsdünger aus dem Zufutter stammt.

NENB ist nun die Differenz zwischen allen Inputs und Verlusten des Feldes an N und gibt an, ob der Gesamt N Speicher im Feld höher (N-Akkumulation) oder geringer (N-Verlust) wird. Für die Bewertung der N Flüsse ist NENB eigentlich nicht sehr aussagekräftig, weil auch eine ausgeglichene N-Bilanz nichts über den N-Fluss durchs System und damit die N-Verluste an die Umwelt aussagt.

### **Modellierung der C und N Flüsse in der Grünlandwirtschaft**

Die Landwirtschaft ist eine Hauptquelle für  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$  und  $\text{N}_2\text{O}$  in der Atmosphäre (Weiske, 2006, Pöllinger, 2006). Die Abgabe dieser Gase ist u.a. abhängig von: Viehbesatz, Weidehaltung, Mistlagerungssystem und Düngesystem. In den Grünlandbetrieben von Reichraming wird in der Regel die gesamte Grünlandernte an das Vieh verfüttert und kein Grundfutter von außen zugekauft. Bevor das Gras an das Vieh verfüttert wird, findet eine Futterkonservierung durch Lagerung als Heu oder Silage statt. Während der Futterkonservierung (v.a. bei Silage) geht bereits ein Teil des Stickstoffs in den Pflanzen als  $\text{NH}_3$  oder  $\text{N}_2\text{O}$  verloren. Von dem übrig bleibenden N Gehalt im Futter sowie in eventuell zugekauftem Kraftfutter hängt Menge und N Gehalt der tierischen Ausscheidungen ab, die schließlich wieder als Dünger auf die Felder aufgebracht werden („Wirtschaftsdünger“). Während der Lagerung des Wirtschaftsdüngers kommt es bereits zu nicht unerheblichen  $\text{NH}_3$ -Ausgasungen (abhängig von der Art d. Lagerung, zB Kompost, Gülle, Jauche). Ein Teil dieses Stickstoffs wird durch die Pflanzen aufgenommen und für Wachstum verwendet, ein anderer Teil geht wiederum gasförmig (z.B.  $\text{N}_2\text{O}$ ) oder als Nitratauswaschung ins Grundwasser verloren. Für den Kohlenstoff- und Stickstoffhaushalt der Böden ist schließlich die Art der Bewirtschaftung ausschlaggebend (Düngung, Biomasseentnahme, Schnitthäufigkeit): werden den Böden mehr Nährstoffe entnommen als zugeführt bzw. wird durch natürlichen Humus-Abbau im Boden mehr Kohlenstoff an die Atmosphäre freigegeben als durch pflanzliche Produktion nachgeliefert (die im Boden verbleibt), lagern diese aus und verlieren an Kohlenstoff- und/oder Stickstoffreserven.

Im letzten Kapitel wurde dargestellt, wie mit Hilfe der Daten aus Biome-BGC und den darauf aufbauenden Berechnungen C/N-Bilanzierungen auf Grünlandebene durchgeführt werden können. Um diese Berechnungen durchführen zu können, bzw. um aus der vorberechneten BGC-Matrix die richtigen C/N-Prozesswerte zur Laufzeit auswählen zu können ist allerdings erst eine Berechnung des N-Kreislaufs auf Hofebene erforderlich. Dabei wird - ausgehend von Betriebstyp und -intensität - einmal pro Simulationsjahr die Menge Wirtschaftsdünger bestimmt, die als N-Input für die Grünlandflächen eines bestimmten Betriebes fungiert. Im nächsten Schritt entscheidet das Modell dann anhand der berechneten Menge des anfallenden N-Düngers und der Flächenausstattung des Hofes wie intensiv die einzelnen Flächen (Wiesen und Weiden) bewirtschaftet werden, bzw. wie viel N-Input jede einzelne Fläche bekommt. Mit diesen Informationen werden dann die BGC-Daten der einzelnen Grünlandflächen abgefragt und die C/N-Bilanzen der Flächen errechnet. Zum Schluss werden noch andere Emissionen des Hofes stammend aus Energiebedarf, Futterimportkosten etc berechnet und eine Hofbilanz für C und N erstellt (Abbildung 3).

Insgesamt werden für den landwirtschaftlichen Betrieb die folgenden Stoffflüsse modelliert:

Kohlenstoff:

- C-Akkumulation/Verlust Grünlandflächen und Wald
- Emissionen Kraftfutterimport (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O)
- Emissionen Energie (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O)
- Emissionen Tierhaltung (CH<sub>4</sub>)

Stickstoff:

- N-Akkumulation/Verlust Grünlandflächen und Wald
- N im Grünlandertrag
- N-Verluste Futterkonservierung (NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O)
- N-(Dung)Lagerungsverluste (N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>)
- N-(Dung)Ausbringungsverluste (N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>)
- N-Ausgasung aus Grünlandflächen (N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>)
- N im Wirtschaftsdünger
- N aus zugekauftem Kraftfutter
- N-Leaching (NO<sub>3</sub>)
- %NInternalRecycled

Die Modellierung der Stoffkreisläufe wird einmal pro Modellzeitschritt (=ein Jahr) für jeden vorhandenen Betrieb durchgeführt. Am Anfang der Simulation gibt es Agenten für 51 landwirtschaftliche Betriebe, diese Zahl kann sich aber, abhängig vom Simulationsverlauf, ändern.

Ein landwirtschaftlicher Betrieb kann in unserem Modell einen von drei verschiedenen Betriebstypen annehmen:

- Milchbetrieb
- Mutterkuhbetrieb
- Alternativer Betrieb

Unter „Alternativer Betrieb“ fallen jene Betriebe, die nicht hauptsächlich Rinder halten, sondern andere Tiere (z.B. Schafe oder Ziegen). Weiters kann jeder Betrieb einen von drei Intensitätsstufen annehmen: 1 (Biobetrieb), 2 (konventioneller Betrieb) oder 3 (intensiver Betrieb). Zu Beginn der Simulation werden die Betriebe anhand ihrer Viehausstattung und Viehbesatzdichte (GVE/ha) in eine dieser Kategorien eingeteilt. Im Lauf der Simulation können die Landwirt-Agenten Entscheidungen treffen, ihren Betrieb zu intensivieren, zu extensivieren bzw. den Betriebstyp zu wechseln (siehe Kapitel „Das Agenten-basierte Modul des Modells SERD“). Diese Entscheidungen haben implizit Auswirkungen auf die Eigenschaften GVE/ha und (falls es sich um einen Milchbetrieb handelt) Milchleistung. In Tabelle 9 sind Richtwerte für GVE/ha für alle Betriebstypen/-intensitäten dargestellt, im Modell wird immer vom ursprünglichen Ausgangswert der GVE/ha des betreffenden Betriebs ausgegangen und bei Intensitätswechsel mit Zu/Abschlägen in % gerechnet.

**Tabelle 9. Bereiche von GVE/ha und Milchleistung für die verschiedenen im Modell definierten Intensitätsstufen der drei Betriebstypen Milchkuh-, Mutterkuh- und Alternativbetrieb.**

*Zu- und Abschlag jeweils vom konventionellen Wert.*

	GVE/ha								
	Bio (1)		Konventionell (2)		Intensiv (3)				
	Richtwert	Bereich	Ab schlag (%)	Richtwert	Bereich	Zu/Ab- schlag (%)	Richtwert	Bereich	Zu schlag (%)
Milchkuh	0.8	0.5-0.99	-33.33	1.2	1-1.49	0	1.8	1.5-2.3	50
Mutterkuh	0.6	0.4-0.79	-33.33	0.9	0.8-0.99	0	1.2	1-1.4	33.33
Alternativ	0.3	0.1-0.44	-40	0.5	0.45-0.69	0	1	0.7-1.4	100
Milchleistung									
Milchkuh	4000	<4000		5000	4000- 5500		6000	>5500	

Ein wichtiger Teil der Stoffflussberechnung des landwirtschaftlichen Betriebes basiert auf einer Analyse der Daten zur Grünlandbewirtschaftung (INVEKOS Daten) mit einem Hoftor-Nährstoffbilanzmodell<sup>7</sup> (Guggenberger, 2006, Steinwider und Guggenberger, 2003). Mit diesem Modell wurden ausgehend von Viehbestand, GVE/ha, und Milchleistung der einzelnen Höfe N-Ausscheidungen aus der Tierhaltung, N-Verluste durch Lagerung und Ausbrin-

<sup>7</sup> Analyse durchgeführt von Thomas Guggenberger, HBVLA Gumpenstein, 2007

gung des Düngers sowie Kraftfutteranteil in der Fütterung modelliert. Aus den Ergebnissen dieser Modellierung konnte (mittels multipler Regression) ein statistischer Zusammenhang zwischen Milchleistung und GVE/ha (bei Milchkühen) bzw. GVE/ha (bei Mutterkühen und Schafen) und N-Ausscheidungen sowie N-Verlusten abgeleitet werden.

Das Stoffflussmodell verwendet dieses Regressionsmodell, um während der Simulation aus gegebenem Betriebstyp (da dieser die Art der Tiere bestimmt), GVE/ha und Milchleistung (wenn Milchkuhbetrieb) die folgenden Parameter zu berechnen:

- Proteinkraftfutterbedarf
- Energiekraftfutterbedarf
- N in tierischen Produkten (N-Products)
- N Ausscheidungen (N-Excretions)
- N Verluste durch Gülle/Mistlagerung
- N Verluste bei der Ausbringung aufs Feld
- ausgebrachter „feldfallender“ N

(siehe Abbildung 3, blaue Box).

Unter „feldfallender N“ ist jene N-Menge zu verstehen, die tatsächlich auf das Grünland ausgebracht wird, abzüglich aller Verluste. Das Stoffflussmodell basiert auf der Annahme, dass der gesamte von dem Viehbestand eines Hofes produzierte Dünger (abzüglich Lagerungs- und Ausbringungsverluste) auf die Felder des Hofes verteilt wird. Dieser Wert des „feldfallenden N“ wird vom Stoffflussmodell im nächsten Schritt verwendet um die Bewirtschaftungsintensität von Wiesen und Weiden, die zu diesem Hof gehören, festzulegen.

Die Intensität der landwirtschaftlichen Bearbeitung der einzelnen Grünlandflächen kann sich im Laufe der Simulation verändern. Die Intensitätsstufe der landwirtschaftlichen Flächen wird jedes Jahr anhand der Intensität des Betriebs (festgelegt durch GVE/ha und Milchleistung) und der davon abhängigen produzierten Menge an Wirtschaftsdünger neu festgelegt. Es können Wiesen und Weiden intensiver oder extensiver genutzt werden als zuvor, allerdings ist kein Wechsel von Wiese zu Weide oder umgekehrt vorgesehen.

Es gibt folgende Arten von landwirtschaftlichen Flächen:

Wiesen:

- einmahdige Wiese (ungedüngt)
- zweimahdige Wiese
- dreimahdige Wiese

Weiden:

- Hutweide (ungedüngt)
- Kulturweide
- Kulturweide intensiv

Die Vorgehensweise des Modells bei der Festlegung der Bewirtschaftungsintensität der zu einem Betrieb gehörenden Grünlandflächen (also die „Aufteilung“ der vorhandenen Düngemenge auf die Flächen) ist folgende:

Zuerst wird anhand der Identität der dem Betrieb zugeordneten Landstücke festgestellt, wie viel ha *Weideflächen* zu dem Betrieb gehören (jedes Landstück ist von Anfang an als Wiese oder Weide klassifiziert). Dann wird den Kulturweideflächen je nach GVE/ha und Milchleistung eine Intensitätsstufe (Kulturweide oder Kulturweide intensiv) zugeordnet (nach Tabelle 10). Weiden, die am Beginn des Modelllaufs als „Hutweiden“ klassifiziert worden sind, bleiben immer Hutweiden unter der Annahme dass sich diese Weiden aufgrund ihrer Lage nur als Hutweiden eignen. Wenn die GVE/ha sehr gering sind werden die Kulturweiden eines Betriebes als sogenannte „extensiven Kulturweiden“ behandelt, wobei sie de facto wie Hutweiden bewirtschaftet werden, jedoch können sie im weiteren Simulationsverlauf auch wieder intensiver bewirtschaftet werden.

**Tabelle 10. Einteilung der zu einem Betrieb gehörenden Kulturweiden in extensiv, intensiv oder normal je nach GVE/ha und Milchleistung des Betriebes.**

<i>Bedingung</i>	<i>Intensitätsstufe der Kulturweiden</i>
GVE/ha < 0.8	Kulturweide extensiv
GVE/ha > 1.2 oder Milchleistung > 5000	Kulturweide intensiv
Sonst	Kulturweide

Die während der Beweidung anfallende N-Ausscheidungsmenge richtet sich nach den GVE/ha, Milchleistung und Weidetagen. Diese Parameter und damit die N Ausscheidungsmenge pro Fläche und Tag sind für die Weidearten Hutweide, Kulturweide und „Kulturweide intensiv“ bereits festgelegt (Tabelle 11). Nur für den Fall dass eine Kulturweide extensiv bewirtschaftet wird (das kann vorkommen, wenn es zb. durch die Extensivierung eines Betriebes zu einer Viehbesatzdichte kommt, die zu gering für eine „normale“ Kulturweide ist) wird der N-Input neu mit den tatsächlichen GVE/ha berechnet (Tabelle 9).

**Tabelle 11. Berechnung des N Inputs für die verschiedenen Weidetypen.**

*area = ha Weidefläche. GVE für Hutweide, Kulturweide und „Kulturweide intensiv“ laut Tabelle 10*

<i>Weidetyp</i>	<i>GVE/ha</i>	<i>N Input in kg N/Jahr</i>	<i>Berechnung</i>
Kulturweide extensiv	<0.8	0.064*area*182 Weidetage*GVE	Individuelle Berechnung des N Inputs. Annahme: geringste Milchleistung (0.064 kg N/ha/Weidetag/GVE )
Hutweide	0.8	9.282*area	182 Weidetage *0.051 kg N/ha/Tag
Kulturweide	1.2	10.752*area	56 Weidetage *0.192 kg N/ha/Tag
Kulturweide int.	1.8	18.06*area	28 Weidetage *0.645 kg N/ha/Tag

Die Summe aller Berechnungen für N-Input auf Weiden wird als Gesamt-„feldfallender N“ auf Weiden betrachtet und von dem Viehbestands-Modul berechneten N-Gesamt-Ausscheidungsmenge der Tiere abgezogen. Von der Differenz (N-Ausscheidungen nicht auf der Weide) werden Lagerungs- und Ausbringungsverluste errechnet und abgezogen, die die übrig bleibende N-Menge entspricht dem N im Wirtschaftsdünger.

Wenn die Kulturweiden als „intensiv“ eingestuft wurden, wird überprüft, ob der überbleibende N im Wirtschaftsdünger für die übrig bleibenden Wiesenflächen eine adäquate Düngermenge (vergleichbare Intensitätsstufe wie Weiden) darstellt. Sollte zuwenig N vorhanden sein, wird eine neue Berechnung durchgeführt, bei der die Kulturweiden als „nicht intensiv“ eingestuft werden. So ist sichergestellt, dass der errechnete Dünger pro Hof möglichst gleichmäßig auf dessen Wiesen und Weiden verteilt wird. Der berechnete Wirtschaftsdünger wird dann (abzüglich der Menge die auf Kulturweiden gemäß ihrer Klassifizierung gedüngt wird) für die Einteilung der Wiesen in Intensitätsstufen herangezogen.

Bei den Wiesen gilt analog zu den Weiden: was von Beginn an als einmahlige Wiese eingestuft wurde, bleibt eine einmahlige Wiese unter der Annahme, das diese Wiese in einer ungünstigeren Lage liegt. Einmahlige Wiesen werden genauso wie Hutweiden nicht gedüngt. Daher muss der vorhandene Dünger auf die vorhandenen mehrmahligen Wiesen aufgeteilt werden. Dafür wird die Düngemenge durch die Wiesenfläche geteilt, ist das Ergebnis größer als 70 kg N/ha/Jahr werden die Wiesen als dreihmahlige Wiesen mit der entsprechenden Düngemenge eingestuft, ist es darunter, werden sie als zweimahlige Wiesen klassifiziert.

Insgesamt wird also jedes Jahr für jeden Betrieb die Intensität seiner (prinzipiell gedüngten) Flächen je nach der Menge der N-Ausscheidungen seines Viehs neu festgelegt. Anhand dieser Einteilung kann das Modell aus den von Biome-BGC vorberechneten C-und N-Werten die richtigen auswählen (für diesen Standortstyp und diese Bewirtschaftung). Dabei wird auch auf die Bewirtschaftungsgeschichte Rücksicht genommen: die aktuelle Bewirtschaftung wird bei

dem jeweiligen Landstück für das jeweilige Jahr gespeichert, so ist für das Modell immer ersichtlich, wie es in der Vergangenheit genutzt wurde (auch wenn es zwischendurch den Besitzer wechselt). Dadurch kann aus der vorberechneten BGC-Matrix immer der passende Wert gewählt werden (z.B. ein Landstück mit bestimmten Standortstyp das vor 7 Jahren von zweimahdiger Wiese auf dreimahdige Wiese umgestellt hat, oder ein Landstück, das seit 10 Jahren brach liegt und verwaldet).

Die Ergebnisse der C&N-Bilanzierung der einzelnen Landstücke (siehe Kapitel „C und N Bilanzen der Wald und Grünlandflächen“) fließen dann in die Gesamt C & N Bilanz des Hofes ein.

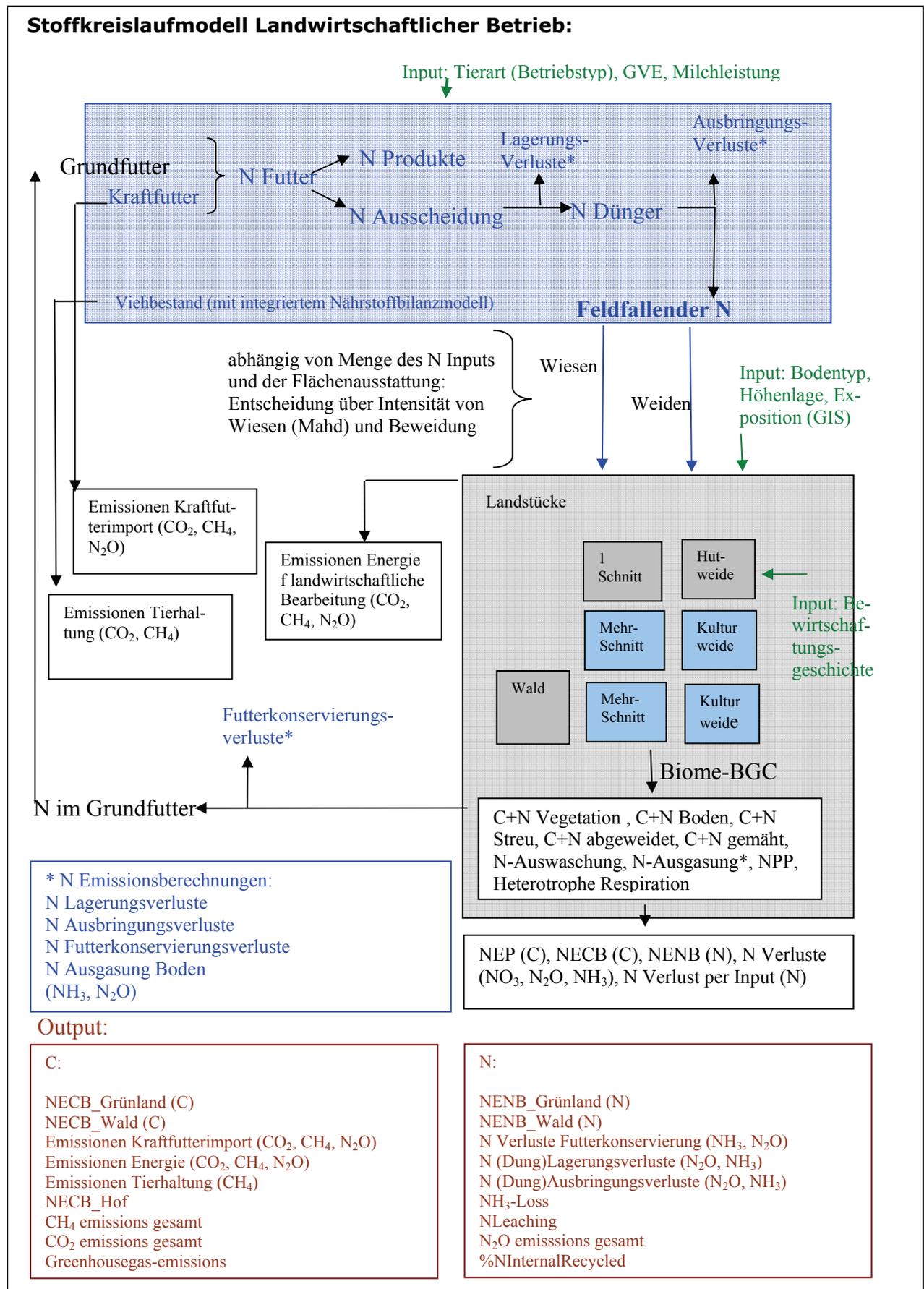


Abbildung 10. Modellkonzept Landwirtschaftlicher C und N Kreislauf

### *Waldflächen*

In dem Modell können einem landwirtschaftlichen Betrieb auch Waldflächen zugeordnet sein. Für diese Waldflächen sind ebenfalls C & N Flüsse von dem Biome-BGC vorberechnet. Im Stoffflussmodell werden folgende gasförmige N Emissionen berücksichtigt: Lachgas ( $N_2O$ ) und Ammoniak ( $NH_3$ ).

Lachgasemissionen ( $N_2O$ ) entstehen durch Denitrifikation unter anoxischen Bedingungen. Lagerung von organischem Dünger und Düngung landwirtschaftlicher Böden sind die beiden Hauptquellen. Die Lachgasemissionen aus der Düngung machen 3.1 % der Gesamt-Treibhausgasemissionen aus (Mitterböck 2006).  $N_2O$  ist ein starkes Treibhausgas.

Ammoniak ( $NH_3$ ) entsteht zum Grossteil in der Nutztierhaltung und beim Gülle-Management (= rund 95% der Gesamtammoniakemissionen Österreichs, Mitterböck 2006). Ammoniak ist für die Bildung versauernder und eutrophierender Schadstoffe in der Atmosphäre verantwortlich.

Im Modell werden die diversen N-Verluste im landwirtschaftlichen Kreislauf ausgerechnet. Um eine Emissionsbilanz zu erstellen ist es notwendig, diese N-Verluste den verschiedenen Gasarten ( $NH_3$ ,  $N_2O$ ) zuzuordnen. Das Modell berechnet die folgenden N-Verluste am Hof:

- N-Verluste bei Lagerung des Wirtschaftsdüngers
- N-Verluste bei Ausbringung des Wirtschaftsdüngers
- N-Verluste während der Futterkonservierung

Dabei gehen durch Lagerung des Wirtschaftsdüngers ca. 10% des Stickstoffs, der ausgeschieden wird, verloren, durch Ausbringung auf die Fläche nochmals ca. 17% (Durchschnittswerte aus der Nährstoffbilanzanalyse der landwirtschaftlichen Daten von Rechraming mit dem Modell von Guggenberger, 2007. Werte über N Verlust durch Lagerung und Ausbringung von WD in der Literatur reichen bis zu 45% des Gesamt-N (Gaube, 2002, Geisler, 1998).

Aus den berechneten N-Verlusten errechnet unser Modell Emissionen der verschiedenen Gase. Diese Berechnungen basieren auf der Annahme, dass von dem bei Lagerung und Ausbringung des Wirtschaftsdüngers verlorenen Stickstoff 15% als  $N_2O$  und 85% als  $NH_3$  verloren gehen. Das liegt im Rahmen anderer Untersuchungen (zb. Leick (2004): ca 6-10% des Wirtschaftsdünger-N als  $NH_3$ ; ca 1,2 – 1,6 % als  $N_2O$ ).

Bei der Trocknung und Konservierung des Grünlandfutters gehen im Modell ca 12% des N verloren (Guggenberger, 2007). Diese sogenannten Futterkonservierungsverluste setzen sich im Allgemeinen zusammen aus:

- Bröckelverluste
- Atmung, Auswaschung
- Fermentation (Heu oder Silage:  $\text{NH}_3$ , bei Silage bis zu 10% des Gesamt N)
- Barren- und Krippenverluste

(Quelle: Buchgraber et al. (1994))

Für die Berechnung der gasförmigen Emissionen nehmen wir an, dass 20% der Futterkonservierungsverluste bei Fermentation als Ammoniak entweicht, während der Rest zurück in den Boden geht (Bröckelung, Auswaschung) oder anders verloren geht (Barren- und Krippenverluste).

Die von dem Biome-BGC berechneten Verluste durch N- Ausgasung aus dem Boden werden (durch den hohen Anteil an organischen N Input in die Böden) ebenfalls zu 85% als  $\text{NH}_3$  und zu 15% als  $\text{N}_2\text{O}$  weitergerechnet.

