

Fit für den Klimawandel? - Unterstützung von planerischen Abwägungen mit PYL

Einführung

Landnutzungsentscheidungen sind mit der Herausforderung konfrontiert, komplexe Interaktionen zwischen verschiedenen Landnutzungstypen ebenso zu berücksichtigen wie die heterogenen Einwirkungen, Ansprüche und Erwartungen verschiedenster Landnutzer (DRAGOSITS ET AL., 2006; KALLIORAS ET AL., 2006; LETCHER UND GIUPPONI, 2005; NIEMELÄ ET AL., 2005). Veränderte äußere Rahmenbedingungen, für die der Klimawandel das prominenteste Beispiel darstellt, sowie veränderte Nutzungsstrategien und -intensitäten beeinflussen Prozesse und Stoffkreisläufe innerhalb einzelner Landnutzungsarten. Rückgekoppelt auf Landschaftsebene ergeben sich daraus vielfältige Einflüsse auf die Erfüllung wesentlicher Landschaftsleistungen und -funktionen wie z.B. Festlegung von Kohlenstoff, Bereitstellung von Trinkwasser oder auch Hochwasserschutz (SCHULP ET AL., 2008; TENHUNEN ET AL., 2008; FÜRST ET AL., 2007a).

Ein klassisches Problemfeld auf Landschaftsebene besteht in der Verfügbarkeit von Informationen, um Wirkungen bewerten zu können. Zu nennen sind beispielsweise lückenhafte Datensätze sowohl was die räumliche als auch die zeitliche Auflösung betrifft, heterogene Standards bei Datenauswertung und insbesondere Datendokumentation und unübersichtliche Verantwortlichkeiten bei der Datenhaltung und -bereitstellung (FÜRST ET AL., 2007b, MANDER ET AL. 2007, VAN DELDEN ET AL. 2007, WIGGERING ET AL. 2006). Außerdem gilt es, das Handeln auf verschiedenen Entscheidungsebenen - vom Niveau des einzelnen Ökosystems bis hin zum regionalen Gesamtkontext inklusive verschiedener Landnutzungssektoren und Wirtschaftszweige abzubilden (FÜRST ET AL., 2010c).

Entscheidungs- und Managementunterstützungswerkzeuge haben daher in der Vergangenheit hohe Erwartungen geweckt und hier insbesondere Systeme, die ökosystemare Modelle mit Ansätzen der multikriteriellen Analyse und Schnittstellen zur Stakeholderpartizipation bei der Bereitstellung und Validierung der Wissensgrundlagen oder der Formulierung von Entscheidungsregeln verbinden (siehe z.B. MATTHIES ET AL. 2007, MENDOZA UND PRABHU 2005, WALKER, 2002). In der Praxis jedoch sind viele dieser Systeme aufgrund des Versuchs, komplexe Fragestellungen mit ebenso komplexen Systemlösungen abzudecken, auf nur geringe Akzeptanz gestoßen (URAN UND JANSEN 2003).

Die Berücksichtigung der vielfältigen Interaktionen, Prozesse und der eingeschränkten Datenverfügbarkeit auf Landschaftsebene erfordert daher Instrumente, die in der Lage sind (a) die verfügbaren, aber oft sektoral fragmentierten Informationsquellen effizient zu erschließen, und (b) ein komplexes, aber dennoch nutzerfreundliches Wissens- und Erfahrungsmanagement zu unterstützen (MANDER ET AL., 2007; VAN DELDEN ET AL., 2007; WIGGERING ET AL., 2006; URAN UND JANSEN, 2003).

Vor diesem Hintergrund ist ab 2007 die Software Pimp your landscape entwickelt worden. Sie verfolgt das Ziel, Landnutzung auf Basis der regional verfügbaren Wissensgrundlagen (statistische Daten, Modellergebnisse / Gutachten und Erfahrungswissen) zu bewerten und damit dem Planer ein Werkzeug an die Hand zu geben, Handlungsalternativen gegeneinander abzuwägen (FÜRST ET AL., 2009; 2010 a, b). Die Konzeption der Software Pimp your landscape betrachtet die Landschaft als integrative Ebene für Interaktionen zwischen verschiedenen Landnutzungsarten und Landnutzern und landschaftsbezogenen Ökosystemprozessen, die die Erfüllung von landschaftsbezogenen Ökosystemdienstleistungen bedingen (FÜRST ET AL, in rev.).

Die Abbildung 1 zeigt die drei Module, aus denen die Software aufgebaut ist. Das Modul „zellulärer Automat“ dient dazu, flexible Veränderungen im Raum zu ermöglichen, diese jedoch gleichzeitig mit einem Regelsystem zu koppeln, das es erlaubt, Umweltattribute und Planungsvorgaben an die Veränderlichkeit der einzelnen Zelle zu koppeln. GIS-Funktionalitäten im Programm erlauben es, die Vielfalt möglicher Attribute zu handhaben und eine Schnittstelle zu herkömmlichen GIS-Anwendungen (Import / Export) zur Verfügung zu stellen. Die multikriterielle Bewertung stellt den Kern des Systems dar und übersetzt regionale Präferenzen und die Wirkungsweise ökologischer Prozesse in bewertbare Raumwirkungen (Ökosystemdienstleistungen).