Methan ( $\text{CH}_4$ ) wird in der Landwirtschaft im Wesentlichen aus dem Verdauungstrakt von Rindern sowie bei der Düngerlagerung freigesetzt (Mitterböck 2006) und ist ebenfalls ein starkes Treibhausgas. Zur Berechnung der  $\text{CH}_4$ -Emissionen wurde von einem Wert von 122 kg  $\text{CH}_4$  pro Jahr und GVE bei Rindern ausgegangen und von 48 kg  $\text{CH}_4$ /Jahr/GVE bei Schweinen, wobei angenommen wurde, dass bei einem Betrieb des Betriebstypes „alternativ“ 50% des Viehbestandes aus Schweinen besteht. Methanemissionen von anderen Tiergruppen wurden vernachlässigt (Bertsch et al., 1995).

Für die Gesamt-Kohlenstoff Bilanz des Hofes kommen neben den C- und N-Flüssen seiner Flächen und des Viehbestandes auch noch die zusätzlichen C-Emissionen verursacht durch Kraftfutterzukauf und Energieeinsatz bei der Bearbeitung landwirtschaftlicher Flächen zum Tragen.

Für Grünlandbewirtschaftung wurde ein Energiebedarf von 5.8 GJ/ha/Jahr angenommen (Harberl et al, 2001). Daraus berechnet das Modell die entsprechenden  $\text{CO}_2$  Emissionen (35MJ/Liter Diesel, 2.85 kg  $\text{CO}_2$ /l Diesel, Bertsch et al., 1995).

Im Viehbestandsmodul werden Zahlen für die Menge Energiekraftfutter und Proteinkraftfutter berechnet, die bei einer bestimmten Milchleistung und Viehbesatzdichte zugefüttert werden müssen. Die Verwendung von zugekauftem Futter ist mit Emissionskosten verbunden (für Produktion und Transport), die in direktem Zusammenhang zur Grünlandwirtschaft des Hofes stehen, daher werden diese in die C/N-Bilanz des Hofes eingerechnet. Beim zugekauften Kraftfutter wurde unterschieden zwischen Biobetrieben (Intensitätsstufe 1) und konventi-

onellen Betrieben (Intensitätsstufe 2 und 3). Energiekraftfutter wurde bei beiden als Mischung von Weizen, Gerste und Hafer angenommen (im Verhältnis 37,5:50:12,5), als Eiweißquelle (im Modell „Proteinkraftfutter“) wurde für konventionelle Betriebe eine Mischung von Soja und Rapsextraktionsschrot angenommen, für biologisch wirtschaftende Betriebe Körnererbse und Ackerbohne (jeweils im Verhältnis 9:1). Die unterschiedlichen Emissionswerte für die einzelnen Inhaltsstoffe der Kraftfuttermischungen ergeben sich aus Energieverbrauch für Produktion und Transport und sind den Berechnungen von Kalinski (2003) entnommen (Annahme: alle Futterstoffe werden im Inland produziert, nur Soja wird aus Übersee importiert) (Tabelle 12 und Tabelle 13).

**Tabelle 12. Treibhausgas-Emissionen bei Produktion der im Modell verwendeten Futtermittel.**

Quelle: Kalinski, 2003

Treibhausgase pro kg Futtermittel			
<i>Konventioneller Landbau</i>			
	CO <sub>2</sub> (kg)	CH <sub>4</sub> (g)	N <sub>2</sub> O (g)
Weizen	0.16	0.21	0.34
Gerste	0.17	0.2	0.3
Hafer	0.19	0.23	0.35
Sojaextraktionsschrot	0.27	0.09	0.02
Rapsextraktionsschrot	0.3	0.39	0.66
<i>Biologischer Landbau</i>			
Weizen	0.14	0.08	0.01
Gerste	0.17	0.1	0.01
Hafer	0.17	0.1	0.01
Körnererbse	0.22	0.1	0.01
Ackerbohne	0.27	0.1	0.01

**Tabelle 13. Berechnete Treibhausgasemissionen für Energiekraftfutter und Proteinfutter**

Treibhausgase pro kg Futtermittelmischung			
	CO <sub>2</sub> (g)	CH <sub>4</sub> (g)	N <sub>2</sub> O(g)
<i>Konventioneller Landbau</i>			
Energiekraftfutter	0.1688	0.2075	0.3213
Proteinkraftfutter	0.2730	0.1200	0.0840
<i>Biologischer Landbau</i>			
Energiekraftfutter	0.1588	0.0925	0.0100
Proteinkraftfutter	0.2250	0.1000	0.0100

Proteinkraftfutter für Biobetriebe und konventionelle Betriebe  
 (Zusammensetzung der Kraftfuttermischung siehe Text).

Zusätzlich zur Summe der Kohlenstoffbilanzen (NECB) der Grünland- und Waldflächen des Betriebes enthält die Kohlenstoffbilanz auf Hofebene auch noch all jenen Kohlenstoff, der durch die Aktivität des Hofes (global) emittiert wird (aus Energieverbrennung bei landwirtschaftlicher Bearbeitung und durch Kraftfuttermittelimport) (erweiterte Systemgrenzen).

Für den in der Grünlandernte enthaltenen Kohlenstoff gilt das gleiche wie bei der Kohlenstoffbilanz für die Grünlandflächen: da er jedenfalls kurzfristig veratmet werden wird (C aus Grünlandertrag geht in Viehbestand und wird dort bereits zum Teil veratmet, der Rest geht in tierische Produkte wie Fleisch und Milch und wird dann ebenfalls durch Konsumation durch den Menschen veratmet) wird der Grünlandertrag komplett als C-Verlust an die Atmosphäre bilanziert (bereits in NECB\_grassland enthalten). Für die reine Kohlenstoffbilanz macht es keinen Unterschied, ob die Ernte als CO<sub>2</sub> veratmet wird oder als Methan über tierische Verdauungsprozesse wieder in die Atmosphäre entweicht, daher werden für die Kohlenstoffbilanz die Methanemissionen nicht eigens berechnet (der Kohlenstoff aus Methanemissionen ist in der Bilanz schon über den Grünlandertrag berücksichtigt). Für die Treibhausgas-Emissionsbilanz werden die Methanemissionen dann jedoch berücksichtigt (in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten), da sie ein höheres Treibhausgaspotential haben als CO<sub>2</sub> (Kapitel „Treibhausgasemissionen“).

Die gesamte C-Bilanz für einen Hof ergibt sich aus folgenden Posten:

NECB_farm	
+	-
NECB_grassland	C-Kosten Kraftfutter
NECB_forest	C-Kosten Energie

*NECB: Kohlenstoffbilanz des landwirtschaftlichen Betriebes. Enthält allen Kohlenstoff der auf der Farmfläche akkumuliert/verloren geht sowie zusätzlich den Kohlenstoff der durch die landwirtschaftliche Aktivität an die Atmosphäre verloren geht.*

*NECB\_grassland: Summe NECB aller Grünlandflächen des Hofes.*

*NECB\_forest: Summe NECB aller Waldflächen des Hofes.*

*C Kosten Kraftfutter: C der als CO<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub> Emissionen beim Kraftfutterimport in die Atmosphäre gelangt..*

*C Kosten Energie: C der als CO<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub> Emissionen beim Verbrennen fossiler Brennstoffe im Zuge landwirtschaftlicher Bearbeitung in die Atmosphäre gelangt.*

Die folgenden Werte werden vom Modell jährlich für jeden einzelnen Hof berechnet und in einer Tabelle ausgegeben (farms.csv, wird im Modellverzeichnis gespeichert):

**NECB:** Net Ecosystem Carbon Balance, Entspricht Akkumulation (positiver Wert) bzw. Verlust (negativer Wert) von Kohlenstoff im Ökosystem (berücksichtigt auch lateralen Transfer von C, zb. durch Ernte). Einheit: kg C/Jahr.

**NECB\_grassland:** Summe der NECB für alle Grünlandflächen des Betriebes.

(= NPP – heterotrophe Respiration – harvest)

**NECB\_forest:** Summe der NECB für alle Waldflächen des Betriebes.

(= NPP – heterotrophe Respiration – harvest)

**NECB\_farm:** Kohlenstoffbilanz des landwirtschaftlichen Betriebes (Kontext: assimilierter C versus an die Atmosphäre freigesetzter C, Systemgrenze Atmosphäre). Enthält auch anderswo verursachte C-Verluste wie Emissionen durch Kraftfuttereinsatz und Energie.

( $NECB\_farm = NECB\_grassland + NECB\_forest - C\text{-Energy} - C\text{ concentrated\_food}$ )

(Reine C-Akkumulation/Verlust nur aus dem Farmbereich wäre:  $NECB\_grassland + NECB\_forest$ )

**C-Energy:** Energiekosten des landwirtschaftlichen Betriebes, umgerechnet in kg C. Berücksichtigt C-Emissionen für landwirtschaftliche Bearbeitung und Kraftfuttereinsatz (Vorkettenemissionen). Enthält keine C-Kosten für Heizung (wird bei den Haushalten mitbilanziert).

**CH<sub>4</sub>-Emissionen:** Enthält CH<sub>4</sub>-Emissionen aus Tierhaltung und Kraftfutterimport. In kg CH<sub>4</sub>/Jahr

**CO<sub>2</sub>-Emissionen:** Gesamt CO<sub>2</sub>-Emissionsbilanz (umgerechnet aus NECB\_Farm). Inkl. Energieverbrauch /Kraftfuttereinsatz abzüglich assimilierten CO<sub>2</sub> (z.B. durch Waldbesitz). Kann daher auch negativ sein.

Die reine N-Bilanz auf Farmebene kann (a) durch die externen Inputs versus den Verlusten unabhängig von dem im Hofsystem rezyklierten N errechnet werden oder (b) durch die Summe der in den zum Hof gehörenden Grünlandflächen netto akkumulierten bzw. verlorenen N-Menge. In beiden Fällen könnte man auch noch die N<sub>2</sub>O-Emissionen, die als Vorkettenemissionen beim Import von Kraftfutter auftreten, abziehen, wenn man die Definition der NENB analog zur NECB auf Hofebene erweitern würde.

Die N-Bilanz des Hofes stellt im Prinzip das Gleichgewicht zwischen N, der in das System „Hof“ kommt und dem *an die Umwelt* verlorenen N dar. „An die Umwelt“ kann dabei „an die Atmosphäre“ oder „ins Grundwasser“ oder „in den Handel“ (bei N-Produkten) bedeuten. Der Kern der Bilanz ist somit immer diejenige Menge N, die auf den Flächen des Hofes akkumuliert oder netto verloren geht. Bei der Kohlenstoffbilanz auf Hofebene haben wir jedoch diese Definition insofern erweitert, als dabei das Gleichgewicht zwischen Kohlenstoff im System „terrestrische Speicher“ oder „gebundener Kohlenstoff“ dem Kohlenstoff im System „Atmosphäre“ gegenübergestellt wird. Daher werden CO<sub>2</sub> oder CH<sub>4</sub>-Emissionen, die mit der Land-

wirtschaft des Betriebes in Zusammenhang stehen – z.B. durch Energieverbrauch – auch gezählt. Es wird quasi jeder Kohlenstoff gezählt, der durch die Aktivität des Betriebes aus dem terrestrischen System in die Atmosphäre verloren geht.

Bei der N-Bilanz ist diese Definition nicht so klar, weil es hier nicht nur um Austauschprozesse zwischen dem terrestrischem System und der Atmosphäre geht, sondern auch andere Verluste (z.B. ins Grundwasser) bewertet werden müssen. Dazu kommt, dass N<sub>2</sub>O Emissionen aus Energieverbrauch im Allgemeinen eine Umwandlung von Luftstickstoff zu N<sub>2</sub>O im Zuge von Verbrennungsprozessen darstellen, d.h. Stickstoff, der aus der Atmosphäre kommt und in der Atmosphäre bleibt, nur in anderer Form.

Wir haben uns daher entschlossen, um den „Sinn“ der NENB als eine Art von Hofbilanz nicht zu verlieren, hier auf die Einberechnung der N<sub>2</sub>O-Emissionen durch Energieverbrauch zu verzichten (denn dann müsste man auch überlegen, wohin „N Products“ gehen, die hier als Verlust abgezogen werden). Diese externen N<sub>2</sub>O-Emissionen werden jedoch jedenfalls als eigener Wert ausgegeben und können je nach Interpretationsbedarf berücksichtigt werden. Außerdem fließen sie in die Treibhausgas-Emissionsbilanz ein (Kapitel „Treibhausgasemissionen“).

Zusätzlich zu der reinen N-Bilanz (NENB) sind natürlich auch auf Hofebene wieder die Gesamtmenge des verlorenen N sowie der Anteil des rezyklierten N interessant (NLoss\_farm und %NinternalRecycled):

(a)

NENB	
+	-
N Deposition N Fixierung N Kraftfutter	N Loss Farm N Products

(b)

NENB	
+	-
NENB forest NENB grassland	

*NENB: Akkumulation von N im System*

*N Deposition: Natürliche und anthropogene N Deposition.*

*N Fixierung: N Fixierung durch symbiontische oder freilebende Mikroorganismen im Boden*

*N Loss Farm: Gasförmiger N Verlust (N<sub>2</sub>O und NH<sub>3</sub>) aus Wirtschaftsdüngerlagerung und Futterkonservierung sowie N-Ausgasungen (N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>) und N-Leaching (NO<sub>3</sub>) aus den Böden. In kg N/Jahr*

*N Products: N-Bindung in landwirtschaftlichen Produkten*

*NENB forest: Summe NENB aller Waldflächen des Betriebes*

*NENB grassland: Summe NENB aller Grünlandflächen des Betriebes*

Die folgenden Werte werden vom Modell jährlich für jeden einzelnen Hof berechnet und in einer Tabelle ausgegeben:

**NENB\_farm** = NENB\_forest + NENB\_grassland, Entspricht Akkumulation (positiver Wert) bzw. Verlust (negativer Wert) von Stickstoff im Ökosystem. Einheit: kg N/Jahr

**NENB\_grassland:** Summe N-Bilanz für alle Grünlandflächen des Betriebes. Positiv: Akkumulation von N, Negativ: Netto-Verlust von N (aus Boden und Vegetation). In kg N/Jahr.

**NENB\_forest:** Summe N-Bilanz für alle Waldflächen des Betriebes.

**NLoss:** Gesamt-N-Verlust aus den Grünlandflächen des Betriebes. Enthält N-Ausgasungen (N<sub>2</sub>O und NH<sub>3</sub>) aus Wirtschaftsdüngerlagerung und Futterkonservierung sowie N-Ausgasungen (N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>) und N-Leaching (NO<sub>3</sub>) aus den Böden. In kg N/Jahr

NLoss = Ausgasung\_grassland+NLeaching\_grassland+NFutterkonservierungsverlust+NMistlagerungsverluste+NAusbringungsverluste

**Percent\_N\_Loss:** Anteil der N-Verluste (gasförmig und flüssig) an der gesamten N-Entnahme aus dem Feld (Ausgasung, Leaching und Ernte).

$((NAusgasung\_grassland+NLeaching\_grassland/(NAusgasung+NLeaching+NErnte)*100)$

**Percent\_N\_internalRecycled:** Anteil des N am Gesamt N-Umsatz, der recycled wird (über Ernte-Futter-Wirtschaftsdünger wieder ins Feld kommt).

$(GullefromBaseFeed/(NAusgasung+NLeaching+NErnte)*100)$

**NH<sub>3</sub>-Loss:** NH<sub>3</sub>-Ausgasung (in kg NH<sub>3</sub>/Jahr)

**NLeaching:** NO<sub>3</sub> Verlust. In kg N/Jahr

**N<sub>2</sub>Oemissions:** Gesamte N<sub>2</sub>O-Emissionen. Enthält N<sub>2</sub>O-Emissionen aus der Landwirtschaft (durch Düngung, Mistlagerung, Ausgasung aus den Böden), aber auch Vorkettenemissionen durch Energieverbrauch f. landwirtschaftliche Bearbeitung und Kraftfuttermiteinsatz (kg N<sub>2</sub>O/Jahr).

### **Modellierung der C- und N-Flüsse in der Forstwirtschaft**

Ein Großteil der Waldflächen der Gemeinde Reichraming werden von zwei Forstbetrieben der Österreichischen Bundesforste bewirtschaftet: Der Forstbetrieb „Nationalpark Kalkalpen“, der für die Pflege der Waldflächen zuständig ist, die zum 1997 errichteten Nationalpark Kalkalpen gehören und der Forstbetrieb Steyrtal, der den Grossteil der übrigen Waldflächen in Reichraming bewirtschaftet. Zusätzlich gibt es noch Waldflächen in (zumeist bäuerlichem) Privatbesitz. Waldflächen in Privatbesitz werden innerhalb der Stoffflüsse des landwirtschaftlichen Betriebes, zu dem sie gehören, berechnet.

Für die Forstwirtschaft werden die folgenden Stoffflüsse modelliert:

Kohlenstoff:

- C-Akkumulation/Verlust Waldflächen
- Emissionen Forstwirtschaftliche Bearbeitung (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O)
- Emissionen Holztransport (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O)
- C Emissionen aus geschlägertem Holz

Stickstoff:

- N-Akkumulation/Verlust Waldflächen
- N-Ausgasung aus Waldflächen (N<sub>2</sub>O)
- N-Leaching (NO<sub>3</sub>)

Die C- und N-Flüsse der beiden Forstbetriebe werden wie die der landwirtschaftlichen Betriebe einmal pro Simulationsjahr berechnet. Dafür werden zunächst für alle Waldflächen des jeweiligen Betriebes C- und N-Pools und Flüsse (Nettoprimärproduktion, heterotrophe Respiration, N-Ausgasung, N-Auswaschung, Holzernte) aus der vorberechneten BGC-Matrix abhängig von Standortstyp, Bewirtschaftungsart und Bewirtschaftungsgeschichte ausgelesen. Dabei wird für den Forstbetrieb Steyrtal eine normale Bewirtschaftung seiner Flächen (Rotationsperiode von 240 Jahren bei Laubholz, 170 Jahre bei Nadelholz, Durchforstungen nach 40 und 70 Jahren) angenommen, für den Nationalpark Kalkalpen keine Entnahme von Holz aus den Waldflächen (nur Waldpflege, keine sonstige forstwirtschaftliche Bearbeitung mehr).

Im Prinzip haben die beiden Forstbetriebe im Modell folgende Möglichkeiten die Bewirtschaftung ihrer Flächen zu ändern:

- Der Forstbetrieb Steyrtal könnte die Bewirtschaftung seiner Flächen genauso wie im NP Kalkalpen aufgeben.
- Alle Nadelwälder in niedrigen Lagen (< 800 m) könnten auf Laubwald umgestellt werden.

Nach der Berechnung der C/N Flüsse für alle Waldflächen wird die Menge des in diesem Jahr geschlägerten Laub- und Nadelholz bestimmt. Von beiden wird jeweils der Anteil an Stamm-, Industrie- und Brennholz nach folgendem Schlüssel berechnet (Tabelle 14 Werte in %):

**Tabelle 14. Holzverwertungsanteile (%) Forstbetrieb Steyrtal.**

*Quelle: Robert Lindner (Forstbetrieb Steyrtal)*

	<i>Schnittholz</i>	<i>Industrieholz</i>	<i>Brennholz</i>
Laubholz	30	55	15
Nadelholz	60	35	5

Die Unterscheidung in Schnittholz, Industrieholz und Brennholz ist im Modell notwendig, weil diese drei Holzverwertungsarten unterschiedliche Transportwege zum Verwertungsbetrieb, sowie unterschiedliche Kohlenstoff Turnoverzeiten (= durchschnittliche Zeit, innerhalb welcher Kohlenstoff in die Atmosphäre geht) haben.

Der Prozess der forstwirtschaftlichen Bearbeitung (Jungwaldaufzucht, Pflege, Durchforstung und Endnutzung des Waldbestandes zur Erzeugung von Stamm und Industrieholz) wurde in die Stoffflussberechnung miteinbezogen. Grundlage dafür ist der GEMIS-Datensatz<sup>8</sup> des Österreichischen Umweltbundesamtes, aus dem folgende Emissionswerte (inkl Vorkettenemis-

<sup>8</sup> Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS), Version 4.0, Computerprogramm zur vergleichenden Analyse von Umwelteffekten der Energiebereitstellung und Nutzung, entwickelt vom Öko-Institut Freiburg und der Gesamthochschule Kassel, <http://www.oeko.de/service/gemis/>

sionen) für forstwirtschaftliche Produktion in kg/kg produziertem Holz verwendet wurden (Tabelle 15):

**Tabelle 15. Emissionen durch Forstwirtschaft (kg/kg Holz).**

*Aus GEMIS; Österreich Update Umweltbundesamt; Prozesse: ForstD&E\Industrie-Fichte-atro-A, Stamm-Fichte-atro-A, Industrie-Buche-atro, Stamm-Buche-atro"*

	$CO_2$	$CH_4$	$N_2O$
Buche Stamm	0,0124853	9,74233*10 <sup>-6</sup>	3,76565*10 <sup>-7</sup>
Buche Industrieholz	0,025854	1,790315*10 <sup>-5</sup>	6,95211*10 <sup>-7</sup>
Fichte Stamm	0,016168	1,3654*10 <sup>-5</sup>	4,96714*10 <sup>-7</sup>
Fichte Industrieholz	0,035288	0,33738*10 <sup>-4</sup>	1,2337*10 <sup>-6</sup>

Das in Reichraming geschlägerte Holz wird (laut Auskunft der Österreichischen Bundesforste) zu folgenden Abnehmern geliefert:

- Laubfaserholz (Industrieholz): Lenzing (Papierfabrik), ca 80 km.
- Laubholzblöcke (Schnittholz): regionaler Abnehmer, ca 30 km
- Nadelindustrieholz: Nettingsdorf (Papierfabrik), ca 60 km
- Nadelholz-Blöcke zu gleichen Teilen nach:
  - Stallinger, Amstetten (ca. 50 km)
  - Stallinger, Frankenmarkt (ca. 90 km)
  - Stora-Enso, Ybbs (ca. 70 km)
  - Rumplmayr, Enns (ca. 40 km)
  - Mayr-Melnhof, Leoben/Göss (ca. 100 km)
  - (Mittlere Entfernung: 70 km)
- Brennholz: regionale Bevölkerung (10 km)

Aus den Erntemengen von Laub- und Nadelholz und den jeweiligen Transportmengen wurden mit folgendem Schlüssel in Tabelle 16 die Transportemissionen ( $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$ ) berechnet.

**Tabelle 16. Transportemissionen für Holztransport mit LKW**

*Quelle: GEMIS, Datensatz des österreichischen Umweltbundesamtes - Szenario Gütertransport LKW-Emissionsklassen*

	$CO_2$	$CH_4$	$N_2O$
Transportemissionen (kg/t*km)	122,143	0,138	0,004415

Während die gesamte Holzentnahme auf Waldflächenebene einen C-Verlust fürs System (=die Waldfläche) darstellt, ist das geschlägerte Holz im weiteren Sinn betrachtet natürlich

nicht sofort ein C Verlust an die Atmosphäre, da der Kohlenstoff je nach Holzverwendungsart noch eine gewisse Zeit lang im Holz gebunden bleibt.

Dies wird auf Ebene des Forstbetriebes – und damit für die Gesamtkohlenstoffbilanz von Rechraming - berücksichtigt, indem die verschiedenen Holzverwendungsarten (Schnittholz, Industrieholz, Brennholz) mit verschiedenen durchschnittlichen Kohlenstoffturnoverzeiten belegt werden. Die Kohlenstoffturnoverzeit beschreibt die Zeitspanne innerhalb welcher der Kohlenstoff aus dem betreffenden Holz durchschnittlich wieder in die Atmosphäre gelangt. Wie groß diese Zeitspanne ist, hängt hauptsächlich davon ab, wofür das Holz genutzt wird. Im Modell wird das Holz in 4 Kategorien eingeteilt, wobei für jede Kategorie Annahmen für die durchschnittliche Turnoverzeit des Kohlenstoffs getroffen werden (Tabelle 17):

**Tabelle 17. Durchschnittliche Turnoverzeiten für Kohlenstoff (Jahre).**

*Quelle: Buerschel et al, 1993*

<i>Kategorie</i>	<i>C Turnoverzeit (Jahre)</i>
Bauwesen	69
Möbel und Holzwaren	15
Papier und Verpackung	15
Energie	0

Für die Aufteilung der Holzarten im Modell (Laub-, Nadel-, Stamm-, Industrieholz) in diese Verwendungskategorien wurden ebenfalls Annahmen getroffen (Tabelle 18). Der im Brennholz gebundene Kohlenstoff (Kategorie Energie) wird im selben Jahr als Verlust an die Atmosphäre bilanziert (Turnoverzeit=0).

**Tabelle 18. Verwendung von Stamm und Industrieholz (%)**

*Quelle: Buerschel et al 1993*

	<i>Bauwesen</i>	<i>Möbel&amp; Holz- waren</i>	<i>Papier&amp; Ver- packung</i>	<i>Energie</i>
Fichte Stammholz	47	13	21	19
Fichte Industrieholz	7	9	65	19
Buche Stammholz	8	43	23	26
Buche Industrieholz	13	19	13	55

Von dem in einem bestimmten Jahr geernteten Holz wird also der Kohlenstoffverlust für die Bilanz zum Teil erst in den folgenden Jahren wirksam.

Die gesamt C-Bilanz für einen forstwirtschaftlichen Betrieb ergibt sich aus folgenden Posten:

NECB	
+	-
NECB_forest	C-Kosten Forstwirtschaftliche Bearbeitung
C-Holzernte	C-Kosten Holztransport
	C-Verlust aus Produkt Turnover

*NECB: Kohlenstoffbilanz des forstwirtschaftlichen Betriebes. Enthält allen Kohlenstoff, der auf den zum Betrieb gehörenden Waldflächen akkumuliert/netto verloren geht (ohne Holzernte), sowie zusätzlich den Kohlenstoff, der durch forstwirtschaftliche Aktivität in die Atmosphäre gelangt.*

*NECB\_forest: Summe NECB aller Waldflächen des Betriebes.*

*C-Kosten Forstwirtschaftliche Bearbeitung: C der als CO<sub>2</sub>- und CH<sub>4</sub>- Emissionen durch forstwirtschaftliche Aktivitäten in die Atmosphäre gelangt.*

*C-Kosten Holztransport: C der als CO<sub>2</sub>- und CH<sub>4</sub>- Emissionen beim Transport des geschlägerten Holzes verloren geht.*

*C Verlust aus Produkt Turnover: Kohlenstoff der nach der Lebenszeit des in der Vergangenheit auf den Waldflächen des Betriebes geschlägerten Holzes schließlich in die Atmosphäre gelangt.*

Da der Kohlenstoff in der Holzernte auf Waldstückebene bereits von NECB\_forest abgezogen wurde (siehe C/N-Bilanz Wald und Grünlandflächen) wird er auf dieser Ebene zunächst wieder dazu addiert. Dafür wird der für dieses Jahr berechnete „C-Verlust aus Produkt Turnover“ abgezogen, der die Menge an Kohlenstoff aus der Holzernte beschreibt, die durchschnittlich in diesem Jahr in die Atmosphäre gelangt. Dazu gehört Kohlenstoff, der in diesem Jahr geerntet wurde, sowie auch jener, der in der Vergangenheit geerntet wurde und noch im Bereich seiner Turnoverzeit ist. Bei einer Turnoverzeit von 69 wird z.B. ab dem Jahr der Ernte jedes Jahr 1/69 des Kohlenstoffs freigesetzt.

NENB auf Forstwirtschaftsebene ist analog zur NENB auf Landwirtschaftsebene zu verstehen, als ein Maß für Akkumulation oder den Netto-Verlust von N aus den Flächen des Betriebs.

NENB	
+	-
NENB_forest	

*NENB\_forest: Summe der NENB aller Waldflächen des Betriebes.*

Zusätzlich werden noch folgende Parameter aus dem N-Kreislauf berechnet:

### **N<sub>2</sub>O-Emissionen Transport**

### **N<sub>2</sub>O-Emissionen Forstwirtschaft**

**NLoss** = N<sub>2</sub>O-Emissionen Transport+Forstwirtschaft+N<sub>2</sub>O-Emissionen Wald+N-Leaching Wald

**Greenhousegas\_forestEnterprise** =  $N_2OLoss*298+CH_4Loss*25+CO_2Loss-NECB\_forest/12*48$

## **Modellierung C und N Flüsse von Haushalten und Betrieben**

### **Haushalte**

Für die Energieverbrauchsberechnungen der Haushalte in Reichraming wurde als Grundlage die Anzahl der Wohnungen pro Gebäudeart und die Baualtersklassen der Gebäude laut Häuser- und Wohnungszählung verwendet (ÖSTAT, 2001). Dabei wurden folgende Gebäudetypen unterschieden:

- landwirtschaftliche Betriebe
- Gebäude mit 1-2 Wohnungen
- Gebäude mit 3-10 Wohnungen
- Gebäude > 11 Wohnungen

Diese sind eingeteilt in folgende Baualtersklassen: vor 1919, 1919-1944, 1945-1969, 1961-1980, 1981-1990, nach 1991. Aus den Nutzenergiezahlen für Gebäudetypen (Energieverbrauch pro Fläche und Jahr für verschiedene Gebäudetypen und Baualtersklassen) (Quelle: Bertsch et al., 1995) wurde der potentielle Energieverbrauch in kWh/Jahr für die Haushalte berechnet. Über einen Faktor für Benutzung und Jahresnutzungsgrad für Einzelraum- und Etagenheizung in Ein- und Mehrfamilienhäusern (Quelle: Bertsch et al., 1995) wurde schließlich der tatsächliche Energieverbrauch der Haushalte abgeschätzt. Aus den Haus- und Wohnungszählungsdaten war ferner der Anteil der verschiedenen Energieträger (Heizöl, Holz, Strom, Gas) für die verschiedenen Gebäudetypen verfügbar, woraus der Endenergieverbrauch in jeder Heizart berechnet werden konnte (Tabelle 19).

**Tabelle 19. Endenergiebedarf pro Heizart in Reichraming (1000 kWh).**

*Quelle: Aus Berechnungen basierend auf der Haus- und Wohnungszählung 2001 und Leitfaden Klimaschutz auf kommunaler Ebene, 1996.*

	<i>Landw. Betriebe</i>	<i>Gebäude mit 1-2 Wohnungen</i>	<i>Gebäude mit 3- 10 Wohnungen</i>	<i>Gebäude mit &gt;11 Wohn.</i>	<b>Summe</b>	
					<b>kWh</b>	<b>%</b>
<b>Heizöl</b>	97.664	2669.106	1117.496	149.453	<b>4033.721</b>	33.7
<b>Holz</b>	1980.415	3711.328	1145.648	117.751	<b>6955.144</b>	58.2
<b>Elek.Strom</b>	0.00	308.430	187.269	32.608	<b>528.307</b>	4.4
<b>Gas</b>	0.00	427.057	0.00	9.963	<b>437.020</b>	3.7
					11954.193	100

Für Energieverbrauch für Strom und Warmwasser wurden Mittelwerte für Haushalte in Österreich verwendet (Quelle: Bertsch et al., 1995), das sind 3300 kWh pro Haushalt und Jahr Stromverbrauch (inkl. Warmwasser) und 2700 kWh pro Haushalt und Jahr für Warmwasser, das nicht mit Strom gewonnen wird. Für letzteres wurden die errechneten prozentuellen Anteile der verschiedenen Heizarten in Reichraming als Energieträger eingesetzt.

Die so errechneten prozentuellen Anteile der einzelnen Energieträger am gesamten Energieverbrauch, sowie der gesamte Energieverbrauch der Haushalte wurden in das Modell als Ausgangszustand für das Jahr 2006 übernommen. Bei einer Änderung der Anzahl der Haushalte im Laufe einer Simulation wurde angenommen, dass die bestehende Verteilung von Gebäudetypen und Heizarten unverändert bleibt. Somit wird der Gesamtenergieverbrauch nur im Verhältnis zur Anzahl der Haushalte (ausgehend von der Haushaltszahl von 2006) jedes Jahr variiert. Ferner ist es durch entsprechende Einstellungen an den interaktiven Oberflächenelementen des Modells möglich, den Energieträgermix der Haushalte zu verändern (etwa durch Förderung von Bioenergie, wodurch mehr Holzheizungen verwendet werden). Mit Emissionsfaktoren für CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O auf Basis der verschiedenen Energieträger (Quelle: GEMIS) werden im Modell schließlich die jährlichen Treibhausgasemissionen (inkl. Vorläuferemissionen) der Haushalte berechnet.

Haushaltszahl und Energieträgermix, die beide im Modell variabel sind und durch den Simulationsverlauf beeinflusst werden, bestimmen somit – ausgehend von einer Berechnung der aktuellen Energienutzung der Haushalte – die während einer Simulation durch die Haushalte verursachten Treibhausgasemissionen.

### Betriebe

Als Grundlage für die Energieverbrauchsberechnungen der (nicht landwirtschaftlichen) Betriebe in Reichraming diente die aktuelle Arbeitsstättenzählung der Statistik Austria (Arbeitsstättenzählung 2001). Die dort aufgeführten Zahlen der Beschäftigten pro Branche wurden auf die für unser Modell relevanten Branchengruppen „Biobetriebe“ (betrifft Bioenergie, Bioverarbeitung, Bioernährung – nicht landwirtschaftliche Betriebe), „Tourismus“ und „Sonstige“ aufgeteilt.

Der „Leitfaden Klimaschutz auf kommunaler Ebene“ des Ökologie Institutes bietet Kennzahlen für die Abschätzung des Endenergieeinsatzes – nach Energieträgern gegliedert – in Industrie- und Gewerbebetrieben unterschiedlicher Branchen (Bertsch et al., 1995). Mit diesen Kennzahlen und den Zahlen aus der Arbeitsstättenzählung wurde auf Energieverbrauch pro Beschäftigten pro „neuer“ Branchengruppe hochgerechnet (kWh/Beschäftigtem/Jahr). Aus der tatsächlichen Branchenzusammensetzung der neuen Branchengruppen Bio (Bioenergie und lw. Bioprodukte), Tourismus und Sonstige Betriebe konnten neue Kennzahlen für den Energieeinsatz je Beschäftigtem berechnet werden (Tabelle 20).

**Tabelle 20. Betriebe, Anzahl der Beschäftigten und Energieeinsatz pro Energieträger (1000 kWh/a) je beschäftigten Menschen**

*Quelle: Berechnungen auf Basis der Arbeitstättenzählung 2001 und Energiekennzahlen des Ökologie-Instituts*

	<i>Endenergieeinsatz je Beschäftigtem (1000 kWh/a)</i>							
	<i>Betriebe</i>	<i>Beschäftigte</i>	<i>Strom</i>	<i>Kohle</i>	<i>Erdöl</i>	<i>Erdgas</i>	<i>Fernw.</i>	<i>Holz/Abf.</i>
Bio	5	55	8.229	0.356	9.704	2.495	0.398	1.425
Tourismus	14	35	6.600	1.900	25.800	2.400	0.700	0.000
Sonstige	47	328	20.197	8.812	30.802	20.608	1.766	8.694

Von dem Energieeinsatz wurden mit Emissionsfaktoren der einzelnen Brennstoffe (für Industrieanlagen, aus Leitfaden Klimaschutz) auf die entsprechende Menge CO<sub>2</sub>- und CH<sub>4</sub>-Emissionen der Betriebe umgerechnet (keine Berechnung der N<sub>2</sub>O-Emissionen, keine Berücksichtigung von Vorläuferemissionen).

Die Anzahl der Betriebe in den drei Branchengruppen ist im Modell dynamisch und vom Simulationsverlauf abhängig. Die Emissionen werden jedes Jahr anhand der aktuellen Betriebs/Beschäftigtensituation in den drei Branchen neu berechnet.

### Treibhausgasemissionen

Treibhausgasemissionen (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) entstehen durch unterschiedliche Prozesse und werden im Modell in den verschiedenen Modellteilen berechnet. Dabei kann von manchen

Prozessen zu den CO<sub>2</sub>-Emissionen positiv (Veratmung von organischem Material, Verbrennung fossiler Brennstoffe) oder negativ (Assimilation von CO<sub>2</sub> durch Photosynthese) beigetragen werden. Das Vorzeichen der Treibhausgasemissionsbilanz ist daher umgekehrt zur Kohlenstoffbilanz, die jeden assimilierten Kohlenstoff positiv bilanziert und jeden an die Atmosphäre verlorenen als negativ.

### **CO<sub>2</sub>-Emissionen(+/-)**

Landwirtschaftlicher Betrieb:

- Grünland NECB (+/-)
- Wald NECB (+/-)
- Kraftfutterimport (+)
- Emissionen aus Energieverbrauch für landwirtschaftliche Bearbeitung (+)

Forstwirtschaftlicher Betrieb:

- Wald NECB (+/-)
- Transportemissionen (+)
- Emissionen aus Energieverbrauch für forstwirtschaftliche Bearbeitung (+)
- C-Holzernte nach Turnoverzeit (+)

Haushalte Energieverbrauch (+)

Betriebe Energieverbrauch (+)

### **CH<sub>4</sub>-Emissionen (+)**

Landwirtschaftlicher Betrieb:

- Emissionen Tierhaltung
- Emissionen Kraftfutterimport
- Emissionen aus Energieverbrauch für landwirtschaftliche Bearbeitung

Forstwirtschaftlicher Betrieb:

- Transportemissionen
- Emissionen aus Energieverbrauch forstwirtschaftliche Bearbeitung

Haushalte Energieverbrauch

Betriebe Energieverbrauch

## **N<sub>2</sub>O Emissionen (+)**

### Landwirtschaftlicher Betrieb:

- N<sub>2</sub>O Ausgasung Waldflächen
- N<sub>2</sub>O Ausgasung Grünlandflächen
- Emissionen aus Energieverbrauch für landwirtschaftliche Bearbeitung
- Emissionen aus Kraftfutterimport
- Emissionen Futterkonservierung
- Emissionen Wirtschaftsdüngerlagerung
- Emissionen Düngerausbringung

### Forstwirtschaftlicher Betrieb:

- N<sub>2</sub>O-Ausgasung Waldflächen
- Emissionen aus Energieverbrauch für forstwirtschaftliche Bearbeitung
- Transportemissionen

### Haushalte Energieverbrauch

### Betriebe Energieverbrauch

## **Treibhausgasäquivalente**

Zur Berechnung der Treibhausgasäquivalente für CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O wurde der aktuelle IPCC-Bericht (IPCC, 2007), herangezogen mit folgenden CO<sub>2</sub>-Äquivalenten:

CO<sub>2</sub>: 1

CH<sub>4</sub>: 72

N<sub>2</sub>O: 289

## **C- und N-Bilanz der Gemeinde**

Das Modell gibt für jedes Simulationsjahr eine Gegenüberstellung der Kohlenstoffbilanz von landwirtschaftlichen Betrieben, Forstbetrieben, Haushalten und Betrieben in Form einer Tabelle aus (Name: Cbalance.csv, wird automatisch im Modellverzeichnis während des Modelllaufs erzeugt, in Excel importierbares Format).

Für jedes Simulationsjahr werden dabei in folgenden Kategorien

- Farms (in manchen Parametern getrennt in Farms-grassland und Farms-forest)
- FederalForest
- NationalPark
- Households
- Enterprises

jeweils NECB (Cbalance, in kg C), Treibhausgasemissionsbilanz (in kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten), CH<sub>4</sub>-Emissionen (in kg CH<sub>4</sub>) und N<sub>2</sub>O-Emissionen (in kg N<sub>2</sub>O) ausgegeben. Die Kategorie „Farms“ enthält jeweils die Summe der Werte der landwirtschaftlichen Betriebe, die in dem jeweiligen Jahr der Simulation existiert haben. Zusätzlich wird eine Tabelle Cbalance\_landscape.csv erzeugt, die C- und N-Outputgrößen auf Landschaftsebene, meist gegliedert nach den Kategorien:

Farms-grassland, Farms-forest, FederalForest, Kooperationswald und Nationalpark

ausgibt. Für eine genaue Beschreibung der in diesen Tabellen vorkommenden Werte und deren Einheiten siehe Anhang A.

### **Technische Umsetzung**

Das Stoffflussmodell wurde in Java programmiert und die Klassen wurden in das Anylogic Package des agentenbasierten Modells integriert. Es gibt für folgende Agenten im agentenbasierten Modell ein zugehöriges Stofffluss-Objekt:

- Farm
- FederalForest
- Landpiece
- NationalPark
- Household
- Enterprise

Einmal im Jahr, bei der Evaluierung der Agenten, wird das jeweilige Stoffflussobjekt aufgerufen und führt die Berechnungen durch. Die Daten aus den Vorberechnungen mit dem BIO-ME-BGC sind in einer Access-Datenbank (*ecolmod.mdb*) gespeichert, auf die das Stoffflussmodell zur Laufzeit zugreifen kann. Die Ergebnisse der Stoffflussberechnungen sind einerseits teilweise auf der interaktiven Oberfläche des Modells zur Laufzeit sichtbar und werden andererseits in verschiedenen Tabellen, die zur Laufzeit erzeugt werden, mitprotokolliert (farms.csv, Cbalance.csv). Weiters können die Ergebnisse in einer GIS kompatiblen Form zur Herstellung von GIS Karten ausgegeben werden.

### ***Schnittstellen zwischen Modellmodulen***

Das Modell ist an ein geographisches Informationssystem (GIS) gekoppelt. Das ist einerseits notwendig, da manche, für das Modell notwendige Daten, nur auf räumlicher, GIS-basierter Ebene zur Verfügung stehen (z.B. Höhenmodell, Bodenarten, Entfernungen zwischen Grünlandflächen). Andererseits lassen sich die vom Modell berechneten Daten für die verschiedenen Szenarien über die GIS-Schnittstelle auf GIS-Karten räumlich visualisieren.

Für den Austausch der Daten zwischen GIS und Modell musste eine Zuordnung der GIS-Einheiten zu den Berechnungseinheiten im Modell gefunden werden. Im Falle der forstwirtschaftlichen Daten war das relativ leicht, da die von den österreichischen Bundesforsten zur Verfügung gestellten Daten bereits als GIS-Daten vorhanden waren.

Im Falle der Grünlanddaten gestaltete sich die Zuordnung ein wenig schwieriger, da viele der landwirtschaftlichen Informationen (z.B. Bewirtschaftungsart, Betriebszugehörigkeit) aus dem INVEKOS-Datensatz stammen und nur auf „Schlag“-Basis vorhanden waren (ein „Schlag“ ist eine landwirtschaftlich bewirtschaftete Fläche). Informationen zu den Grünlandflächen waren im GIS hingegen nur auf Grundstücksbasis (DKM-Datensatz) vorhanden. Ein Schlag wird im Modell als Bewirtschaftungseinheit behandelt, er kann gepachtet und verpachtet werden und dient als Basis für die Stoffflussberechnungen. Die Zuordnung Schlag zu Grundstück ist allerdings nicht eindeutig, da ein Schlag einerseits über mehrere Grundstücke verteilt sein kann, aber auch verschiedene Schläge sich auf einem Grundstück befinden können (n:n Beziehung). Um dieses Problem zu lösen, wurden die Daten in der Datenbank vorbehandelt. Zunächst wurden Schläge mit gleicher Nutzung, die am selben Grundstück liegen und zum gleichen Betrieb gehören, zusammengefasst. Dadurch sinkt die Anzahl der im Modell vorhandenen Schläge von 1084 auf 440. Dann wurden zwei verschiedene Zuordnungen von Schlägen zu Grundstücken gesucht, je nach dem, ob die Information vom GIS ins Modell gebracht werden soll (Grundstücke → Schläge) oder umgekehrt (Schläge → Grundstücke).

#### **Übersetzungstabelle GIS → Modell:**

Für die Modellberechnungen für jeden der im Modell simulierten 440 Schläge sind genaue Informationen aus dem GIS über Höhenlage, Exposition, Bodentyp, geographische Lage etc. notwendig. Diese Informationen sind im GIS mit DKM-Grundstücken verknüpft. Deswegen musste jedem Schlag genau ein Grundstück zugeordnet werden, von dem diese Informationen bezogen werden können. Für die Verknüpfung wurde jeweils das Grundstück gewählt, an dem der betreffende Schlag den größten Anteil hat, auch wenn der Schlag in Wirklichkeit über mehrere Grundstücke geht. Dabei können auch mehrere Schläge demselben Grundstück zugeordnet sein. Daraus entsteht eine Übersetzungstabelle, in der den 440 Schläge 381

Grundstücke zugeordnet sind (n:1) und über diese die Standortsfaktoren mit den Schlägen verknüpft werden konnten.

### **Übersetzungstabelle Modell → GIS:**

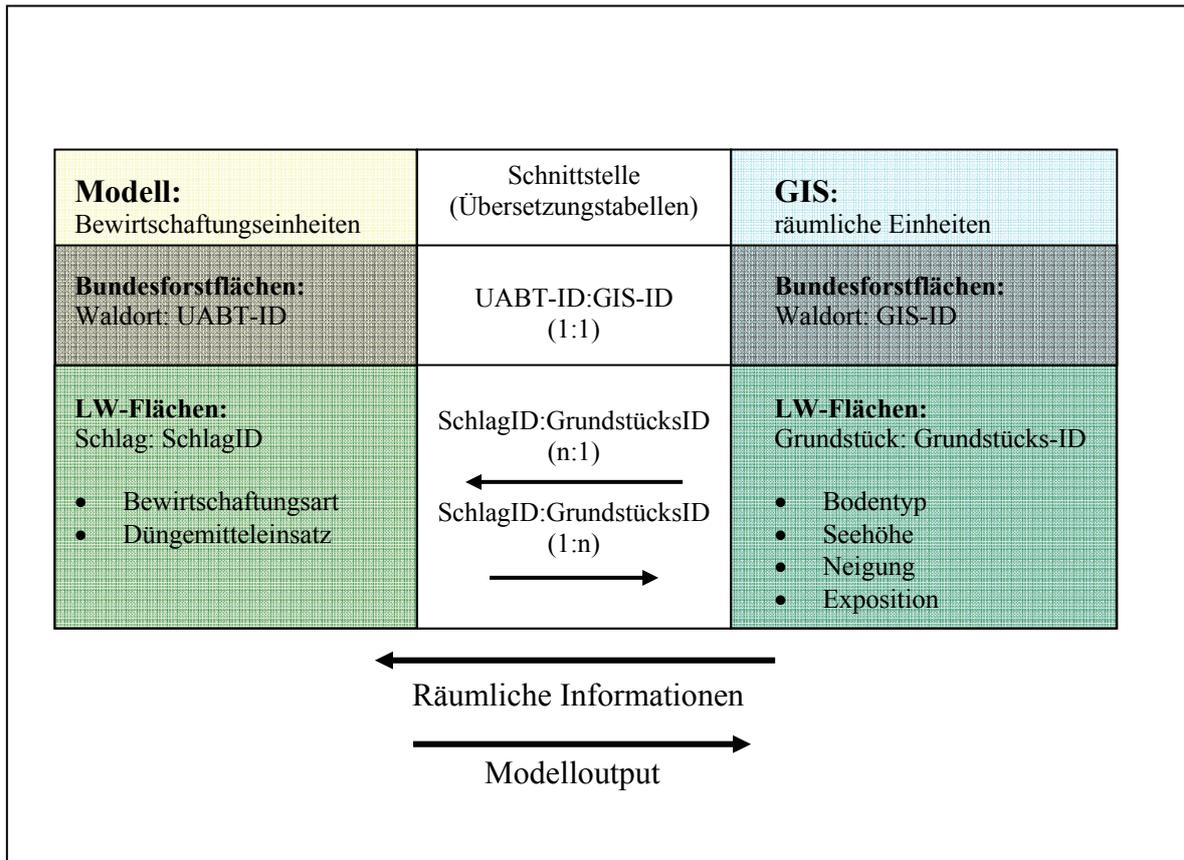
Um die auf den 440 Schlägen basierenden Modelloutput möglichst lückenlos wieder im GIS darzustellen, bedarf es einer Verbindung von jedem Schlag mit einem oder mehreren Grundstücken (da sich diese 440 Schläge auf wesentlich mehr Grundstücke verteilen). Dafür wurde der Anteil der genutzten Fläche am Grundstück für jeden Schlag berechnet. Für eine Zuteilung der Schläge zu den räumlichen GIS Einheiten (Grundstücken) wurde nun jedem Grundstück entweder

1. genau eine Schlag-ID zugeordnet: wenn
  - a. auf diesem Grundstück ein Schlag dominant ist, d.h. > 60% der genutzten Fläche auf einen Schlag entfallen und > 50% des Grundstücks genutzt wird  
oder
  - b. wenn ein Grundstück klein ist (<0.5ha) und die Gesamtnutzung > 50% wird ihm die ID des größten Schlags zugeordnet.
2. „ungenutzt“ zugewiesen:
  - a. bei kleinen Grundstücken (<0.5ha) mit weniger als 50% Grundstücksnutzung oder
  - b. Grundstücke >0.5ha, die zu mehr als 75% ungenutzt sind.
3. das Grundstück in zwei neue räumliche Einheiten aufgeteilt:
  - a. in zwei Schläge: wenn es aus zwei annähernd gleich großen Schlägen besteht und mehr als 50% der Grundstücksfläche genutzt wird.
  - b. in einen Schlag und einen ungenutzten Teil: wenn zwischen 50-75% ungenutzt sind.

Um den Aufwand zu minimieren (da es visuell nur einen geringen Unterschied macht), wurden kleine Schlagteile und Grundstücke vernachlässigt: kleine Schlagteile (<20% der genutzten Fläche) wurden nicht berücksichtigt. Kleine Grundstücke (<0.5 ha) wurden prinzipiell nicht geteilt, sondern dem Schlag mit dem größten Anteil zugewiesen. Bei mehr als 50% ungenutzt wurden kleine Grundstücke als „ungenutzt“ markiert.

Nach dieser Bearbeitung kann jedem Grundstück genau ein Schlag zugeordnet werden, es können jedoch einem Schlag mehrere Grundstücke zugeteilt sein (wenn dieser über mehrere Grundstücke geht). Diese Zuordnung ist in einer Übersetzungstabelle abgebildet, die 337 Schläge zu 956 Grundstücken zuordnet (1:n). Modellintern wird immer mit 440 Schlägen gerechnet, ausgegeben im GIS werden jedoch nur 337 (da kleine oder nicht dominante Schläge bei der Darstellung vernachlässigt werden), und diese sind auf 956 Grundstücke verteilt.

Nach einem Simulationslauf können nun die gewünschten Informationen (z.B. Landnutzung, C-Bilanz, N-Verlust) für alle Schläge in Tabellenform ausgegeben werden und mittels der Übersetzungstabelle den Grundstücksnummern zugeordnet werden. Über die Grundstücksnummern kann die Information dann als GIS-Karte dargestellt werden (Abbildung 11).



**Abbildung 11. GIS Schnittstelle: Zuordnung von räumlichen Einheiten im GIS zu Berechnungseinheiten im Modell.**

### *Interaktive Oberfläche*

Die Benutzeroberfläche eines Modells ist vor allem dann wichtig, wenn das Model von den lokalen/regionalen Stakeholdern benutzt bzw. als Mittel der Wissens-Kommunikation mit der breiteren Öffentlichkeit eingesetzt werden soll. Computermodelle bieten sich für diesen Zweck an, da sie eine spielerische Auseinandersetzung mit komplexen Themen erlauben. Die Möglichkeit, Variablen nach eigenen Vorstellungen zu verändern und Auswirkungen dieser Veränderungen zu beobachten machen den Reiz dieser Modelle aus.

### **Elemente der Oberfläche**

Die Benutzeroberfläche eines Modells besteht meistens aus Reglern, welche Parameter oder Variablen verändern (Regler) und aus verschiedenen Elementen, die die Veränderung bestimmter wichtiger Variabeln über die Laufzeit darstellen (Output). Ein wichtiger Schritt in der Gestaltung der Oberfläche ist die Auswahl dieser Variablen. Bei einer Implementierung von zu vielen Variablen in Form von Reglern besteht die Gefahr, dass zu viele Regler bewegt werden, was die Zuordnung von Reglerbewegung zu Änderungen im Modelllauf erschwert

bzw. unklar macht. Zu viele Output-variablen wiederum können rasch zu Unübersichtlichkeit führen.

In SERD wurden die Reglervariablen in zwei Gruppen eingeteilt:

- Externe Faktoren und
- Interne Faktoren.

Externe Faktoren bezeichnen Veränderungen in den Rahmenbedingungen des Systems die nicht vom System selbst beeinflusst werden können. Dazu zählen:

- Subventionen
- Preise für Landwirtschaftliche Produkte
- Bio-Attraktivität (Nachfrage nach Bio-Produkten)
- Bioenergie Nachfrage

Zu den internen Reglern gehören:

- Gewünschtes Einkommen
- Gewünschte Freizeit
- Kooperation zw. Landwirten
- Kooperation zw. Gemeinden
- Investition in Nationalpark Infrastruktur
- Landwirtschaftliche Direktvermarktung

### **Bedeutung der Regler**

Durch die Regler „Gewünschtes Einkommen“ und „Gewünschte Freizeit“ werden einzelne Variable beeinflusst. Durch die Reglerbewegung wird diese Variable im Vergleich zu der Referenzvariablen erhöht oder gesenkt und dadurch z.B. das Verhalten des Agenten beeinflusst. Komplexere Regler wie z.B. Bio-Attraktivität haben einen Einfluss auf mehrere Variable und spiegeln daher Szenarios wieder. Tabelle 21 zeigt welche Variablen von welchen Reglern beeinflusst werden.

**Tabelle 21. Wirkung der Regler (Slider), die interaktiv an der Modelloberfläche verstellbar sind.**

Slider	Variablen	Effekt
<b>Externe Variablen</b>		
Preise für landwirtschaftliche Produkte	sl_pp; pp	Verändert die Preise für landwirtschaftliche Produkte um +/- 100% im Vergleich zum Startwert. Beeinflusst Lebensqualität Landwirt (Anteil 25%)
Landwirtschaftliche Förderungen	sl_subsidies; subsidies	Verändert die Höhe der landwirtschaftlichen Förderungen um +/- 100% im Vergleich zum Startwert. Beeinflusst Lebensqualität Landwirt (Anteil 25%)
Bedingungen für Bio-produkte	bioattractivity	Beeinflusst Entscheidungen der Landwirte (zw. Extensivieren / Intensivieren); Hat positiven Einfluss auf die Preise für landwirtschaftliche Produkte und Förderungen (abhängig vom Anteil der Biobauern)
Bedingungen für Bio-energie	bea	Beeinflusst Entscheidungen der Landwirte (zw. Aufforsten / Verpachten); ÖBF bevorzugen Harthölzer; Anzahl der Haushalte die mit erneuerbarer Energie (Holz) heizen (positiv); Anzahl der Bioenergie Unternehmen (positiv);
<b>Interne Variablen</b>		
Kooperation zwischen Gemeinden	coop_EU	Positiv: Nachfrage Arbeitskräfte; Gemeindebudget (EU Förderungen z.B LEADER);
Investition in Nationalpark Infrastruktur	I_NP	
Kooperationsbereitschaft		Entscheidung der Landwirte zu kooperieren (anstatt Flächen aufzugeben); Pachtmarkt: Verstärktes Auftreten von Kooperativen Waldgemeinschaften
Landwirtschaftliche Direktvermarktung	directMarketingAtractivity direct_h direct_l	Entscheidung der Landwirte für direkt Vermarktung (anstatt Off-Farm Arbeit); Erhöht Einkommen und Arbeitszeit der Landwirte; Erhöht Anteil an regionalen Produkten
Minimum Einkommen landwirtschaftlicher Betriebe	min_income_fact	Beeinflusst Zustand (Zufrieden / Unzufrieden) der Landwirte:
Gewünschte Freizeit landwirtschaftlicher Betriebe	min_leasure_time	Beeinflusst Zustand (Zufrieden / Unzufrieden) der Landwirte:

### Testen der Oberfläche mit Stakeholdern

Um eine möglichst bedienerfreundliche Oberfläche gestalten zu können, wurde das Modell in einem Stakeholderworkshop präsentiert und anschließend Eindrücke, Vorschläge und Kritik zu der Benutzerfreundlichkeit des Modells gesammelt. Die Hauptkritikpunkte bezogen sich auf die Größe und Lesbarkeit der Graphen, auf die unklare Benennung einzelner Variablen, und das Fehlen gewisser Output Größen.

Auf Basis dieses Feedbacks aus der Praxis (Anwender) wurde die Modelloberfläche in ein Haupt- und vier Nebendisplays untergliedert (Tabelle 22). Das Hauptdisplay (Abbildung 12) enthält die Schieber, welche die Reglervariablen verändern, eine Karte auf der die Landschaftsveränderungen über die Zeit dargestellt werden, und sechs Graphiken, die jeweils die zwei wichtigsten Output Variablen der Bereiche Landwirtschaft, Gemeinde und Stofffluss &

Ökologie darstellen. Diese Bereiche sind klar farblich voneinander abgegrenzt. Durch Buttons gelangt man zu den anderen Displays von denen drei zusätzliche Information zu den Bereichen Landwirtschaft, Gemeinde und Stofffluss & Ökologie liefern, während man auf dem vierten Display sowohl die Möglichkeit hat, Landschaftsveränderungen des aktuellen Laufes mit den Landschaftsveränderungen im Referenzlauf als auch numerische Anfangs- und Endwerten wichtiger Variablen zu vergleichen (Abbildung 13).

**Tabelle 22. Output Variablen gegliedert nach Displays:**

Hauptdisplay	Landwirtschaft Details	Stofffluss & Ökologie Details	Gemeinde Details
Pendler	Arbeitsstunden / Arbeitskraft gesamt	Treibhausgas Emission	Budget
Anzahl der Haushalte	Arbeitsstunden / Arbeitskraft in landwirtschaftlicher Tätigkeit	Nitrat Auswaschung	Anzahl Nächtigung
Anzahl der landwirtschaftlichen Betrieb	Einkommen gesamt	Ammoniak Emissionen	Gewidmete Gemeindeflächen
Fläche Grünland	Einkommen aus landwirtschaftlicher Tätigkeit	C-Bilanz ÖBF Wald	
C-Bilanz	Anzahl Milchbetriebe	C-Bilanz Nationalpark Wald	
Treibhausgas Emissionen	Anzahl Mutterkuhbetriebe	C-Bilanz Bauernwald	
	Anzahl Alternativer Betriebe		
	Durchschnittliche Betriebsgröße		
	ha unter extensiver Nutzung		
	ha unter konventioneller Nutzung		
	ha unter intensiver Nutzung		
	GVEs / ha		
	Anzahl Betriebe Biobauern		
	Anzahl Betriebe Konventionell		
	Anzahl Betriebe Intensiv		

Weiters entstand bei jenem Stakeholderworkshop der Eindruck, die Graphiken würden immer den selben Verlauf aufweisen, was daran lag, dass gewisse Variable (z.B. Anzahl der Bauern) immer abnehmen. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Läufen - also ob zu einem gewissen Zeitpunkt mehr Landwirte in der Gemeinde vorhanden waren als im Referenzlauf - wurden nicht wahrgenommen. Um dem Benutzer ein Gefühl dafür zu geben, ob sich eine Variable besser oder schlechter entwickelt wurde ein rot-grüner Rahmen gewählt der anzeigt, ob eine Variable über (grün) oder unter (rot) dem Referenzwert liegt. Bei manchen Variablen die von Lauf zu Lauf einer stochastischen Schwankung unterliegen wurden nicht genaue Referenzwerte sondern ein "Referenzbereich" ausgewählt.

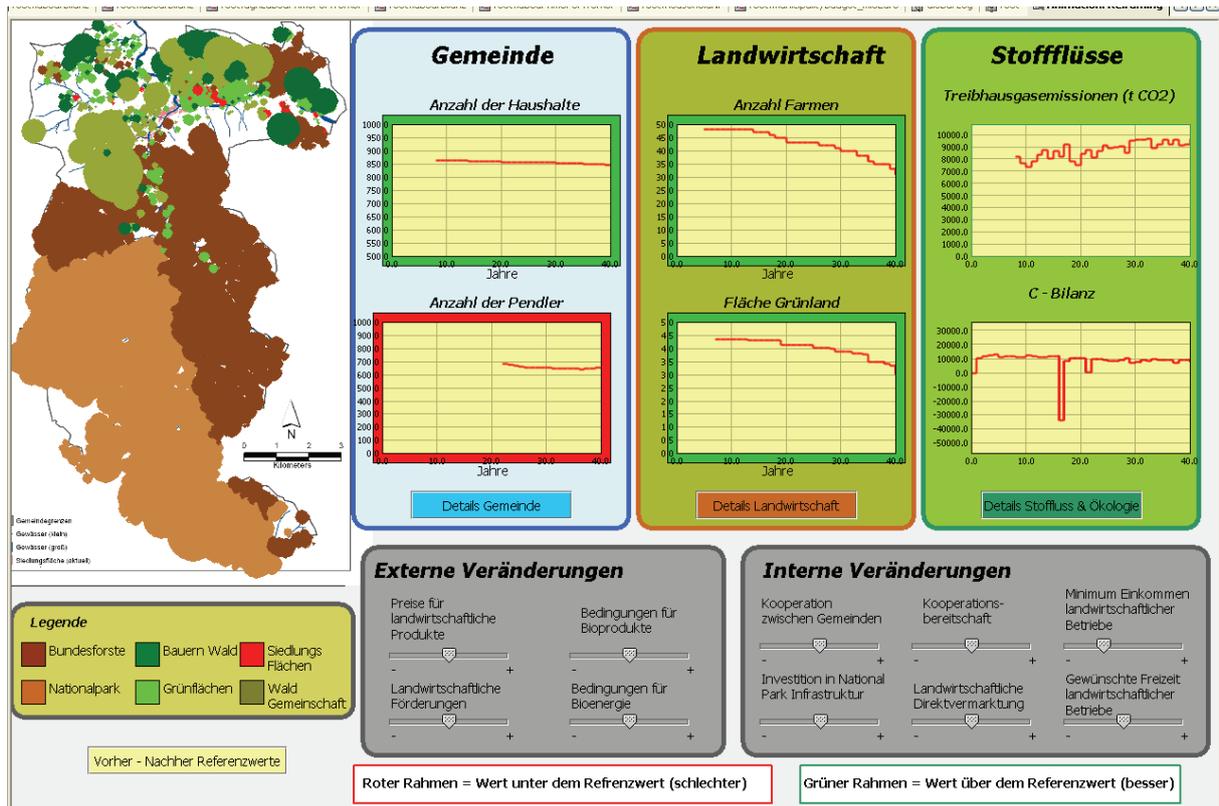


Abbildung 12. Hauptdisplay mit den Reglern „Externe Veränderungen“ und „Interne Veränderungen“ und jeweils zwei Graphen pro Themenbereich.



Abbildung 13. Displays zu den Tehmenbereichen (a) Landwirtschaft, (b) Stofffluss & Ökologie, (c) Gemeinde, (d) Referenzvergleich

## Szenarien

Neben der Möglichkeit, das Modell interaktiv zu nutzen, war es ein wesentliches Ziel der Modellentwicklung, ein Tool zu erarbeiten, das es erlaubt, mittels Szenarien die Auswirkungen von sozioökonomischen Rahmenbedingungen, internen Verhaltensweisen und Präferenzmustern auf Landnutzung und ökosystemare Stoffflüsse integriert zu analysieren. Angelehnt an Szenarien auf globaler oder europaweiter Ebene, wie man sie in der Literatur findet (Millenium Ecosystem Assessment, 2005; Nakicenovic and Swart, 2000; UNEP, 2002) formulierten wir neben einem Referenzszenario fünf weitere Szenarien, die sowohl Veränderungen von externen Größen als auch Veränderungen von internen Strukturen zum Inhalt haben.

Das Referenzszenario (REF) geht von der Annahme aus, dass die Bedingungen von 2006 (Preise für landwirtschaftliche Produkte, Höhe der agrarischen Förderungen, Bioenergiebedingungen sowie auch die Handlungen und Präferenzen der lokalen Akteure) in den kommenden 30 Jahren unverändert bleiben. Dieses Szenario dient in erster Linie als Vergleichsszenario für die weiteren Szenarien TREND, GLOB, LOC, LQ+ und LQ<sup>-</sup>.

Das TREND-Szenario beschreibt Zukunftstrends, wie sie insbesondere im Jahr 2007/2008 ansatzweise beobachtet werden konnten. Die Preise für agrarische Produkte steigen deutlich im Vergleich zum Datenbasisjahr 2006. Gleichzeitig verbessern sich die Bedingungen für

Bioenergie auf globaler Ebene enorm. Eine derartige Verbesserung wirkt sich vor allem durch einen erleichterten Absatz von Holz am regionalen Markt ab, auch für landwirtschaftliche Betriebe mit Privatwaldbesitz. Weiters begünstigt diese Entwicklung eine Ansiedelung von Betrieben zur Bioenergieerzeugung. Ziel des TREND Szenarios ist es herauszufinden, welche Chancen durch günstige agrarische Bedingungen auf überregionaler Ebene einer Gemeinde wie Reichraming ermöglicht werden.

Das „neoliberale“ GLOB Szenario beschreibt die für den landwirtschaftlichen Sektor denkbar ungünstigsten Entwicklungen sowohl auf globaler als auch auf regionaler Ebene. Einerseits fallen die Preise für landwirtschaftliche Produkte auf die Hälfte des Wertes von 2006 und zugleich werden sämtliche Agrarförderungen auf nationaler und EU Ebene zur Gänze gestrichen. Auf diese ungünstigen Rahmenbedingungen reagieren lokale landwirtschaftliche Betriebe mit einer verstärkten Abkapselung, indem sie keinerlei Bereitschaft zeigen, zu kooperieren, weder mit anderen landwirtschaftlichen Betrieben noch mit dem Nationalpark. Auch auf Gemeindeebene sinkt die Kooperationsbereitschaft auf nahezu null.

Im LOC Szenario sind die lokalen Akteure mit denselben ungünstigen Rahmenbedingungen des GLOB Szenarios wie fallenden Agrarproduktpreisen und sinkenden Förderungen konfrontiert. Im Unterschied zu diesem reagieren allerdings die Akteure mit regionalen Anpassungsstrategien wie erhöhter Bereitschaft zur Kooperation zwischen den Gemeinden, den landwirtschaftlichen Betrieben und dem Nationalpark. Im Gegensatz zu den beiden Szenarien TREND und GLOB, die die Möglichkeit bieten, Veränderungen der externen Rahmenbedingungen und deren Auswirkungen auf die lokalen Akteure und deren Landnutzungsentscheidungen abzuschätzen, bietet das LOC Szenario die Möglichkeit einer Analyse der Wirksamkeit „interner“ Verhaltensänderungen auf Entwicklungen „externer“ Rahmenbedingungen.

Die Szenarien LQ+ (steigende Lebensqualität) und LQ<sup>-</sup> (sinkende Lebensqualität) gehen ausschließlich von veränderten „internen“ Präferenzstrukturen aus. Bei gleich bleibenden sozio-ökonomischen Rahmenbedingungen verändern landwirtschaftliche Betriebe ihr Verlangen nach Mindesteinkommen und Freizeit. Im LQ+ Szenario sind Betriebe bereits bei einem Einkommen unter 30.000 und bei einer Freizeit unter 4 Stunden unzufrieden und reagieren dementsprechend schneller mit Änderungen ihrer landwirtschaftlichen Praxis oder Veränderungen ihrer Einkommensstruktur.

Tabelle 23 bietet einen Überblick über die Variablen der sechs Szenarien.

**Tabelle 23. Szenarienannahmen für das Referenzszenario und die fünf Szenarien TREND, GLOB, LOC, LQ+ und LQ-**

	REF	TREND	GLOB	LOC	LQ+	LQ-
<b>(1) Regler für Externe Variablen</b>						
Landwirtschaftl. Produktpreise	default	max	min	min	default	default
Bedingungen für Bio-LW	default	default	min	max	default	default
Bedingungen für Bioenergie	default	max	default	default	default	default
Landwirtschaftl. Förderungen	default	default	min	min	default	default
<b>(2) Regler für Interne Variablen</b>						
Kooperation zw. Gemeinden	default	default	min	max	default	default
Kooperation zw. LW Betrieben	default	default	min	max	default	default
Direktvermarktung	default	default	min	max	default	default
NP Investitionen	default	default	min	max	default	default
Wunsch nach Mindesteinkommen	default	default	default	default	max	min
Wunsch nach Freizeit	default	default	default	default	max	min
<b>(3) Externe Variablen</b>						
LW Produktpreise	= 2006*	+100%	-50%	-50%	= 2006*	= 2006*
LW Förderungen (EU, national)	= 2006*	= 2006*	-100%	-100%	= 2006*	= 2006*
Zusatzeskommen Direktvermarktung	€400.-/ha	€400.-/ha	None	€600.-/ha	€400.-/ha	€400.-/ha
EU Förderungen für Gemeinde (z.B. LEADER+) [€/Jahr]	100.000.-	100.000.-	0.-	200.000.-	100.000.-	100.000.-
Haushalte mit Holzheizung	58%	90%	58%	58%	58%	58%
Arbeitszeit für Direktvermarktung	40h/ha	40h/ha	0	300h/ha	40h/ha	40h/ha
<b>(4) Veränderungen der Entscheidungsmöglichkeiten im Farmstatchart</b>						
Wahrscheinlichkeit zu Extensivieren vs. Kooperieren oder Aufgabe	50%	50%	50%	50%	50%	50%
Wahrscheinlichkeit zu Kooperieren vs. Aufgabe	50%	50%	10%	90%	50%	50%
Wahrscheinlichkeit Wald an die ÖBf zu verpachten vs. Kooperieren	50%	50%	99%	0,1 %	50%	50%
Wahrscheinlichkeit für regionales Marketing vs. Nicht-lw. Arbeit	40%	40%	0%	100%	40%	40%
Wahrscheinlichkeit aufzuforsten vs. Land zu verpachten	30%	100%	30%	30%	30%	30%
Wahrscheinlichkeit auf biolog. LW umzusteigen	99%	99%	0%	100%	99%	99%
Mindesteinkommen [€/Jahr]	default	default	default	default	max	min
Freizeit [h pro Tag]	default	default	default	default	max	min

## **Ergebnisse und Diskussion**

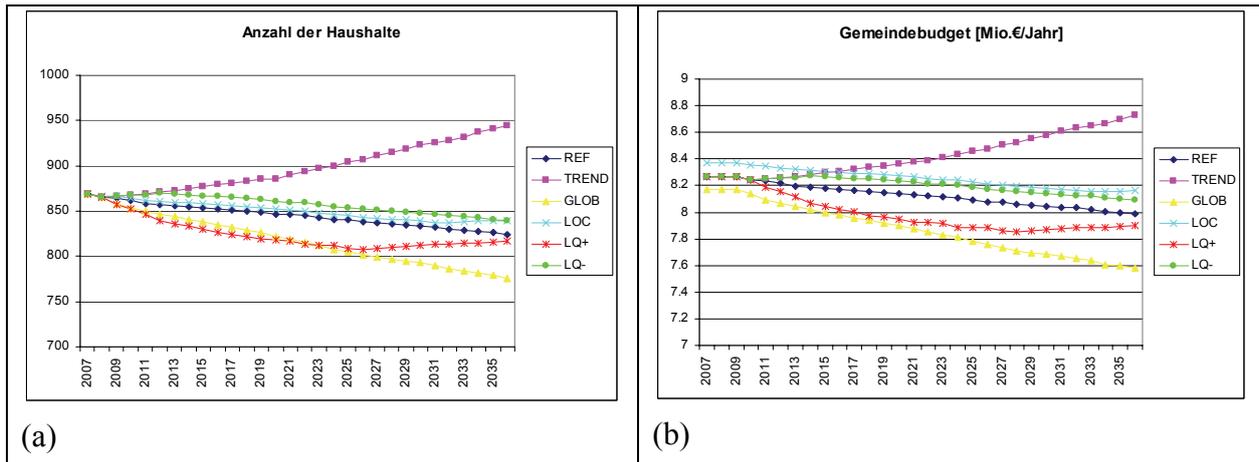
Die Ergebnisse der Szenarienberechnungen lassen sich wie in Abbildung 3 skizziert in drei Gruppen von Ergebnissen gliedern:

- (1) Sozio-ökonomische Struktur
- (2) Landnutzung und
- (3) Stoffflüsse

### ***Sozio-ökonomische Strukturveränderungen***

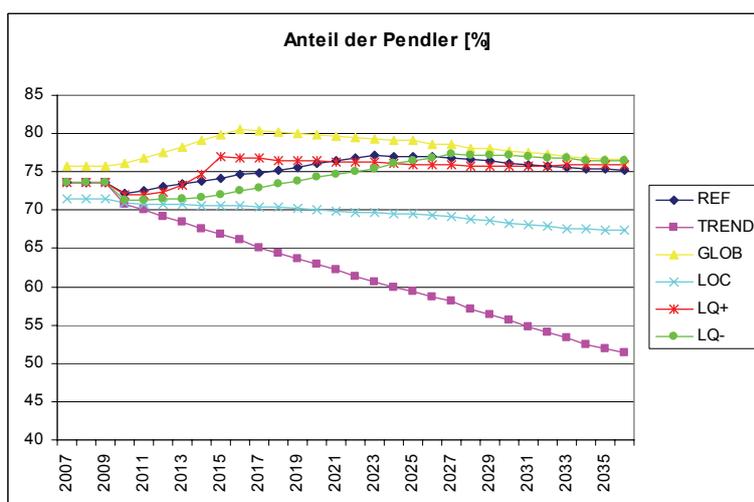
Bei den sozio-ökonomischen Strukturveränderungen gibt es auf der einen Seite Parameter, welche die Situation der Gemeinde beschreiben, und auf der anderen Seite sozio-ökonomische Größen, die die Situation der landwirtschaftlichen Betriebe im Speziellen darstellen.

Die Tatsache, dass die Anzahl der Haushalte einen wesentlichen Anteil an der Berechnung des Gemeindebudgets ausmacht, erklärt, warum die in Abbildung 14 gezeigten Kurven einander sehr ähneln. Sowohl die Haushalte als auch das Gemeindebudget erfahren beim TREND-Szenario den größten Anstieg. Die Rahmenbedingungen des TREND-Szenarios mit steigenden landwirtschaftlichen Produktpreisen und optimalen Bedingungen für Bioenergie begünstigen einerseits die Einkommensmöglichkeiten der Waldflächenbesitzer in der Gemeinde wie auch die Ansiedelung von Holzverarbeitenden Betrieben im Gemeindegebiet. Dies bedeutet ein weit aus besseres und vielfältigeres Arbeitsplatzangebot und erhöht damit deutlich die Attraktivität der Gemeinde als Wohngemeinde. Alle anderen Szenarien zeigen eine negative Entwicklung für die kommenden 30 Jahre an, wobei die Anzahl der Haushalte und das Gemeindebudget vor allem im GLOB-Szenario deutlich sinken. Auch hier ist das - in diesem Falle - fehlende Arbeitsplatzangebot, die treibende Größe dieser Entwicklung. Das LOC-Szenario hingegen, das die gleichen negativen überregionalen Rahmenbedingungen annimmt wie das GLOB-Szenario, zeigt wie sehr regionale Anpassungsmaßnahmen wie erhöhte Kooperationsbereitschaft derartig negative Einflüsse von außen ausgleichen können. Sowohl die Anzahl der Haushalte wie auch das Gemeindebudget liegen im LOC-Szenario nach dreißig Jahren über dem Wert des REF-Szenarios.



**Abbildung 14: Trendentwicklung (a) der Anzahl der Haushalte in Reichraming und (b) des Gemeindebudgets in den Szenarien REF, TREND, GLOB, LOC, LQ+ und LQ**

Abbildung 15 zeigt den prozentuellen Anteil der Bevölkerung, der für seine Erwerbsarbeit aus der Gemeinde Reichraming auspendeln muss. Eine sinkende Kurve ist als positive Entwicklung in Bezug auf Arbeitsplätze in der Gemeinde und damit in Bezug auf die Lebensqualität für Haushalte zu werten. Erwartungsgemäß weist auch bei der Pendlerbilanz das TREND-Szenario die positivste Entwicklung auf Grund eines wachsenden Arbeitsplatzangebotes durch Betriebsneugründungen auf Gemeindegebiet auf. Einen ebenso positiven Trend ergibt das LOC-Szenario allerdings mit einer weitaus flacher verlaufenden Kurve. Offensichtlich schaffen regionale Anpassungsstrategien eine Verbesserung des Arbeitsplatzangebotes durch regionale Vermarktungs- und Holzverarbeitungsinitiativen. Alle anderen Szenarien pendeln sich nach 30 Jahren bei einem Pendlerverhältnis von ca. 75% ein und zeigen damit einen nur geringen Anstieg der Pendlerquote im Vergleich zum Initialwert.

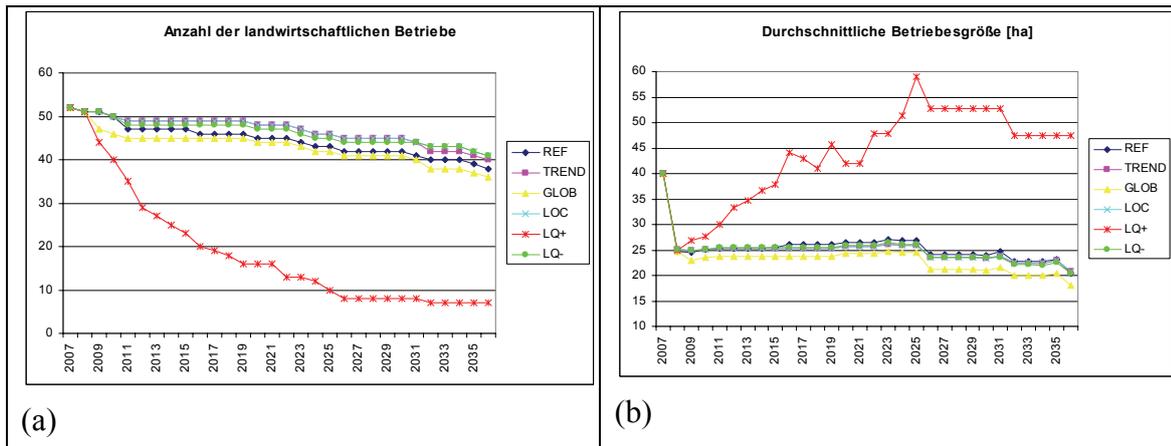


**Abbildung 15: Trendentwicklung des Anteils der Pendler an der gesamten Wohnbevölkerung der Gemeinde Reichraming in den Szenarien REF, TREND, GLOB, LOC, LQ+ und LQ**

Der Anteil der Pendler als Parameter dafür, wie sich die ökonomische Struktur in der Gemeinde entwickelt, zeigt wie sehr positive ökonomische Entwicklungen von überregionalen Rahmenbedingungen abhängen. Wenn der Absatz und die Bedingungen für Produkte aus den Bereichen Bioenergie und Holzverarbeitung steigen, ergibt das für die Gemeinde Standortvorteile, die eine Verbesserung der Arbeitsmarktsituation erlauben, wie sie alleine durch Eigeninitiative nur schwer erreichbar ist. Dennoch zeigen die Ergebnisse des LOC-Szenarios, dass durchaus lokal/regional angesiedelte Initiativen und Kooperationsaktivitäten eine positive Entwicklung ermöglichen – und das bei sich schlechter entwickelnden Rahmenbedingungen.

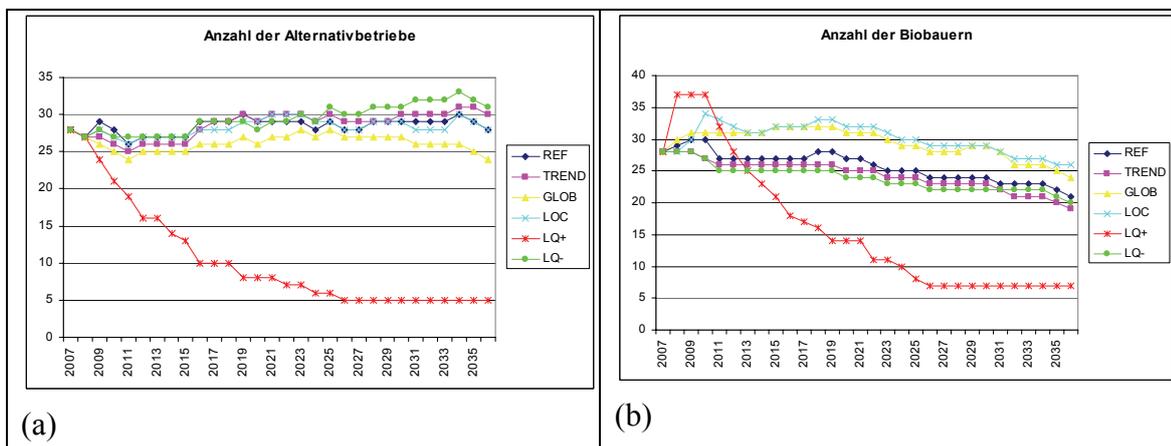
Die folgenden Grafiken beziehen sich auf die Produktionsstruktur sowie soziale und ökonomische Situation der landwirtschaftlichen Betriebe der Gemeinde. Sie zeigen, wie sehr der landwirtschaftliche Bereich durch Veränderungen interner Zeit- und Einkommenspräferenzen beeinflusst wird. Das Szenario LQ+ geht von der Annahme aus, dass die zukünftigen Generationen weitaus höhere Ansprüche an Einkommen und Freizeit haben und ihre Entscheidungen über ihren Verbleib in der Landwirtschaft bzw. landwirtschaftliche Praktiken sich dementsprechend von jenen der jetzigen Generationen unterscheiden, was wiederum einen deutlichen Einfluss auf die Landschaft der Gemeinde hat.

In Abbildung 16 ist zu erkennen, dass das Verlangen nach einem erhöhten Einkommen und mehr Freizeit die Anzahl der landwirtschaftlichen Betriebe massiv reduziert. Gleichzeitig steigt die durchschnittliche Fläche jener wenigen Betriebe, die überleben, deutlich auf das nahezu Doppelte an. Das bedeutet, bei einer erhöhten Erwartung an gute Lebensqualität wird der landwirtschaftliche Sektor auf ein paar wenige, aber dafür große Betriebe reduziert, die das gewünschte Einkommensniveau ermöglichen. Hingegen bewirkt das LQ<sup>-</sup>-Szenario mit der Annahme, dass sich Landwirte mit einem geringeren Einkommen und einer höheren Arbeitsbelastung zufrieden geben, kaum eine Verbesserung des Landwirtschaftssektors. Sowohl die Anzahl der Betriebe als auch die durchschnittliche Größe nehmen ähnliche Werte an wie in den anderen Szenarien.



**Abbildung 16: Trendentwicklung (a) der Anzahl der landwirtschaftlichen Betriebe und (b) der durchschnittlichen Größe (in ha) der Betriebe in der Gemeinde Reichraming in den Szenarien REF, TREND, GLOB, LOC, LQ+ und LQ-**

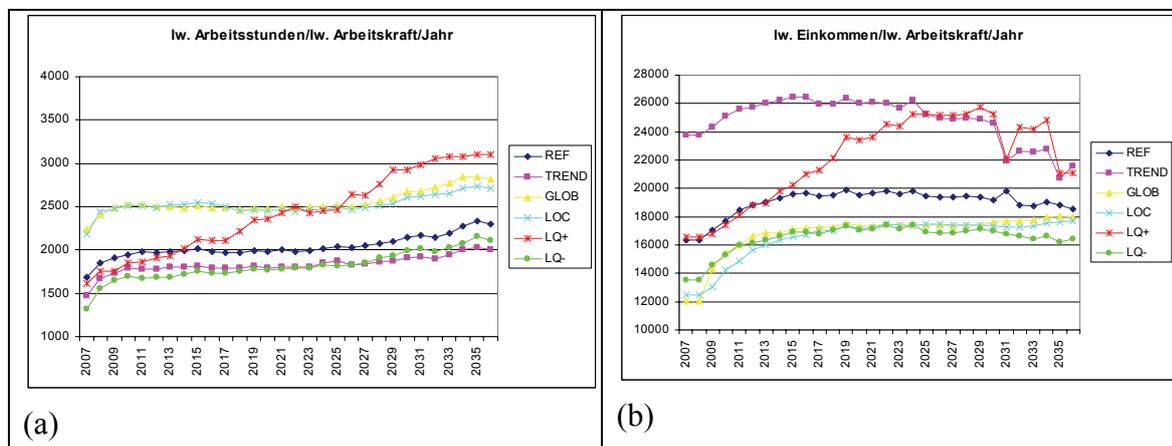
Erwartungsgemäß sinken die absoluten Zahlen der alternativen Betriebe und der Biobauern im LQ+ Szenario. Relativ gesehen steigt jedoch ihr Anteil beträchtlich an, womit nahezu alle verbleibenden großen Betrieben Biobauern oder Alternativbetriebe mit Wildtier-, Pferde- oder Schafhaltung (Abbildung 17) sind. Offensichtlich scheinen bei gesteigerter Erwartung nach einem Mindesteinkommen mit sinkender Arbeitsbelastung, Nischenstrategien die erfolgreichsten sind. Wobei auch im LQ- Szenario ein Großteil der Betriebe auf diese beiden Produktionsvarianten setzt.



**Abbildung 17: Trendentwicklung (a) der Anzahl der alternativen landwirtschaftlichen Betriebe (mit Pferd- Schaf- und Wildtierhaltung) und (b) der Biobauern in der Gemeinde Reichraming in den Szenarien REF, TREND, GLOB, LOC, LQ+ und LQ-**

Tendenziell steigt die landwirtschaftliche Arbeitszeit pro landwirtschaftliche Arbeitskraft in allen Szenarien, wobei der Wert über den gesamten Zeitverlauf in den Szenarien LOC, GLOB und LQ+ über den Werten der anderen drei Szenarien liegt. Speziell im LQ+ Szenario steigt

die Arbeitszeit jener wenigen Arbeitskräfte, die in der Landwirtschaft verbleiben, deutlich an. Diese Entwicklung spricht dafür, dass hier die Betriebe vorwiegend im Vollerwerb stehen und sämtliche Arbeitskräfte am Hof zur Gänze mit landwirtschaftlichen Tätigkeiten beschäftigt sind. In den ersten 20 Jahren steigt auch das landwirtschaftliche Einkommen pro landwirtschaftlicher Arbeitskraft in ähnlichem Ausmaß, allerdings pendelt sich dieses in den letzten 10 Jahren des Modelllaufes wieder ein und sinkt gegen Ende etwas. Im LQ<sup>-</sup>-Szenario hingegen führt der verminderte Wunsch nach Einkommen dazu, dass die Arbeitsbelastung in der Landwirtschaft ebenfalls rapide sinkt. Die vor allem ökonomisch günstigen Bedingungen des TREND-Szenarios werden in der Relation Arbeitsbelastung zu Einkommen besonders deutlich. Während die landwirtschaftliche Arbeitszeit pro landwirtschaftliche Arbeitskraft hier am geringsten ist, fällt das Einkommen pro landwirtschaftliche Arbeitskraft deutlich am höchsten aus.



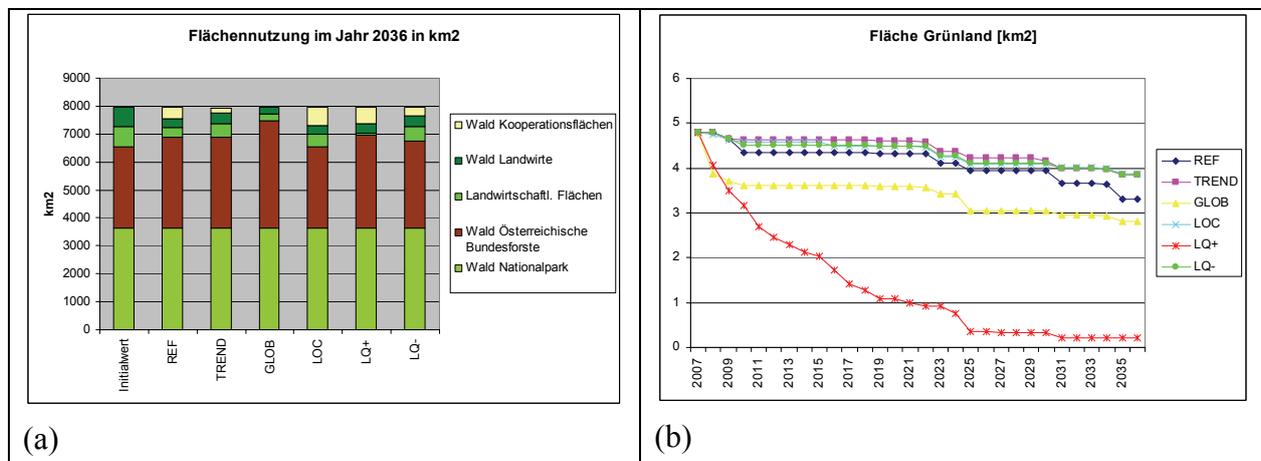
**Abbildung 18: Trendentwicklung (a) der landwirtschaftlichen Arbeitsstunden pro landwirtschaftlicher Arbeitskraft pro Jahr und (b) des landwirtschaftlichen Einkommens pro landwirtschaftlicher Arbeitskraft pro Jahr in den Szenarien REF, TREND, GLOB, LOC, LQ+ und LQ<sup>-</sup> in Stunden**

### **Landnutzung**

Landnutzungsveränderungen, die so wie die sozio-ökonomischen Trends Ergebnis der Modellläufe des Agenten-basierten Modells sind, stellen die wichtigste Schnittstelle zum Stoffflussmodell dar, da die Intensität und Flächenausdehnung der Landnutzung wesentliche Inputs für die Kohlenstoff- und Stickstoffberechnung darstellen.

Abbildung 19 stellt die Verteilung der Flächenkategorien Wald und Grünland nach 30 Jahren Modelllauf und den Entwicklungsverlauf der Grünlandfläche dar. Beim Wald wird unterschieden, ob diese Fläche von den Österreichischen Bundesforsten, dem Nationalpark Kalkalpen oder von Privatwaldbesitzern (meist landwirtschaftliche Betriebe) genutzt wird. Die Kategorie Wald-Kooperationsflächen beschreibt jene Flächen von privaten Waldbesitzern, die durch Kooperationen oder Waldgemeinschaften bewirtschaftet wird, aber in Privatbesitz

bleibt. Bei der Nationalparkfläche wurde angenommen, dass sich diese in den kommenden 30 Jahren nicht verändert. Auch wenn die externen Rahmenbedingungen gleich bleiben (REF) oder sich gar verbessern (TREND), geht das Grünland in jedem Fall um etwa 1/5 zurück und das aufgegebene Grünland wird nahezu flächendeckend von den ÖBF gepachtet. Wenn die Rahmenbedingungen für die Landwirtschaft deutlich schlechter werden, wie z.B. im GLOB-Szenario, und die finanzielle Situation der Landwirte prekär wird, halbiert sich die Größe des Grünlands. Der deutlichste Rückgang des Grünlands findet im LQ+ Szenario statt. So wie die Anzahl der landwirtschaftlichen Betriebe reduziert sich auch die landwirtschaftlich genutzte Fläche massiv, weil gesteigerte Erwartungen an Einkommen und Freizeit ohne Strukturwandel im Landwirtschaftssektor kaum erfüllbar sind. Allerdings wird in diesem Szenario nicht die gesamte Fläche von den ÖBF weiterbewirtschaftet, sondern ein guter Teil der ehemaligen landwirtschaftlichen Flächen wird von privaten Waldbesitzern weiterbewirtschaftet. Die größte Grünlandfläche kann in den Szenarien LOC und LQ<sup>-</sup> in der Landwirtschaft gehalten werden. Um möglichst viel Grünland unter Bewirtschaftung zu halten, bedarf es entweder sehr guter regionaler Strukturen und Kooperationen, damit die Arbeit in der Landwirtschaft trotz schwieriger Rahmenbedingungen attraktiv bleibt oder wie es im LQ<sup>-</sup>-Szenario angenommen wird, die Landwirte und Landwirtinnen reduzieren ihre Erwartungen an Einkommen und Freizeit dramatisch.



**Abbildung 19: (a) Verteilung der Flächenkategorien Wald und Grünland im Jahr 2036 und (b) Entwicklung der Grünlandfläche in den Szenarien REF, TREND, GLOB, LOC, LQ+ und LQ-**

Die Landnutzungsergebnisse weisen in jedem Szenario einen deutlichen Rückgang der Grünlandfläche auf, wobei das Ausmaß dieses Rückgangs teilweise sehr unterschiedlich ausfällt. Jedenfalls bestätigen diese Ergebnisse (ebenso wie jene aus dem sozio-ökonomischen Bereich), dass Kooperationen und regionale Initiativen maßgeblich die Lebensqualität der lokalen Bevölkerung verbessern und negative Entwicklungen in den Rahmenbedingungen relativ gut abfangen können. Sowohl für die Landwirte der Region als auch für die restlichen lokalen

Akteure beeinflusst die Arbeitsmarktsituation wesentlich ihre Entscheidungen über Verbleib oder Abwanderung aus der Region.

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse des agenten-basierten Modells, dass die Szenarien TREND und GLOB die beiden Extremsituation durch besonders günstige (TREND) oder besonders ungünstige (GLOB) externe Einflussgrößen für Rechraming repräsentieren. Ungefähr in der Mitte der beiden Szenarien bewegt sich das REF-Szenario. Die Klassifizierung in günstige bzw. ungünstige externe Entwicklungen bezieht sich natürlich nur auf deren Auswirkungen auf die lokale Ebene von Rechraming. Die aggregierten ökonomischen Entwicklungen des GLOB-Szenarios könnten auf höheren Skalenebenen durchaus positiv sein. Auf der anderen Seite ist nicht zu erwarten, dass eine Erhöhung der Energiepreise – der Hauptgrund für die positive Entwicklung des TREND-Szenarios in Rechraming, einer Gemeinde mit hohem Bioenergiepotential – günstig auf die Entwicklung der Ökonomie auf aggregierter Ebene wirkt.

Ein Vergleich des LOC- und GLOB-Szenarios zeigt, wie unter ungünstigen Rahmenbedingungen lokale und regionale politische Maßnahmen und Instrumente, die die Bedingungen für lokale Vermarktung, Kooperationen, biologischen Landbau und ähnliche Aktivitäten stützt, die schwierige Situation der Gemeinde verbessern können. Im Bereich der Entwicklung des Landwirtschaftssektors ist festzustellen, dass in jedem Fall, die Anzahl der landwirtschaftlichen Betriebe sowie der landwirtschaftlichen Grünlandfläche zurückgeht. Allerdings ist das Ausmaß des Rückganges in den kommenden 30 Jahren in den verschiedenen Szenarien sehr unterschiedlich. Die für die Landwirtschaft günstigen Bedingungen des TREND-Szenarios auf Grund hoher Agrarpreise erlauben es relativ vielen landwirtschaftlichen Betrieben, ökonomisch günstig zu wirtschaften, bei gleichzeitig überschaubarer Arbeitsbelastung, was sich sehr positiv auf die Lebensqualität der LandwirtInnen auswirkt. Hingegen bewirken im LOC-Szenario, in dem die Rahmenbedingungen eine völlig anders sind, die lokalen Gegenstrategien, dass ebenso wie im TREND-Szenario relativ viele Betriebe in der Landwirtschaft bleiben, allerdings unter weitaus ungünstigeren Arbeitsbedingungen in Bezug auf Einkommen und Arbeitsbelastung. Die extreme Entwicklung des LQ+ Szenarios zeigt, dass die internen Präferenzen und Erwartungen an Lebensqualität der LandwirtInnen am deutlichsten darüber entscheiden, wie es mit der Landwirtschaft in ländlichen montan geprägten Randgebieten weitergeht.

Nun stellt sich die Frage, wie sich die in den unterschiedlichen Szenarien veränderten Strukturen der Gemeinde Rechraming auf ökologische Stoffflüsse wie Kohlenstoff und Stickstoff auswirken.

## *Stoffflüsse*

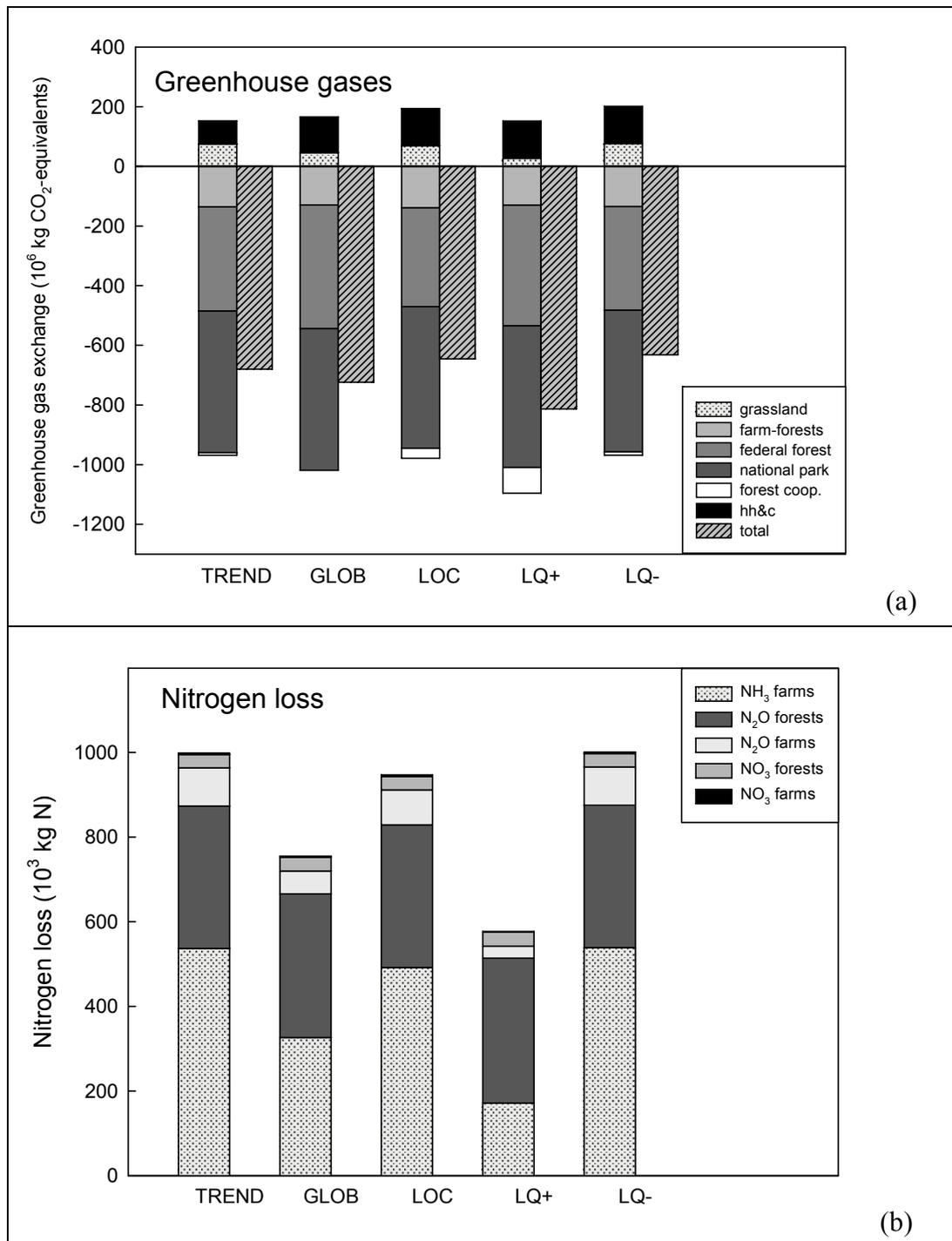
### **Treibhausgasemissionen**

Die Treibhausgasbilanz entwickelte sich in den fünf Szenarien unterschiedlich, hauptsächlich aufgrund der unterschiedlichen Landnutzung und den Unterschieden in der Intensität der Landwirtschaft, aber auch aufgrund der unterschiedlich guten Bedingungen für Bioenergie.

Das Stoffflussmodell berücksichtigt natürliche und anthropogen verursachte Emissionen von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O) in Land- und Forstwirtschaft, sowie von Haushalten und Betrieben, wobei die unterschiedlichen Treibhausgase gemäß ihrer Treibhauswirkung unterschiedlich stark gewichtet werden (Umrechnung in CO<sub>2</sub>-Äquivalente laut IPCC, siehe Kapitel Methode/Stoffflussmodell/Treibhausgasemissionen). Den emittierten Treibhausgasen wird immer jenes CO<sub>2</sub>, welches von Wald- und Grünlandflächen bei der Photosynthese assimiliert wird, gegenübergestellt. Dadurch kann es zu einer „negativen“ Treibhausgasbilanz kommen, wenn die Menge CO<sub>2</sub>, die auf der Gemeindefläche assimiliert wurde, die Summe aller Treibhausgas-Emissionen (in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten) übersteigt (entspricht einer netto CO<sub>2</sub>-Aufnahme). Das war, aufgrund des großen Waldanteils in Reichraming, in allen Szenarien der Fall.

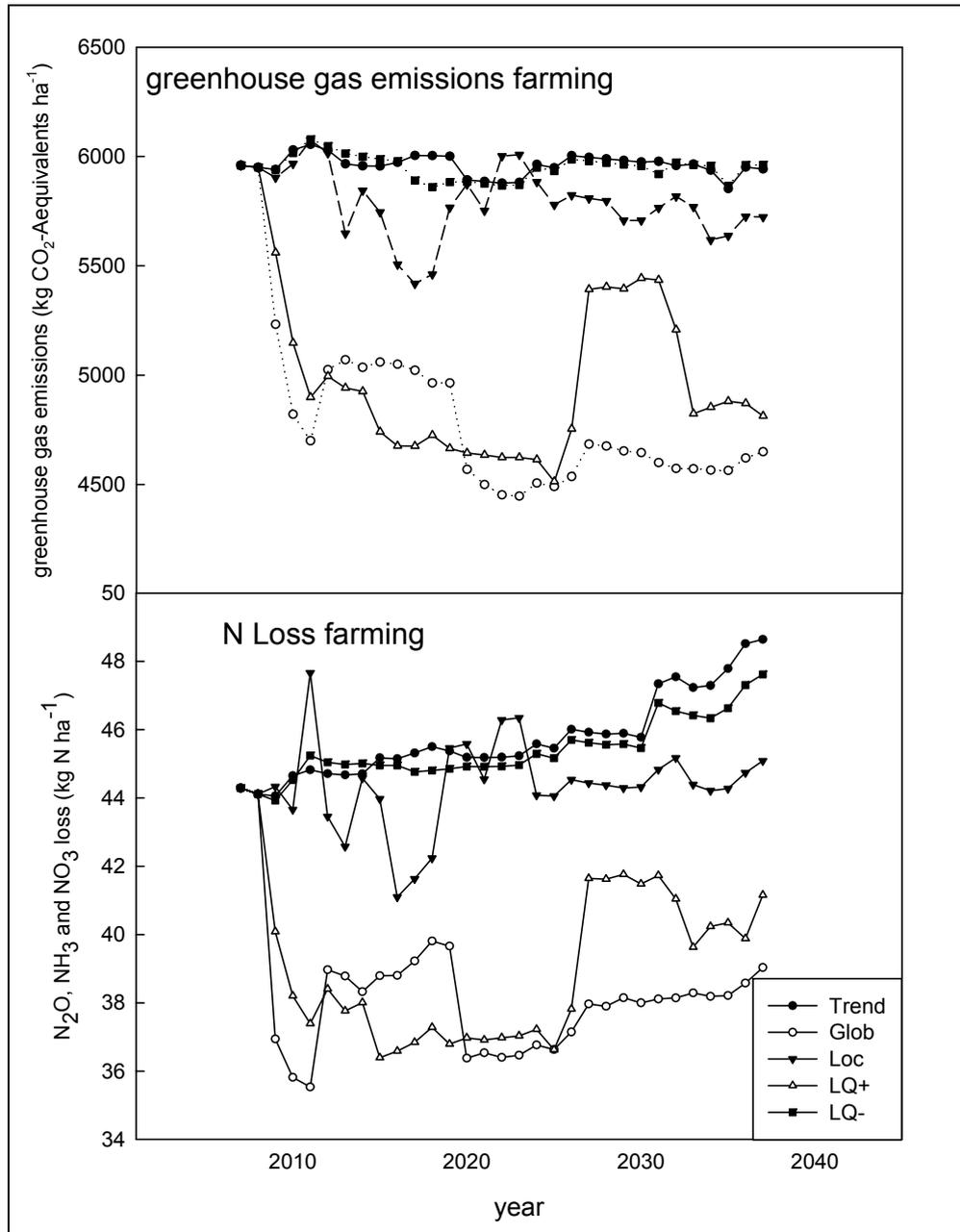
Abbildung 20a zeigt die über den Zeitraum 2008-2038 aufsummierten Treibhausgasemissionen (bzw. CO<sub>2</sub>-Aufnahme) getrennt nach verschiedenen Emissionsverursachern (Grünlandbewirtschaftung, Privatwald, ÖBF, Nationalpark, Kooperationswaldflächen, Haushalte und Betriebe), wie sie vom Modell für die fünf verschiedenen Szenarien prognostiziert werden. Laut diesem Ergebnis kommt es für die Bewirtschafter von Waldflächen, also Privatwälder, ÖBF und Nationalpark, immer zu negativen Netto-Treibhausgas-Flüssen über den betrachteten Zeitraum. Trotz der bei Waldbewirtschaftung durch Maschineneinsatz und Holztransport auftretenden CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O Emissionen, und der durch anthropogen verursachten N Eintrag heutzutage weltweit stark erhöhten N<sub>2</sub>O Emissionen aus Waldböden (Kesik et al, 2005) übersteigt die CO<sub>2</sub>-Akkumulation durch Waldzuwachs in dem betrachteten Zeitraum immer noch alle Treibhausgasverluste durch Ernte (welche als CO<sub>2</sub>-Verlust an die Atmosphäre in den darauf folgenden Jahren durch Holzverbrauch berechnet werden) und aller sonstigen mit dem Wald und Waldbau verbundenen Prozesse. Dieses Ergebnis hängt natürlich stark vom Durchrechnungszeitraum ab, und würde möglicherweise anders ausfallen, würde man über einen Zeitraum von z.B. 100 Jahren anstelle von 30 Jahren rechnen. Einen starken (und bleibenden) Beitrag zu den negativen Treibhausgaswerten liefert jedenfalls der Nationalpark, da hier keine Abholzung mehr stattfindet und der Wald daher stärker zur CO<sub>2</sub> Assimilation beiträgt (entspricht 474 000 t CO<sub>2</sub> in 30 Jahren, Abbildung 20). Die C Aufnahmefähigkeit der Wälder liegt in unseren Modellberechnungen im Durchschnitt bei ca 1 kg C/ha/Jahr und da-

mit in vergleichbarem Rahmen mit in anderen Studien gemessenen/berechneten Werten (Schulze et al., 1999, Luysaert et al 2008).



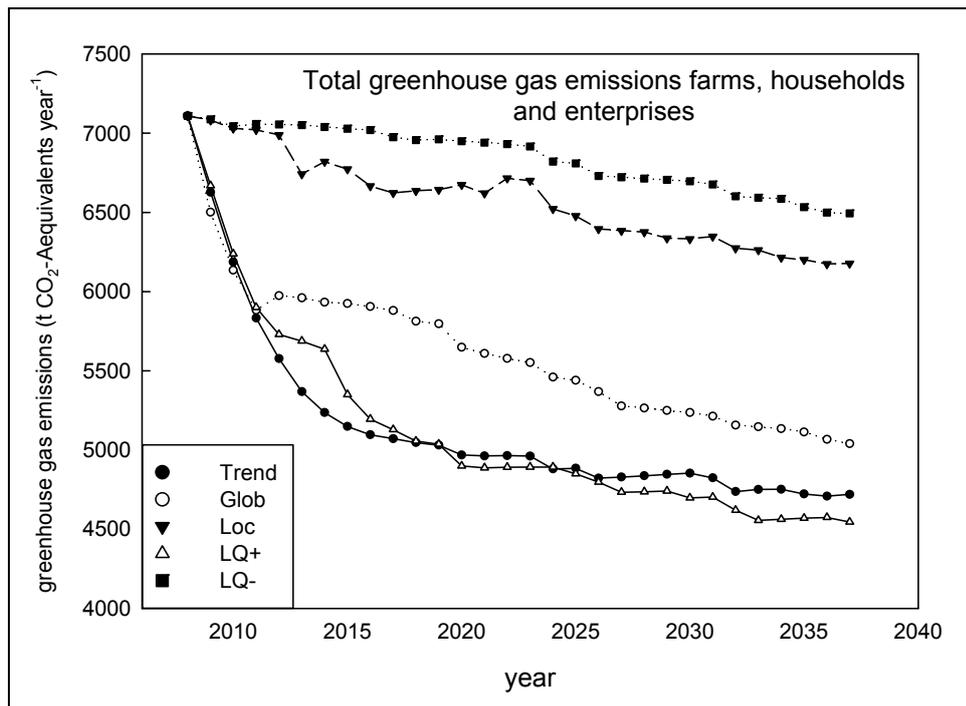
**Abbildung 20:** (a) Treibhausgasbilanz (alle naturräumlich und antropogen verursachten  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  und  $\text{CH}_4$ -Flüsse dargestellt als  $\text{CO}_2$ -Äquivalente; Negative Werte bedeuten Netto- $\text{CO}_2$ -Aufnahme, Positive Werte bedeuten Netto Treibhausgasemissionen) und (b) N-Verluste ( $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$  und  $\text{NO}_3$ ) für Wälder und Grünlandflächen über 30 Jahre Modellsimulation (2008-2037) aufsummiert für die Szenarien TREND, GLOB, LOC, LQ+ und LQ-.

Der großen CO<sub>2</sub>-Aufnahmekapazität der Waldflächen in Rechraming stehen relativ geringe Treibhausgasemissionen durch Grünlandbewirtschaftung und Verbrennung fossiler Brennstoffe durch Haushalte und Betriebe (Verkehr ist im Modell nicht berücksichtigt) gegenüber. Die Treibhausgasemissionen der Grünlandflächen sind hauptsächlich von der Intensität der Landnutzung abhängig. Hier fallen vor allem die Treibhausgase CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O (verursacht durch Nutztierhaltung und Wirtschaftsdüngermanagement) ins Gewicht. Daher sind die Treibhausgasemissionen aus Grünlandbewirtschaftung sehr stark von jenen Szenarioannahmen, die zu Unterschieden in Ausbreitung und Intensität der Landwirtschaft führen, beeinflusst (Abbildung 20a und 21a). Vergleichsweise hohe Treibhausgasemissionen zeigen die Szenarios TREND, LOC und LQ<sup>-</sup>, während diese in den Szenarien LQ<sup>+</sup> und GLOB deutlich reduziert sind (Abbildung 20). Das lässt sich natürlich auf die verminderte Grünlandfläche in diesen beiden Szenarien zurückführen. Treibhausgasemissionen pro Fläche Grünland (ha) sind ebenfalls in diesen beiden Szenarien am geringsten, wegen dem hohen Anteil an extensiv und dem völligen Fehlen von intensiv bewirtschafteter Fläche (Abbildung 21).



**Abbildung 21:** Treibhausgasemissionen und N-Verluste pro Hektar Grünland verursacht durch Grünlandbewirtschaftung (inkludiert alle Verluste und Emissionen im Bereich des landwirtschaftlichen Betriebes) in den Jahren 2008-2037 in den Szenarien TREND, GLOB, LOC, LQ+ und LQ-.

Einen zusätzlichen Einfluss auf die Treibhausgasentwicklung hat der Einsatz von Bioenergie. Im TREND-Szenario sind die Bedingungen für Bioenergie optimal, wodurch Haushalte im Modell vermehrt von fossilen Brennstoffen auf Bioenergie umsteigen. Dadurch sind Treibhausgasemissionen von Haushalten und Betrieben in diesem Szenario am geringsten, obwohl die Anzahl der Haushalte hier am größten ist (Abb 21a und 22). Somit können die in diesem Szenario erhöhten Treibhausgasemissionen, verursacht durch eine gut gehende Landwirtschaft, mit Einsatz von mehr Bioenergie in privaten Haushalten ausgeglichen werden (Abbildung 22).



**Abbildung 22:** Treibhausgasemissionen verursacht durch landwirtschaftliche Betriebe, Haushalte und sonstige Betrieben im Zeitraum 2008-2037 für die Szenarien TREND, GLOB, LOC, LQ+ und LQ-.

### N-Kreislauf

Da die Landwirtschaft generell stark in den N-Kreislauf eingreift und weltweit zu den Hauptverursachern von N<sub>2</sub>O und NH<sub>3</sub> Emissionen, sowie von Nitratbelastung im Grundwasser zählen (Weiske et al, 2005, Soussana et al, 2007, Leick 2004, Gac et al, 2007), hängen auch die Ergebnisse zum N-Kreislauf im Stoffflussmodell sehr eng mit Ausbreitung und Intensität der Landwirtschaft in den jeweiligen Szenarien zusammen.

Generell zeigen wieder die Szenarien GLOB und LQ+ aufgrund der geringen Ausdehnung der Grünlandwirtschaft die geringsten N-Verluste an die Umwelt, sowohl NH<sub>3</sub> als auch N<sub>2</sub>O und NO<sub>3</sub> Verluste sind deutlich reduziert (Abbildung 20(b)). Darüber hinaus beträgt der N-Verlust in diesen beiden Szenarien auch pro Fläche Grünland gerechnet nur etwa die Hälfte des N-Verlustes der Szenarien TREND, LOC und LQ<sup>-</sup> (Abbildung 21). Das lässt sich – wie schon bei den Treibhausgasen - wieder durch die in diesen Szenarien hauptsächlich extensive Landwirtschaft und der damit verbundenen geringen Tierbesatzdichte und einem niedrigen Protein-Kraftfuttermitteleinsatz erklären.

**Tabelle 24: Gesamter, in Boden und Vegetation gespeicherter Kohlenstoff in Grünlandflächen, bewirtschafteten Waldflächen (ÖBF, Privatwald, Kooperationswald) und Nationalparkflächen in Reichraming im Modelljahr 2008 und 2037 für die Szenarien TREND, GLOB, LOC, LQ+ und LQ- (106 kg Carbon).**

C-Stocks (10 <sup>6</sup> kg C)	<i>Grassland</i>	<i>Managed forests</i>	<i>National park</i>	<i>total</i>	<i>Difference to 2008</i>
<b>2008</b>					
All Scenarios	28.8	881.94	1206.46	2117.24	0.00
<b>2037</b>					
TREND	20.14	1031.64	1359.54	2411.32	+294.08
GLOB	13.38	1041.79	1359.54	2414.71	+297.08
LOC	18.86	1035.16	1359.54	2413.57	+296.33
LQ+	1.90	1055.24	1359.54	2416.68	+299.44
LQ-	20.64	1031.78	1359.54	2411.96	+294.73

### C-Stocks

Die Gesamt C „Stocks“ (= die Menge Kohlenstoff, die in Boden und Vegetation der jeweiligen Landfläche gespeichert ist) steigen – unter Betrachtung der gesamten Gemeindefläche - in allen Szenarien an (Tabelle 24). Dieser Anstieg ist einerseits auf die fortwährende C-Akkumulation in den Waldflächen zurückzuführen und andererseits natürlich auch auf die in allen Szenarien mehr oder weniger stark ausgeprägte Verwaldung. Die C-Speicher der Grünlandflächen nehmen hingegen in allen Szenarien ab (Abbildung 23). Laut Modellberechnungen sind derzeit ca 900.000 Tonnen C in bewirtschafteten Flächen gespeichert (entspricht 235 t C/ha) sowie ca 1.200.000 Tonnen C in der Nationalparkfläche auf dem Gemeindegebiet (entspricht 329 t C/ha). Zum Vergleich: Alle Grünlandflächen in Reichraming beinhalten derzeit ca 28.000 Tonnen C (entsprechend 63 t C/ha). Die Zahlen für Waldflächen liegen im oberen Bereich der anderswo für temperate Wälder berechneten C-Stocks (Luyssaert, 2007).

Aufgrund der unterschiedlichen Entwicklung von Wald- und Grünlandflächen in den verschiedenen Szenarien fällt der Anstieg der gespeicherten Kohlenstoffmenge in den nächsten 30 Jahren unterschiedlich hoch aus. Szenarien, die –durch einen Rückgang der Grünlandbewirtschaftung- zu einem höheren Anteil an Verwaldung führen (GLOB, LQ+), zeigen die höchsten Zugewinne im C-Speicher. Allerdings beträgt der Unterschied zu den Szenarien mit wenig Verwaldung (z.B. TREND) nur etwa 4000 t C (für die gesamte Fläche in 30 Jahren), da auch diese eine beachtliche C-Akkumulation in den schon vorhandenen Waldflächen zeigen (LQ+: +299.000 t C in 30 Jahren, Trend: +295.000 t C in 30 Jahren, siehe Tabelle 24). Die geringfügige Verschiebung von Grünland- zu Waldfläche fällt somit, was die Kohlenstoffspeicher betrifft, in Anbetracht der gesamten Waldfläche nicht so stark ins Gewicht.

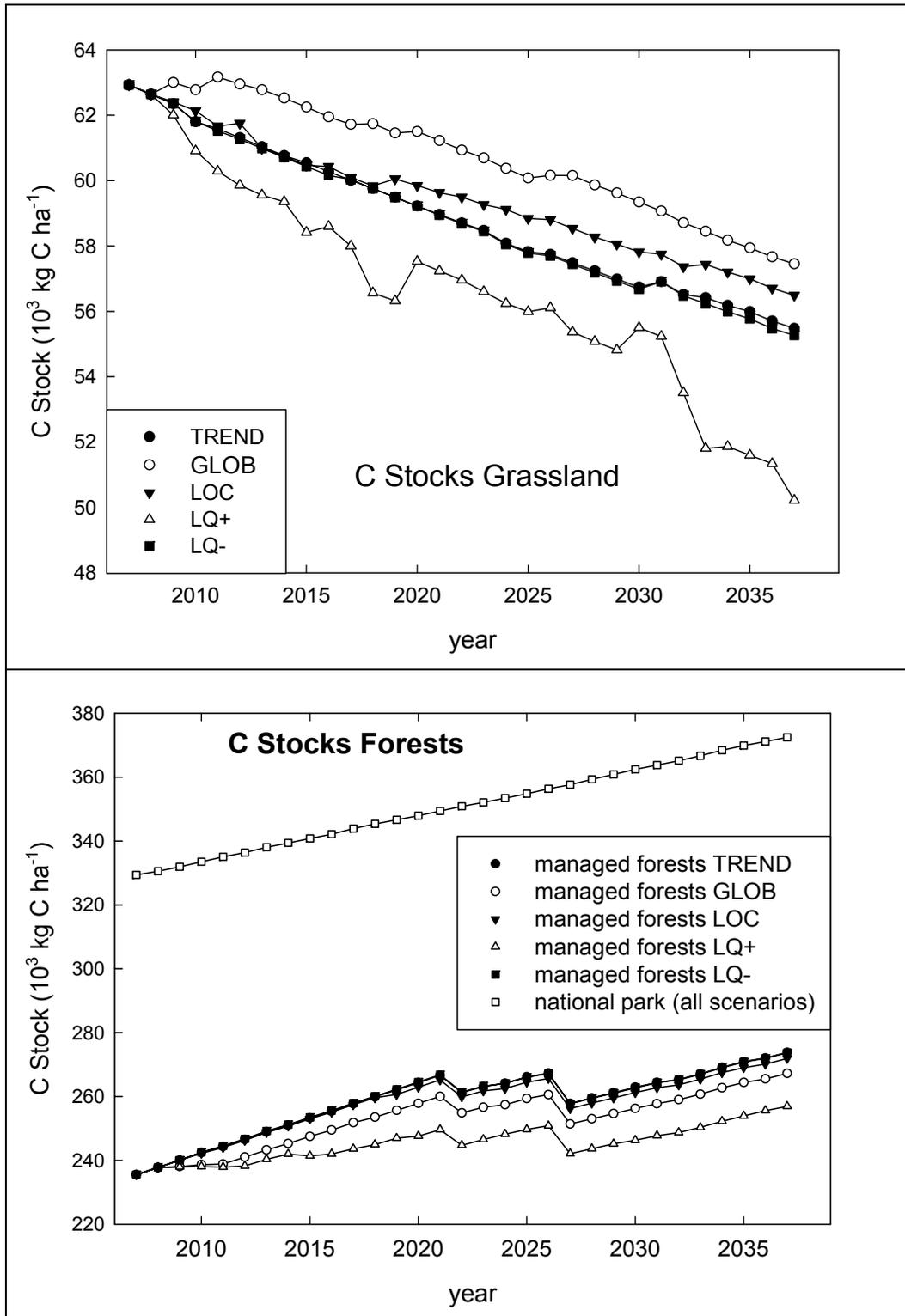


Abbildung 23: Durchschnittlich gespeicherter C pro ha Grünlandfläche bzw. Waldfläche (bewirtschaftet: ÖBF, Privatwald und Kooperationswald; unbewirtschaftet: Nationalpark) in den Szenarien TREND, GLOB, LOC, LQ+ und LQ-.

Die Ergebnisse für C- und N-Flüsse sind vor allem dominiert durch die in den Szenarien (1) unterschiedliche Verteilung von Wald und Grünland, (2) durch die unterschiedliche Intensität

der Grünlandbewirtschaftung, sowie (3) durch den unterschiedlich starken Einsatz von Bioenergie in privaten Haushalten.

Eine stärkere Verwaldung, wie sie v.a. in den Szenarien LQ+ und GLOB auftritt, führt sowohl zu einer stärkeren Assimilation von C und somit zu weiterer Verringerung der Treibhausgasemissionen (Abbildung 20a), sowie auch durch den damit zusammenhängenden Rückgang der Grünlandbewirtschaftung zu einer fast um die Hälfte reduzierten Ausgasung von N als N<sub>2</sub>O und NH<sub>3</sub>, sowie zu einer um die Hälfte verringerten Grundwasserbelastung mit NO<sub>3</sub>.

Allerdings sollten diese „Verbesserungen“ der C- und N-Flüsse durch den Rückgang der Landwirtschaft auch in einem größeren Zusammenhang betrachtet werden. Dass die Nichtbewirtschaftung von Land und der damit verbundene Rückgang an Eingriffen in den C- und N-Kreislauf kleinräumig zu einer „Verbesserung“ der Klima- und Umweltbilanz führt, ist offensichtlich. Dennoch sind die „Verbesserungen“, die im Raum Rechrating erzielt werden können, minimal, angesichts der auch schon in den Szenarien mit guter landwirtschaftlicher Entwicklung (TREND, LOC, LQ<sup>-</sup>) sehr ausgeglichenen Klimabilanz (netto CO<sub>2</sub>-Aufnahme!) und auch dort moderaten N-Verlusten. Einem Rückgang der kleinstrukturierten Low-Input-Grünlandbewirtschaftung von Rechrating stünde auf der anderen Seite z.B. im „GLOB“-Szenario theoretisch die Zunahme einer globalisierten, intensiven Landwirtschaft anderswo auf der Welt gegenüber, mit vermutlich wesentlich mehr negativem Einfluss auf Klimabilanz und N-Kreislauf. Dieses Gesamtbild ist mit unserem Stoffflussmodell natürlich nicht berechenbar.

## Schlussfolgerungen

Die Szenarienberechnungen zeigen, dass speziell die Entwicklungen im Bereich Bioenergie maßgeblichen Einfluss auf die Entwicklungsmöglichkeiten der Gemeinde Rechrating haben. Der erhöhte Einsatz von Bioenergie könnte ländlichen Regionen in Industrieländern mit einem hohen Anteil an Forstflächen eine realistische Möglichkeit zu nachhaltiger Entwicklung sowohl sozio-ökonomisch wie auch ökologisch bieten. Verbesserte Bedingungen für Bioenergie in Kombination mit höheren Agrarproduktpreisen ermöglichen ländlichen Randregionen ein verbessertes regionales Arbeitsplatzangebot, einer Reduktion des Pendleranteils, einen Anstieg der Haushalte, die in den Regionen bleiben sowie eine Erhaltung der Landwirtschaft in diesen Gebieten, was eine Erhaltung der offenen Kulturlandschaft bewirkt. Ökologisch betrachtet bewirkt der Umstieg auf Bioenergie von Haushalten und Betrieben in diesen Regionen eine Reduktion der GHG-Emissionen. Natürlich stellt Rechrating mit mehr als 80% Forstfläche eine Ausnahmegemeinde dar und der positive Einfluss von guten Bedingungen für Bioenergie ist sicherlich nicht für alle ländlichen Regionen in diesem Ausmaß übertragbar. Es gibt viele Gründe, warum Bioenergie nur als eine technologische Entwicklung von

vielen gesehen werden kann, die in Summe eine nachhaltige Entwicklung in Industrieländern ermöglichen. Ein Vergleich der Szenarien TREND und GLOB zeigt deutlich, dass der Verzicht von regionaler Entwicklungspolitik in Kombination mit der Förderung von Bioenergie sowohl in einem Anstieg von GHG-Emissionen wie auch einer Verschlechterung der sozio-ökonomischen Bedingungen der Gemeinde resultieren.

Von einer methodischen Perspektive aus ist festzuhalten, dass unsere Erfahrungen im Projekt zeigen, dass die Entwicklung integrierter Modelle wie SERD den interdisziplinären Diskurs unterstützen können. Die Integration des erarbeiteten Wissens aus unterschiedlichen Disziplinen in ein kohärentes Modell stärkt die Möglichkeit, Interaktionen der sozialen, ökologischen und ökonomischen Dimensionen von regionaler nachhaltiger Entwicklung besser zu analysieren. Modelle verlangen eine Formalisierung von Wissen. Wenn nun ein interdisziplinäres Team von Wissenschaftern gemeinsam an der Modellkonstruktion und der Entwicklung von Algorithmen arbeitet, erhöht diese Übung in einem überaus hohen Ausmaß die interdisziplinäre Kooperation und bewirkt ein sehr klares Verständnis für einander. Unserer Erfahrung nach stellt Modellierung somit eine sehr geeignete Forschungsmethode dar, welche die Analyse von Gesellschaft-Natur Interaktionen auf besondere Weise unterstützt und konkretisiert.

Weiters erwies sich der Einsatz des Modells als durchaus geeignetes Tool, um mit regionalen Stakeholdern gemeinsam einen transdisziplinären Forschungsprozess zu gestalten. Speziell die Entwicklung des agenten-basierten Modells im Rahmen eines zweijährigen Partizipationsprozesses erwies sich als besonders erfolgreich. Die Tatsache, dass das Verständnis unterschiedlicher Stakholdergruppen (Gemeindemitglieder, Frauen der Gemeinde Reichraming und LandwirtInnen) in unterschiedlichen Konstellationen immer wieder in Form von regionalen Workshops an der Entwicklung dieses einen Modells arbeiteten, unterstützte ein sehr klares Verständnis für das „eigene“ System. Das Modell als gemeinsames Produkt der PraxispartnerInnen und der WissenschaftlerInnen ermöglichte eine hohe Akzeptanz des Modells bei den lokalen Akteuren und förderte über die gesamte Projektlaufzeit, dass der gemeinsame Fokus des Projektes nicht verloren ging.

## Literaturliste

- Arbeitsstättenzählung 2001, Hauptergebnisse Oberösterreich, Statistik Austria, Bundesanstalt Statistik Österreich, 1110 Wien Guglgasse 13.
- Berger, T., 2004. Agentenbasierte Modellierung von Landnutzungsdynamiken und Politikoptionen; Agent-based Modeling of Land Use Dynamics and Policy Options. *Agrarwirtschaft*, 2: 77-87.
- Berger, T. and Ringler, C., 2002. Trade-offs, efficiency gains and technical change - Modelling water management and land use within a multiple-agent framework. *Quarterly Journal of International Agriculture*, 41: 119-144.
- Bertsch, E., Fechner, J., Zitz, E., Schweitzer, F., Lummerstorfer, K., Haas, J., Drössler, E., Rohrer, H., Winkler-Rieder, W., Haberl, H., Bockhorni, M., Thaler, R., Frosch, W. and Riedel, R., 1995. Leitfaden Klimaschutz auf kommunaler Ebene. Bundesministerium für Umwelt, Wien.
- BMLFUW, 2006. Grüner Bericht 2006. BMLFUW - Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- Buchgraber, K., A. Deutsch und G. Gindl, 1994: Zeitgemäße Grünlandbewirtschaftung. Leopold Stocker Verlag, Graz.
- Burschel P, E. Kürsten und B.C.Larson 1993, „Die Rolle von Wald und Forstwirtschaft im Kohlenstoffhaushalt“, Forstliche Forschungsberichte München
- Chapin, F.S., G.M. Woodwell, J.T. Randerson, E.B. Rastetter, G.M. Lovett, D.D. Baldocchi, D.A. Clark, M.E. Harmon, D.S. Schimel, et al 2006, „Reconciling Carbon-cycle Concepts, Terminology and Methods, *Ecosystems* 9:1041-1050
- Coleman, J.S., 1990. *Foundations of Social Theory*. Belknap, Harvard.
- Ferber, J., 1999. *Multi-Agent Systems*. Addison Wesley Longman, Harlow.
- Gac A, Beline F, Bioteau K, Maguet K (2007). A french inventory of gaseous emissions (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>) from livestock manure management using a mass-flow approach. *Livestock Science* 112: 252-260
- Gaube Veronika 2002, Gesellschaftliche Stickstoffflüsse des österreichischen Landwirtschaftssektors 1950-1995, Social Ecology Working Paper 68
- GEMIS, Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme, Version 4.0, Computerprogramm zur vergleichenden Analyse von Umwelteffekten der Energiebereitstellung und Nutzung, entwickelt vom Öko-Institut Freiburg und der Gesamthochschule Kassel, <http://www.oeko.de/service/gemis/>
- Guggenberger T. 2006 „Nährstoffbilanzierung in den österreichischen Grünlandbetrieben“, Bericht über das 12. Alpenländische Expertenforum zum Thema Neuerungen und

Herausforderungen in der Düngung von Grünland und Feldfutter, Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, p. 43-50

Guggenberger Thomas 2007, „Expertise Rechrarming“, Datenanalyse eines aus 35 landwirtschaftlichen Betrieben mit Tierhaltung bestehenden Datasets der Gemeinde Rechrarming auf Basis der Daten des INVEKOS 2003. Erstellt im Rahmen des proVISION-Projekts: „LTSEER Eisenwurzten: Integrierte Modellierung gesellschaftlicher und ökosystemarer Stoff- und Materialflüsse“

Haberl, H., F.Krausmann, K.H. Erb, N.Schulz, H. Adensam 2001. Biomasseinsatz und Landnutzung, Österreich 1995-2020. Research report of the Institute for Interdisciplinary Studies of Austrian Universities (IFF), Dept. Of Social Ecology, commissioned by the Austrian Federal Ministry of Education, Research and Culture, Wien.

Hofer, O., Fahrner, W., and Linder, S. INVEKOS-Datenpool des BMLFUW. 1-70. 2004. Bundesanstalt für Agrarwirtschaft. 20-7-2005.

IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomin, S.,D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.

Kaliski, Oliver 2003, „Externe Kosten der Landwirtschaft. Vergleichende Analyse zwischen konventionellen und biologischen Anbausystem anhand von Treibhausgasemissionen“. Dissertation an der Universität für Bodenkultur Wien

Kesik M, Ambus P, Baritz R, Brügemann N, Butterbach-Bahl K, Damm M, Duyzer J, Horvath L, Kiese R, Kitzler B, Leip A, Li C, Pihlatie M, Pilegaard K, Seufert G, Simpson D, Skiba U, Smiatek G, Vesala T, Zechmeister-Boltenstern S (2005) Inventories of N<sub>2</sub>O and NO emissions from European forest soils. *Biogeosciences*, 2, 353-375. [www.biogeosciences.net/bg/2/353](http://www.biogeosciences.net/bg/2/353)

Leick Barbara (2004) Emission von Ammoniak (NH<sub>3</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O) von landwirtschaftlich genutzten Böden in Abhängigkeit von produktionstechnischen Maßnahmen, PhD thesis University of Hohenheim, Faculty of Agricultural Sciences, 70593 Stuttgart. <http://opus.ub.uni-hohenheim.de/volltexte/2004/49/>

Leitfaden Klimaschutz auf kommunaler Ebene, Österreichisches Ökologie-Institut, Seidengasse 13, A-1070 Wien, 1996???

Lewin,K., 1951. Field Theory in Social Science: Selected theoretical papers. Harper & Row, New York.

Luyssaert S, Schulze ED, Börner A, Knohl A, Hessenmöller D, Law BE, Ciais P, Grace J (2008) Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature* 455(11) p 213-215

Luyssaert, S., Inglima, I., Jung, M. & other authors (2007). CO<sub>2</sub> balance of boreal, temperate, and tropical forests derived from a global database. *Global Change Biology* 13, 2509-2537.

- Millenium Ecosystem Assessment, 2005. Ecosystems and Human Well-Being, Volume 2: Scenarios. Island Press, Washington, DC.
- Mitterböck Nora 2006, Emissionen aus der Tierhaltung – Stand und zukünftige Entwicklung. Bericht über das 12. Alpenländische Expertenforum, p. 39-42 Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein
- Nakicenovic,N. and Swart,R., 2000. Special Report on Emission Scenarios. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Cambridge University Press, Cambridge.
- Parker,D.C., Berger,T. and Manson,S.M., 2002. Agent-Based Models of Land-Use and Land-Cover Change. LUCI International Project Office, LUCI Report Series No. 6, Louvain-la-Neuve.
- Petritsch, R. Hasenauer, H., Pietsch. S.A., 2007. Incorporating forest growth response to thinning within biome-BGC. *Forest Ecology and Management* 242: 324-336.
- Pelikan,J.M. and Halbmayr,E., 2000. Gesundheitswissenschaftliche Grundlagen zur Strategie des Gesundheitsfördernden Krankenhauses. In: J.M.Pelikan (Editors), Das gesundheitsfördernde Krankenhaus. Konzepte und Beispiele zur Entwicklung einer lernenden Organisation. Juventus, Weinheim, pp. 13-36.
- Pietsch S.A., Hasenauer H., Thornton P.E., 2005. BGC-model parameters for tree species growing in central European forests. *Forest Ecology and Management* 211: 264-295.
- Pietsch SA, Hasenauer H, 2002. Using mechanistic modeling within forest ecosystem restoration. *Forest Ecology and Management* 159: 111-131.
- Pietsch SA, Hasenauer H, 2005. Using ergodic theory to assess the performance of ecosystem models. *Tree Physiology* 25: 825-837.
- Pietsch SA, Hasenauer H, Kučera J, Čermák J, 2003. Modeling the effects of hydrological changes on the carbon and nitrogen balance of oak in floodplains. *Tree Physiology* 23: 735-746.
- Pietsch, SA, Hasenauer, H, 2006. Evaluating the self-initialization procedure for large-scale ecosystem models. *Global Change Biol.* 12: 1658-1669.
- Pietsch Stefan 2007, „BGC-Modellierung ausgewählter Ökosysteme im Gebiet Reichraming“, Modellierung von Kohlenstoff- und Stickstoffflüssen von Wald und Grünlandflächen im Rahmen des proVISION Projekts „LTSER Eisenwurzen: Integrierte Modellierung gesellschaftlicher und ökosystemarer Stoff- und Materialflüsse“. Institut für Waldbau, Department Wald- und Bodenwissenschaften, Universität für Bodenkultur
- Pöllinger Alfred 2006, „Welche praxisgerechten Minderungsmöglichkeiten an klima- und umweltrelevanten Emissionen aus der Tierhaltung gibt es?“, Präsentation im Rahmen von „Forschung und Lehre am Puls der Zeit – Moderne Strategien unter einem Dach“, 23. Februar 2006, Universität für Bodenkultur, <http://www.gumpenstein.at/publikationen/boku2006/poellinger.pdf>
- Statistik Austria, 2001. Agrarstrukturerhebung 1999. Gesamtergebnisse. Verlag Österreich GmbH, Wien.

Statistik Austria, 2003. Statistik der Landwirtschaft 2001. Wien.

Statistik Austria, 2004. Statistisches Jahrbuch Österreichs 2004. Statistik Austria, Wien.

Schulze ED, Lloyd J, Kelliher FM, Wirth C, Rebmann C, Luhker B, Mund M, Knohl A, Milyukova IM, Schulze W, Ziegler W, Varlagin AB, Sogachev AF, Valentini R, Dore S, Grigoriev S, Kolle O, Panfyorov MI, Tchebakova N, Vygodskaya NN. 1999. Productivity of forests in the Eurosiberian boreal region and their potential to act as a carbon sink - a synthesis. *Global Change Biology* 5: 703-723

Soussana JF, Allard V, Pilegaard K, Ambus P, Amman C, Campbell C, Ceschia E, Clifton-Brown J, Czobel S, Domingues R, Flechard C, Fuhrer J, Hensen A., Horvath L, Jones M, Kasper G, Martin C, Nagy Z, Neftel A, Raschi A, Baronti S, Rees RM, Skiba U, Stefani P, Manca G, Sutton M, Tuba Z, Valentini R (2007). Full accounting of the greenhouse gas (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>) budget of nine European grassland sites. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 121: 121-134

Steinwider A. und T.Guggenberger, 2003, "Erhebungen zur Futteraufnahme und Nährstoffversorgung von Milchkühen sowie Nährstoffbilanzierung auf Grünlandbetrieben in Österreich", *Die Bodenkultur- Austrian Journal of Agricultural Research*, 54, p 49-65

Thornton PE 1998, Description of a numerical simulation model for predicting the dynamics of energy, water, carbon and nitrogen in a terrestrial ecosystem. Ph.D.-thesis. University of Montana, Missoula, 280 pp.

Tappeiner G., Koblmüller M., Staffler G., Walch K. 2002. Heimwert - Ökologisch-ökonomische Bewertung von Siedlungsformen Ein Projektbericht im Rahmen der Programline: Das Haus der Zukunft, Wien.

Thornton PE 1998, Description of a numerical simulation model for predicting the dynamics of energy, water, carbon and nitrogen in a terrestrial ecosystem. Ph.D.-thesis. University of Montana, Missoula, 280 pp.

Thornton PE, Law BE, Gholz HL et al. (2002) Modeling and measuring the effects of disturbance history and climate on carbon and water budgets in evergreen needleleaf forests. *Agricultural and Forest Meteorology* 113, 185-222.

UNEP, 2002. Global Environment Outlook 3. Past, present and future perspectives. United Nations Environment Programme (UNEP), Earthscan Publications, London.

Vennix, J.A.M., 1998. Group model building : facilitating team learning using system dynamics. Wiley, Chichester.

Weiske A, Vabitsch A, Olesen JE, Schelde K, Michel J, Friedrich R, Kaltschmitt M (2006) Mitigation of greenhouse gas emissions in European conventional and organic dairy farming. *Agriculture Ecosystems and Environment* 112: 221-232

Woodwell G.M., R.H. Whittaker 1968. Primary production in terrestrial communities. *American Zoologist* 8 (19-30).

## Anhang A - Beschreibung der Output-Tabellen

Folgende Tabellen werden während des Modelllaufs ausgegeben:

**sozoek\_gemeinde.csv** : Sozioökonomische Ausgabewerte

**sozoek\_landwirtschaft.csv**: sozioökonomische, landwirtschaftsbezogene **Ausgabewerte**

**Cbalance.csv** : Ökologische Ausgabewerte auf Gemeindeebene

**Cbalance\_landscape.csv**: Ökologische Ausgabewerte auf Landschaftsebene

**farms.csv** : Detaillierte ökologische Ausgabewerte für jeden einzelnen Hof, genaue Beschreibung siehe Kapitel „C Bilanz auf Hofebene“ (Methode/Stoffflussmodell).

**landpieces\_SchlagID.csv** : Tabelle für die Erstellung von GIS-Karten (Grünland)

**landpieces\_UABTID.csv** : Tabelle für die Erstellung von GIS-Karten (Wald)

Cbalance\_landscape.csv

Outputwerte auf Landschaftsebene (2007-2037) in den Kategorien

- Farms-grassland
- Farms-forest,
- FederalForest
- Nationalpark
- Kooperationswald

Year:

Simulationsjahr

Farms\_areaCult:

Summe der Grünlandflächen aller Bauernhöfe (m<sup>2</sup>)

Farms\_areaForest:

Summe der Waldflächen aller Bauernhöfe (m<sup>2</sup>)

FedForest\_area:

Waldfläche der Österreichischen Bundesforste, Forstbetrieb Steyrtal innerhalb des Gemeindegebietes (m<sup>2</sup>).

NationalPark\_area

Waldfläche der Österreichischen Bundesforeste, Forstbetrieb Nationalpark Kalkalpen innerhalb des Gemeindegebietes (m<sup>2</sup>)

Coop\_area

Gesamtfläche des Kooperationswaldes (m<sup>2</sup>)

Area\_total

Fläche gesamt (ohne versiegelte Fläche) m<sup>2</sup>

Farms\_CStock\_grassland

Kohlenstoff gespeichert in Boden und Vegetation aller Grünlandflächen (kg C)

Farms\_CStock\_forest

Kohlenstoff gespeichert in Boden und Vegetation aller Bauernwaldflächen (kg C)

FederalForest\_CStock

Kohlenstoff gespeichert in Boden und Vegetation aller ÖBF-Flächen (FB Steyrtal) (kg C)

Nationalpark\_CStock

Kohlenstoff gespeichert in Boden und Vegetation der Nationalparkfläche (kg C)

ForestCoop\_CStock

Kohlenstoff gespeichert in Boden und Vegetation aller Kooperationswaldflächen (kg C)

Farms\_NStock\_grassland

Stickstoff gespeichert in Boden und Vegetation aller Grünlandflächen (kg N)

Farms\_NStock\_forest

Stickstoff gespeichert in Boden und Vegetation aller Bauernwaldflächen (kg N)

FederalForest\_NStock

Stickstoff gespeichert in Boden und Vegetation aller ÖBF-Flächen (FB Steyrtal) (kg N)

Nationalpark\_Nstock

Stickstoff gespeichert in Boden und Vegetation der Nationalparkfläche (kg N)

ForestCoop\_NStock

Stickstoff gespeichert in Boden und Vegetation aller Kooperationswaldflächen (kg N)

Farms\_NECB\_grassland

Net Ecosystem Carbon Balance aller Grünlandflächen aller Bauernhöfe:

$$\text{NECB}[\text{year}] = \text{NPP}[\text{year}] - \text{respHet}[\text{year}] - \text{yieldC}[\text{year}];$$

(kg C)

Farms\_NECB\_forests

Net Ecosystem Carbon Balance aller Waldflächen aller Bauernhöfe:

$$\text{NECB}[\text{year}] = \text{NPP}[\text{year}] - \text{respHet}[\text{year}] - \text{yieldC}[\text{year}];$$

(kg C)

FederalForest\_NECB

Net Ecosystem Carbon Balance aller Waldflächen der ÖBF, Forstbetrieb Steyrtal(im Gemeindegebiet):

$$\text{NECB}[\text{year}] = \text{NPP}[\text{year}] - \text{respHet}[\text{year}] - \text{yieldC}[\text{year}];$$

(kg C)

Nationalpark\_NECB

Net Ecosystem Carbon Balance aller Waldflächen des Nationalparks Kalkalpen (im Gemeindegebiet):

$$\text{NECB}[\text{year}] = \text{NPP}[\text{year}] - \text{respHet}[\text{year}] - \text{yieldC}[\text{year}];$$

(kg C)

ForestCoop\_NECB

Net Ecosystem Carbon Balance aller Kooperationswaldflächen:  
 $NECB[\text{year}] = NPP[\text{year}] - \text{respHet}[\text{year}] - \text{yieldC}[\text{year}];$   
(kg C)

#### Farms\_NEP\_grassland

Net Ecosystem Productivity aller Grünlandflächen aller Bauernhöfe:  
 $NEP[\text{year}] = NPP[\text{year}] - \text{respHet}[\text{year}];$   
(kg C)

#### Farms\_NEP\_forests

Net Ecosystem Productivity aller Bauernwaldflächen:  
 $NEP[\text{year}] = NPP[\text{year}] - \text{respHet}[\text{year}];$   
(kg C)

#### FederalForest\_NEP

Net Ecosystem Productivity aller Waldflächen der ÖBF, Forstbetrieb Steyrtal(im Gemeindegebiet):  
 $NEP[\text{year}] = NPP[\text{year}] - \text{respHet}[\text{year}];$   
(kg C)

#### Nationalpark\_NEP

Net Ecosystem Productivity aller Waldflächen des Nationalparks Kalkalpen (im Gemeindegebiet):  
 $NEP[\text{year}] = NPP[\text{year}] - \text{respHet}[\text{year}];$   
(kg C)

#### ForestCoop\_NEP

Net Ecosystem Productivity aller Kooperationswaldflächen:  
 $NEP[\text{year}] = NPP[\text{year}] - \text{respHet}[\text{year}];$   
(kg C)

#### Farms\_NPP\_grassland

#### Farms\_NPP\_forests

#### FederalForest\_NPP

#### Nationalpark\_NPP

#### ForestCoop\_NPP

Net Primary Productivity von Grünland, Privatwald, ÖBF-, Nationalpark und Kooperationswaldflächen (kg C)

#### Farms\_rhet\_grassland

#### Farms\_rhet\_forests

#### FederalForest\_rhet

#### Nationalpark\_rhet

#### ForestCoop\_rhet

Heterotrophic respiration(Bodenatmung) von Grünland, Privatwald, ÖBF-, Nationalpark und Kooperationswaldflächen (kg C)

#### Farms\_N2O\_grassland

N<sub>2</sub>O Emissions Grünlandflächen (kg N<sub>2</sub>O).

$N_2O_{loss\_farm\_grassland} = N_{loss\_grassland\_gas} * 0.17 + N_{lossStorage} + N_{lossApplica-}$   
 $tion$

#### Farms\_N2O\_forests

N<sub>2</sub>O Emissions Bauernwaldflächen (kg N<sub>2</sub>O).

$N_2O_{loss\_farm\_forest} = N_{loss\_forest\_gas}$

#### FederalForest\_N2O

N<sub>2</sub>O Emissions ÖBF (kg N<sub>2</sub>O).

$N_2O_{loss\_farm\_forest} = N_{loss\_forest\_gas}$

#### Nationalpark\_N2O

N<sub>2</sub>O Emissions Nationalpark (kg N<sub>2</sub>O).

$N_2O_{loss\_farm\_forest} = N_{loss\_forest\_gas}$

#### ForestCoop\_N2O

N<sub>2</sub>O Emissions Kooperationswald (kg N<sub>2</sub>O).

$N_2O_{loss\_farm\_forest} = N_{loss\_forest\_gas}$

#### Farms\_NO3\_grassland

NO<sub>3</sub> Leaching Grünlandflächen (kg N)

#### Farms\_NO3\_forests

NO<sub>3</sub> leaching Bauernwaldflächen (kg N)

#### FederalForest\_NO3

NO<sub>3</sub> leaching ÖBF (kg N)

#### NationalPark\_NO3

NO<sub>3</sub> leaching Nationalpark (kg N)

#### ForestCoop\_NO3

NO<sub>3</sub> leaching Kooperationswald (kg N)

#### Farms\_NH<sub>3</sub>

NH<sub>3</sub> Emissionen Grünlandwirtschaft (kg N)

#### Cbalance.csv

C und N Ausgabewerte auf Betriebsebene (2007-2037) in den folgenden Kategorien:

- Farms (eventuell aufgeteilt in Farms-grassland und Farms-forests)
- FederalForest
- NationalPark
- Households
- Enterprises

Die Kategorie „Farms“ enthält jeweils die Summe der Werte der landwirtschaftlichen Betriebe, die in dem jeweiligen Jahr der Simulation existiert haben.

Year  
Farms\_areaCult  
Farms\_areaForest  
FedForest\_area  
NationalPark\_area  
Coop\_area  
Area\_total

-> siehe Cbalance\_landscape.csv

Farms\_Cbalance

$$\text{NECB\_farm}[\text{year}] = \text{NECB\_forest}[\text{year}] + \text{NECB\_grassland}[\text{year}] - \text{EnergyC\_farm}[\text{year}] + \text{yieldC\_forest}[\text{year}] - \text{ClossHolzProduktTurnover}[\text{year}];$$
  
(kg C)

FederalForest\_Cbalance

$$\text{NECB\_forestEnterprise}[\text{year}] = \text{NECB\_forest}[\text{year}] - \text{EnergyC\_forestEnterprise}[\text{year}] + \text{yieldC\_forest}[\text{year}] - \text{ClossHolzProduktTurnover}[\text{year}];$$
 (kg C)  
(EnergyC\_forestEnterprise enthält Energieverbrauch für forstwirtschaftliche Bearbeitung und Holztransport nach Ernte)  
Kommentar: Bei NECB\_forestEnterprise den YieldC wieder dazugezählt, weil der ja noch gebundenen C enthält, der erst langsam über ClossHolzProduktTurnover freigegeben wird (Bei NECB\_forest ist der YieldC abgezogen, weil dieser C aus dem System Wald entfernt wird)

NationalPark\_Cbalance

Wie FederalForest\_Cbalance, aber ohne Forstwirtschaft und transport-energiekosten.

ForestCoop\_CBalance

Wie FederalForest\_Cbalance

Households\_Cbalance

Kg C aus CO<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub> emissionen bei Heizung und Energieverbrauch.

Enterprises\_Cbalance

Kg C aus CO<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub> emissionen bei Heizung und Energieverbrauch.

Total\_CBalance

Summe C Bilanz aus Höfen, ÖBF, Nationalpark, Kooperationswald, Haushalten und Betrieben. Kg C

## Farms\_GHG

Treibhausgasemissionen aus Grünlandbewirtschaftung (ohne Bauernwald) in kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten.

Setzen sich zusammen aus:

$$\begin{aligned} \text{greenhousegas\_farm\_grassland [year]} = & -\text{NECB\_farm\_grassland[year]}/12*48 \\ & +\text{N2Oloss\_farm[year]}*298 \\ & +\text{CH4loss\_farm[year]}*25-\text{CH4loss\_farm[year]}/16*48 \\ & +\text{CO2ConcFeed}+\text{CH4ConcFeed}*25-\text{cConcFeed}/12*48; \end{aligned}$$

$$\text{NECB\_farm\_grassland} = \text{NECB\_grassland} + \text{EnergyC}$$

(EnergyC: Energiekosten(C) für landwirtschaftliche Bearbeitung und Kraftfutterimport)

N2Oloss\_farm: N2O\_grassland(\*0.17)+N2O aus Storage und Application (\*0.05) + N2O aus Kraftfutterimport

CH4loss\_farm: CH4 aus animal digestion (einmal wieder als Kohlenstoff dazugezählt, da der Kohlenstoff aus dem Tiermagen schon mit der Ernte in NECB abgezogen wurde).

CO2ConcFeed+CH4ConcFeed: Emissionen aus Kraftfutterimport, cConcFeed wird wieder abgezogen, da es schon bei NECB\_farm\_grassland enthalten ist.

## Farms\_forests\_GHG

Treibhausgasemissionen aus Bauernwaldflächen in kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten.

Setzt sich zusammen aus:

$$\begin{aligned} \text{Greenhousegas\_farm\_forest [year]} = & -(\text{NECB\_forest[year]}+\text{yieldC\_forest[year]}- \\ & \text{CLossHolzProduktTurnover[year]}) \\ & +\text{N2Oloss\_farm\_forest[year]}*298 \end{aligned}$$

## FederalForest\_GHG

Treibhausgasemissionen aus ÖBF-Fläche in kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten.

Setzt sich zusammen aus:

$$\begin{aligned} \text{greenhousegas\_forestEnterprise [year]} = & \text{N2Oloss\_forestEnterprise[year]}*298 \\ & +\text{CH4loss\_forestEnterprise[year]}*25 \\ & +\text{CO2loss\_forestEnterprise[year]} \\ & -(\text{NECB\_forest[year]}+\text{yieldC\_forest[year]}- \\ & \text{CLossHolzProduktTurnover[year]})/12*48 \end{aligned}$$

N2O/CH4/CO2loss kommen von forstwirtschaftlicher Bearbeitung/Holztransport.

## NationalPark\_GHG

Wie FederalForest

## ForestCoop\_GHG

Wie FederalForest

## Households\_GHG

kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente

Enterprises\_GHG  
kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente

Total\_GHGbalance  
kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente

Farms\_CH4  
kg CH<sub>4</sub>

FederalForest\_CH4  
kg CH<sub>4</sub>

NationalPark\_CH4  
kg CH<sub>4</sub>

ForestCoop\_CH4  
kg CH<sub>4</sub>

Households\_CH4  
kg CH<sub>4</sub>

Enterprises\_CH4  
kg CH<sub>4</sub>

Total\_CH4  
kg CH<sub>4</sub>

Farms\_N2O

kg N<sub>2</sub>O  
$$\text{N2Oloss\_farm [year]} = ((\text{nLossStorage} + \text{nLossApplication}) * 0.05) / 14 * 44 + \text{N2OconcFeed} + (\text{NLoss\_grassland\_gas [year]} * 0.017) / 14 * 44$$

Hat im Unterschied zu den N<sub>2</sub>O Emissionen auf "landscape"-Ebene noch N<sub>2</sub>O Emissionen aus Kraftfutterimport dabei.

Farms\_forests\_N2O

(kg N<sub>2</sub>O)  
$$\text{N2Oloss\_farm\_forest [year]} = \text{NLoss\_forest\_gas [year]} / 14 * 44;$$
  
Da bei den Höfen keine "forstwirtschaftlichen" Emissionen berechnet werden, sind die N<sub>2</sub>O Emissionen für die Bauernwaldflächen dieselben wie auf "landscape" level.

FederalForest\_N2O

kg N<sub>2</sub>O  
$$\text{N2Oloss\_forestEnterprise [year]} = \text{N2OlossFW} + (\text{tkm} * \text{transportEmissionen [2]}) / 1000 + \text{NLoss\_forest\_gas [year]} / 14 * 44;$$

“natürliche” N2O emissionen (auf landscape-level) plus Emissionen aus Forstwirtschaft und Transport.

NationalPark\_N2O

Wie FederalForest\_N2O

ForestCoop\_N2O

Wie FederalForest\_N2O

Households\_N2O

kg N<sub>2</sub>O

Enterprises\_N2O

kg N<sub>2</sub>O

Total\_N2O

kg N<sub>2</sub>O

Farms\_N\_Loss

(kg N)

$N_{Loss\_farm}[year] = N_{2Oloss\_farm}[year]/44*14-$

$N_{2OConcFeed}/44*14+N_{Loss\_farm\_leach}[year]+N_{Loss\_farm\_NH3}[year]/17*14;$

N, der *im Raum des Hofes* entweder gasförmig oder als Auswaschung verlorenght (daher ohne N2O Emissionen aus Kraftfutterimport).

FederalForest\_NLoss

(kg N)

$N_{Loss\_forestEnterprise}[year] =$

$N_{2Oloss\_forestEnterprise}[year]/44*14+N_{Loss\_forest\_leach}[year];$

(N2O Emissionen plus Nitrat-Auswaschung)

Wobei  $N_{2Oloss\_forestEnterprise}[year] = N_{2OlossFW} +$

$(tkm*transportEmissionen[2])/1000 + N_{Loss\_forest\_gas}[year]/14*44;$

(natürliche N2O Emissionen plus Emissionen aus Forstwirtschaft und Transport).

NationalPark\_N\_Loss

Wie FederalForest\_NLoss

ForestCoop\_N\_Loss

Wie FederalForest\_NLoss

Farms\_NH3

(kg N)

Band 1

**Umweltbelastungen in Österreich als Folge menschlichen Handelns. Forschungsbericht gem. m. dem Österreichischen Ökologie-Institut.** Fischer-Kowalski, M., Hg. (1987)

Band 2\*

**Environmental Policy as an Interplay of Professionals and Movements - the Case of Austria. Paper to the ISA Conference on Environmental Constraints and Opportunities in the Social Organisation of Space, Udine 1989.** Fischer-Kowalski, M. (1989)

Band 3\*

**Umwelt & Öffentlichkeit. Dokumentation der gleichnamigen Tagung, veranstaltet vom IFF und dem Österreichischen Ökologie-Institut in Wien, (1990)**

Band 4\*

**Umweltpolitik auf Gemeindeebene. Politikbezogene Weiterbildung für Umweltgemeinderäte.** Lackner, C. (1990)

Band 5\*

**Verursacher von Umweltbelastungen. Grundsätzliche Überlegungen zu einem mit der VGR verknüpfbaren Ermitterteninformationssystem.** Fischer-Kowalski, M., Kissner, M., Payer, H., Steurer A. (1990)

Band 6\*

**Umweltbildung in Österreich, Teil I: Volkshochschulen.** Fischer-Kowalski, M., Fröhlich, U.; Harauer, R., Vymazal R. (1990)

Band 7

**Amtliche Umweltberichterstattung in Österreich.** Fischer-Kowalski, M., Lackner, C., Steurer, A. (1990)

Band 8\*

**Verursacherbezogene Umweltinformationen. Bausteine für ein Satellitensystem zur österr. VGR. Dokumentation des gleichnamigen Workshop, veranstaltet vom IFF und dem Österreichischen Ökologie-Institut, Wien (1991)**

Band 9\*

**A Model for the Linkage between Economy and Environment. Paper to the Special IARIW Conference on Environmental Accounting, Baden 1991.** Dell'Mour, R., Fleissner, P., Hofkirchner, W., Steurer A. (1991)

Band 10

**Verursacherbezogene Umweltindikatoren - Kurzfassung. Forschungsbericht gem. mit dem Österreichischen Ökologie-Institut.** Fischer-Kowalski, M., Haberl, H., Payer, H.; Steurer, A., Zangerl-Weisz, H. (1991)

Band 11

**Gezielte Eingriffe in Lebensprozesse. Vorschlag für verursacherbezogene Umweltindikatoren.** Forschungsbericht gem. m. dem Österreichischen Ökologie-Institut. Haberl, H. (1991)

Band 12

**Gentechnik als gezielter Eingriff in Lebensprozesse. Vorüberlegungen für verursacherbezogene Umweltindikatoren. Forschungsbericht gem. m. dem Österr. Ökologie-Institut.** Wenzl, P.; Zangerl-Weisz, H. (1991)

Band 13

**Transportintensität und Emissionen. Beschreibung österr. Wirtschaftssektoren mittels Input-Output-Modellierung. Forschungsbericht gem. m. dem Österr. Ökologie-Institut.** Dell'Mour, R.; Fleissner, P.; Hofkirchner, W.; Steurer, A. (1991)

Band 14

**Indikatoren für die Materialintensität der österreichischen Wirtschaft. Forschungsbericht gem. m. dem Österreichischen Ökologie-Institut.** Payer, H. unter Mitarbeit von K. Turetschek (1991)

Band 15

**Die Emissionen der österreichischen Wirtschaft. Systematik und Ermittelbarkeit. Forschungsbericht gem. m. dem Österr. Ökologie-Institut.** Payer, H.; Zangerl-Weisz, H. unter Mitarbeit von R.Fellinger (1991)

Band 16

**Umwelt als Thema der allgemeinen und politischen Erwachsenenbildung in Österreich.** Fischer-Kowalski M., Fröhlich, U.; Harauer, R.; Vymazal, R. (1991)

Band 17

**Causer related environmental indicators - A contribution to the environmental satellite-system of the Austrian SNA. Paper for the Special IARIW Conference on Environmental Accounting, Baden 1991.** Fischer-Kowalski, M., Haberl, H., Payer, H., Steurer, A. (1991)

Band 18

**Emissions and Purposive Interventions into Life Processes - Indicators for the Austrian Environmental Accounting System. Paper to the ÖGBPT Workshop on Ecologic Bioprocessing, Graz 1991.** Fischer-Kowalski M., Haberl, H., Wenzl, P., Zangerl-Weisz, H. (1991)

Band 19

**Defensivkosten zugunsten des Waldes in Österreich. Forschungsbericht gem. m. dem Österreichischen Institut für Wirtschaftsforschung.** Fischer-Kowalski et al. (1991)

Band 20\*

**Basisdaten für ein Input/Output-Modell zur Kopplung ökonomischer Daten mit Emissionsdaten für den Bereich des Straßenverkehrs.** Steurer, A. (1991)

Band 22

**A Paradise for Paradigms - Outlining an Information System on Physical Exchanges between the Economy and Nature.** Fischer-Kowalski, M., Haberl, H., Payer, H. (1992)

Band 23

**Purposive Interventions into Life-Processes - An Attempt to Describe the Structural Dimensions of the Man-Animal-Relationship. Paper to the Internat. Conference on "Science and the Human-Animal-Relationship", Amsterdam 1992.** Fischer-Kowalski, M., Haberl, H. (1992)

Band 24

**Purposive Interventions into Life Processes: A Neglected "Environmental" Dimension of the Society-Nature Relationship. Paper to the 1. Europ. Conference of Sociology, Vienna 1992.** Fischer-Kowalski, M., Haberl, H. (1992)

Mit \* gekennzeichnete Bände sind leider nicht mehr erhältlich.



Band 25

**Informationsgrundlagen struktureller Ökologisierung. Beitrag zur Tagung "Strategien der Kreislaufwirtschaft: Ganzheitl. Umweltschutz/Integrated Environmental Protection", Graz 1992.** Steurer, A., Fischer-Kowalski, M. (1992)

Band 26

**Stoffstrombilanz Österreich 1988.** Steurer, A. (1992)

Band 28\*

**Naturschutzaufwendungen in Österreich.** Gutachten für den WWF Österreich. Payer, H. (1992)

Band 29\*

**Indikatoren der Nachhaltigkeit für die Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung - angewandt auf die Region.** Payer, H. (1992). In: KudlMudl SonderNr. 1992: Tagungsbericht über das Dorfsymposium "Zukunft der Region - Region der Zukunft?"

Band 31\*

**Leerzeichen. Neuere Texte zur Anthropologie.** Macho, T. (1993)

Band 32

**Metabolism and Colonisation. Modes of Production and the Physical Exchange between Societies and Nature.** Fischer-Kowalski, M., Haberl, H. (1993)

Band 33

**Theoretische Überlegungen zur ökologischen Bedeutung der menschlichen Aneignung von Nettoprimärproduktion.** Haberl, H. (1993)

Band 34

**Stoffstrombilanz Österreich 1970-1990 - Inputseite.** Steurer, A. (1994)

Band 35

**Der Gesamtenergieinput des Sozio-ökonomischen Systems in Österreich 1960-1991. Zur Erweiterung des Begriffes "Energieverbrauch".** Haberl, H. (1994)

Band 36

**Ökologie und Sozialpolitik.** Fischer-Kowalski, M. (1994)

Band 37\*

**Stoffströme der Chemieproduktion 1970-1990.** Payer, H., unter Mitarbeit von Zangerl-Weisz, H. und Fellinger, R. (1994)

Band 38\*

**Wasser und Wirtschaftswachstum. Untersuchung von Abhängigkeiten und Entkoppelungen, Wasserbilanz Österreich 1991.** Hüttler, W., Payer, H. unter Mitarbeit von H. Schandl (1994)

Band 39

**Politische Jahreszeiten. 12 Beiträge zur politischen Wende 1989 in Ostmitteleuropa.** Macho, T. (1994)

Band 40

**On the Cultural Evolution of Social Metabolism with Nature. Sustainability Problems Quantified.** Fischer-Kowalski, M., Haberl, H. (1994)

Band 41

**Weiterbildungslehrgänge für das Berufsfeld ökologischer Beratung. Erhebung u. Einschätzung der Angebote in Österreich sowie von ausgewählten Beispielen in Deutschland, der Schweiz, Frankreich, England und europaweiten Lehrgängen.** Rauch, F. (1994)

Band 42

**Soziale Anforderungen an eine nachhaltige Entwicklung.** Fischer-Kowalski, M., Madlener, R., Payer, H., Pfeffer, T., Schandl, H. (1995)

Band 43

**Menschliche Eingriffe in den natürlichen Energiefluß von Ökosystemen. Sozio-ökonomische Aneignung von Nettoprimärproduktion in den Bezirken Österreichs.** Haberl, H. (1995)

Band 44

**Materialfluß Österreich 1990.** Hüttler, W., Payer, H.; Schandl, H. (1996)

Band 45

**National Material Flow Analysis for Austria 1992. Society's Metabolism and Sustainable Development.** Hüttler, W., Payer, H., Schandl, H. (1997)

Band 46

**Society's Metabolism. On the Development of Concepts and Methodology of Material Flow Analysis. A Review of the Literature.** Fischer-Kowalski, M. (1997)

Band 47

**Materialbilanz Chemie-Methodik sektoraler Materialbilanzen.** Schandl, H., Weisz, H. Wien (1997)

Band 48

**Physical Flows and Moral Positions. An Essay in Memory of Wildavsky. A.** Thompson, M. (1997)

Band 49

**Stoffwechsel in einem indischen Dorf. Fallstudie Merkar.** Mehta, L., Winiwarter, V. (1997)

Band 50+

**Materialfluß Österreich- die materielle Basis der Österreichischen Gesellschaft im Zeitraum 1960-1995.** Schandl, H. (1998)

Band 51+

**Bodenfruchtbarkeit und Schädlinge im Kontext von Agrargesellschaften.** Dirlinger, H., Fliegenschnee, M., Krausmann, F., Liska, G., Schmid, M. A. (1997)

Band 52+

**Der Naturbegriff und das Gesellschaft-Natur-Verhältnis in der frühen Soziologie.** Lutz, J. Wien (1998)

Band 53+

**NEMO: Entwicklungsprogramm für ein Nationales Emissionsmonitoring.** Bruckner, W., Fischer-Kowalski, M., Jorde, T. (1998)

Band 54+

**Was ist Umweltgeschichte?** Winiwarter, V. (1998)

Mit + gekennzeichnete Bände sind unter  
<http://www.uni-klu.ac.at/socec/inhalt/1818.htm>  
Im PDF-Format downloadbar.

Band 55+

**Agrarische Produktion als Interaktion von Natur und Gesellschaft: Fallstudie SangSaeng.** Grünbühel, C. M., Schandl, H., Winiwarter, V. (1999)

Band 57+

**Colonizing Landscapes: Human Appropriation of Net Primary Production and its Influence on Standing Crop and Biomass Turnover in Austria.** Haberl, H., Erb, K.H., Krausmann, F., Loibl, W., Schulz, N. B., Weisz, H. (1999)

Band 58+

**Die Beeinflussung des oberirdischen Standing Crop und Turnover in Österreich durch die menschliche Gesellschaft.** Erb, K. H. (1999)

Band 59+

**Das Leitbild "Nachhaltige Stadt".** Astleithner, F. (1999)

Band 60+

**Materialflüsse im Krankenhaus, Entwicklung einer Input-Output Methodik.** Weisz, B. U. (2001)

Band 61+

**Metabolismus der Privathaushalte am Beispiel Österreichs.** Hutter, D. (2001)

Band 62+

**Der ökologische Fußabdruck des österreichischen Außenhandels.** Erb, K.H., Krausmann, F., Schulz, N. B. (2002)

Band 63+

**Material Flow Accounting in Amazonia: A Tool for Sustainable Development.** Amann, C., Bruckner, W., Fischer-Kowalski, M., Grünbühel, C. M. (2002)

Band 64+

**Energieflüsse im österreichischen Landwirtschaftssektor 1950-1995, Eine humanökologische Untersuchung.** Darge, E. (2002)

Band 65+

**Biomasseeinsatz und Landnutzung Österreich 1995-2020.** Haberl, H.; Krausmann, F.; Erb, K.H.; Schulz, N. B.; Adensam, H. (2002)

Band 66+

**Der Einfluss des Menschen auf die Artenvielfalt. Gesellschaftliche Aneignung von Nettoprimärproduktion als Pressure-Indikator für den Verlust von Biodiversität.** Haberl, H., Fischer-Kowalski, M., Schulz, N. B., Plutzer, C., Erb, K.H., Krausmann, F., Loibl, W., Weisz, H.; Sauberer, N., Pollheimer, M. (2002)

Band 67+

**Materialflussrechnung London.** Bongardt, B. (2002)

Band 68+

**Gesellschaftliche Stickstoffflüsse des österreichischen Landwirtschaftssektors 1950-1995, Eine humanökologische Untersuchung.** Gaube, V. (2002)

Band 69+

**The transformation of society's natural relations: from the agrarian to the industrial system. Research strategy for an empirically informed approach towards a European Environmental History.** Fischer-Kowalski, M., Krausmann, F., Schandl, H. (2003)

Band 70+

**Long Term Industrial Transformation: A Comparative Study on the Development of Social Metabolism and Land Use in Austria and the United Kingdom 1830-2000.** Krausmann, F., Schandl, H., Schulz, N. B. (2003)

Band 72+

**Land Use and Socio-economic Metabolism in Pre-industrial Agricultural Systems: Four Nineteenth-century Austrian Villages in Comparison.** Krausmann, F. (2008)

Band 73+

**Handbook of Physical Accounting Measuring bio-physical dimensions of socio-economic activities MFA – EFA – HANPP.** Schandl, H., Grünbühel, C. M., Haberl, H., Weisz, H. (2004)

Band 74+

**Materialflüsse in den USA, Saudi Arabien und der Schweiz.** Eisenmenger, N.; Kratochvil, R.; Krausmann, F.; Baart, I.; Colard, A.; Ehgartner, Ch.; Eichinger, M.; Hempel, G.; Lehrner, A.; Müllauer, R.; Nourbakhch-Sabet, R.; Paler, M.; Patsch, B.; Rieder, F.; Schembera, E.; Schieder, W.; Schmiedl, C.; Schwarzlmüller, E.; Stadler, W.; Wirl, C.; Zandl, S.; Zika, M. (2005)

Band 75+

**Towards a model predicting freight transport from material flows.** Fischer-Kowalski, M. (2004)

Band 76+

**The physical economy of the European Union: Cross-country comparison and determinants of material consumption.** Weisz, H., Krausmann, F., Amann, Ch., Eisenmenger, N., Erb, K.H., Hubacek, K., Fischer-Kowalski, M. (2005)

Band 77+

**Arbeitszeit und Nachhaltige Entwicklung in Europa: Ausgleich von Produktivitätsgewinn in Zeit statt Geld?** Proinger, J. (2005)

Band 78+

**Sozial-Ökologische Charakteristika von Agrarsystemen. Ein globaler Überblick und Vergleich.** Lauk, C. (2005)

Band 79+

**Verbrauchsorientierte Abrechnung von Wasser als Water-Demand-Management-Strategie. Eine Analyse anhand eines Vergleichs zwischen Wien und Barcelona.** Machold, P. (2005)

Band 80+

**Ecology, Rituals and System-Dynamics. An attempt to model the Socio-Ecological System of Trinket Island.** Wildenberg, M. (2005)

Band 83+

**HANPP-relevante Charakteristika von Wanderfeldbau und anderen Langbrachesystemen.** Lauk, C. (2006)

Band 84+

**Management unternehmerischer Nachhaltigkeit mit Hilfe der Sustainability Balanced Scorecard.** Zeithofer, M. (2006)

Band 85+

**Nicht-nachhaltige Trends in Österreich: Maßnahmenvorschläge zum Ressourceneinsatz.** Haberl, H., Jasch, C., Adensam, H., Gaube, V. (2006)

Band 87+

**Accounting for raw material equivalents of traded goods. A comparison of input-output approaches in physical, monetary, and mixed units.** Weisz, H. (2006)

Band 88+

**Vom Materialfluss zum Gütertransport. Eine Analyse anhand der EU15 – Länder (1970-2000).** Rainer, G. (2006)



Band 89+

**Nutzen der MFA für das Treibhausgas-Monitoring im Rahmen eines Full Carbon Accounting-Ansatzes; Feasibilitystudie; Endbericht zum Projekt BMLFUW-UW.1.4.18/0046-V/10/2005.** Erb, K.-H., Kastner, T., Zandl, S., Weisz, H., Haberl, H., Jonas, M., (2006)

Band 90+

**Local Material Flow Analysis in Social Context in Tat Hamelt, Northern Mountain Region, Vietnam.** Hobbes, M.; Kleijn, R. (2006)

Band 91+

**Auswirkungen des thailändischen logging ban auf die Wälder von Laos.** Hirsch, H. (2006)

Band 92+

**Human appropriation of net primary production (HANPP) in the Philippines 1910-2003: a socio-ecological analysis.** Kastner, T. (2007)

Band 93+

**Landnutzung und landwirtschaftliche Entscheidungsstrukturen. Partizipative Entwicklung von Szenarien für das Traisental mit Hilfe eines agentenbasierten Modells.** Adensam, H., V. Gaube, H. Haberl, J. Lutz, H. Reisinger, J. Breinesberger, A. Colard, B. Aigner, R. Maier, Punz, W. (2007)

Band 94+

**The Work of Konstantin G. Gofman and colleagues: An early example of Material Flow Analysis from the Soviet Union.** Fischer-Kowalski, M.; Wien (2007)

Band 95+

**Partizipative Modellbildung, Akteurs- und Ökosystemanalyse in Agrarintensivregionen; Schlußbericht des deutsch-österreichischen Verbundprojektes.** Newig, J., Gaube, V., Berkhoff, K., Kaldrack, K., Kastens, B., Lutz, J., Schlußmeier B., Adensam, H., Haberl, H., Pahl-Wostl, C., Colard, A., Aigner, B., Maier, R., Punz, W.; Wien (2007)

Band 96+

**Rekonstruktion der Arbeitszeit in der Landwirtschaft im 19. Jahrhundert am Beispiel von Theyern in Niederösterreich.** Schaschl, E.; Wien (2007)

Band 97

**(in Vorbereitung)**

Band 98+

**Local Material Flow Analysis in Social Context at the forest fringe in the Sierra Madre, the Philippines.** Hobbes, M., Kleijn, R. (Hrsg); Wien (2007)

Band 99+

**Human Appropriation of Net Primary Production (HANPP) in Spain, 1955-2003: A socio-ecological analysis.** Schwarzlmüller, E.; Wien (2008)

Band 100+

**Scaling issues in long-term socio-ecological biodiversity research: A review of European cases.** Dirnböck, T., Bezák, P., Dullinger S., Haberl, H., Lotze-Campen, H., Mirtl, M., Peterseil, J., Redpath, S., Singh, S., Travis, J., Wijdeven, S.M.J.; Wien (2008)

Band 101+

**Human Appropriation of Net Primary Production (HANPP) in the United Kingdom, 1800-2000: A socio-ecological analysis.** Musel, A.; Wien (2008)

Band 102 +

**Wie kann Wissenschaft gesellschaftliche Veränderung bewirken? Eine Hommage an Alvin Gouldner, und ein Versuch, mit seinen Mitteln heutige Klimapolitik zu verstehen.** Fischer-Kowalski, M.; Wien (2008)

Band 103+

**Sozialökologische Dimensionen der österreichischen Ernährung – Eine Szenarienanalyse.** Lackner, Maria; Wien (2008)

Band 104+

**Fundamentals of Complex Evolving Systems: A Primer.** Weis, Ekke; Wien (2008)

Band 105+

**Umweltpolitische Prozesse aus diskurstheoretischer Perspektive: Eine Analyse des Südtiroler Feinstaubproblems von der Problemkonstruktion bis zur Umsetzung von Regulierungsmaßnahmen.** Paler, Michael; Wien (2008)

Band 106+

**Ein integriertes Modell für Reichraming. Partizipative Entwicklung von Szenarien für die Gemeinde Reichraming (Eisenwurzen) mit Hilfe eines agentenbasierten Landnutzungsmodells.** Gaube, V., Kaiser, C., Widenberg, M., Adensam, H., Fleissner, P., Kobler, J., Lutz, J., Smetschka, B., Wolf, A., Richter, A., Haberl, H.; Wien (2008)

Band 107+

**Der soziale Metabolismus lokaler Produktionssysteme: Reichraming in der oberösterreichischen Eisenwurzen 1830-2000.** Gingrich, S., Krausmann, F.; Wien (2008)

Band 108+

**Akteursanalyse zum besseren Verständnis der Entwicklungsoptionen von Bioenergie in Reichraming. Eine sozialökologische Studie.** Vrzak, E.; Wien (2008)

Band 109+

**Direktvermarktung in Reichraming aus sozialökologischer Perspektive.** Zeithofer, M.; Wien (2008)

Band 110+

**CO<sub>2</sub>-Bilanz der Tomatenproduktion: Analyse acht verschiedener Produktionssysteme in Österreich, Spanien und Italien.** Theurl, M.; Wien (2008)

Band 111+

**Die Rolle von Arbeitszeit und Einkommen bei Rebound-Effekten in Dematerialisierungs- und Dekarbonisierungsstrategien.** Eine Literaturstudie. Bruckner, M.; Wien (2008)