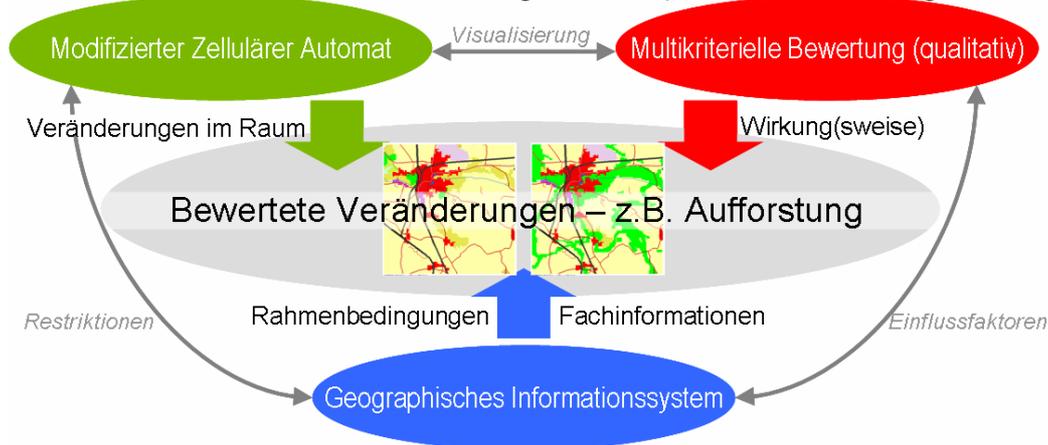


Abbildung 1 Modularer Aufbau von Pimp your landscape.

Ansatz

Modellhintergrund

Pimp your landscape stellt sich der Herausforderung, komplexe Interaktionen zwischen unterschiedlichen Landnutzungsarten auf Landschaftsebene abzubilden und hinsichtlich der Effekte auf verschiedene Landschaftsleistungen und -funktionen zu bewerten. Dazu musste das kontinuierliche räumliche Problem „Landschaft“ in räumlich distinkte Einheiten unterteilt werden, die interagieren und kommunizieren können und darüber hinaus mit diversen Attributen belegt werden können. Der mathematische Ansatz, der für die Lösung dieser Problematik gewählt wurde, ist der eines zellulären Automaten mit Moore-Nachbarschaft. Zelluläre Automaten wurden zuerst von ULAM (1952) eingeführt. TOBLER (1979) erkannte bereits ihr Potenzial, zum Verständnis von Ursprung und Rolle räumlicher Komplexität beizutragen. Zelluläre Automaten werden heute vor allem genutzt um städtische Strukturen und Nutzungsdynamiken

abzubilden (BARREDO ET AL., 2003; WHITE ET AL., 1997; WHITE UND ENGELEN, 1994 UND 1993), regionale räumliche Dynamiken zu simulieren (WHITE UND ENGELEN, 1997) oder um z.B. landschaftsökologische Strategien in Ballungsgebieten zu testen (SILVA ET AL., 2008). Der Ansatz erfährt darüber hinaus eine breite Verwendung im Bereich der Folgenabschätzung und Umweltverträglichkeitsprüfung, um den Einfluss von Landschaftsveränderungen und -dynamiken zu simulieren (z.B. MORENO ET AL, 2009; WICKRAMASURIYA ET AL., 2009; YANG ET AL, 2008; HOLZKÄMPER UND SEPPELT, 2007; SOARES-FILHO ET AL., 2002).

Datenbasis - Schnittstelle zwischen Raum- und Fachplanung

Pimp your landscape nutzt als Ausgangsbasis Landnutzungsdaten von Corine Landcover (CLC) 2000 / 2006 und Euromaps Landcover sowie aus OpenStreetMap (Straßen und Gewässer). Die kleinste Einheit in Pimp your landscape ist die Zelle, die eine Fläche von 1 ha (CLC 2000 / 2006), respektive 0,0625 ha (Euromaps) oder ggf. auch kleinere Flächen bei Anwendungen auf niedriger Skalenebene repräsentiert. Eine Zelle kann jeweils nur mit einer Landnutzungsart attribuiert werden, die sich aus der jeweils in der Zelle dominierenden Landnutzungsart ergibt.

Ergänzend zu den Standard Landnutzungstypen (land cover classes) sind für den Anwendungsfall zusätzliche Klassen im Bereich Wald (Bestandestypen / Waldentwicklungstypen) und - in Bearbeitung - im Bereich Landwirtschaft integriert worden. Sie basieren auf den Planungsgrundlagen im Bereich Forstwirtschaft sowie einer Bodennutzungsintensitätsklassifikation im Bereich Forstwirtschaft. Dadurch können bei räumlichen Szenarien wesentlich detailliertere Informationen über die tatsächliche Flächennutzung und mögliche -entwicklung als Ergebnis der Fachplanung einbezogen und hinsichtlich ihrer Wirkungen im Raum bewertbar gemacht werden.

Darüber hinaus können vielfältige andere Attribute als georeferenzierte Information (Shape oder Text-Datei) importiert und hinterlegt werden. Dazu zählen geologische / Bodendaten ebenso wie topographische Attribute, primäre oder abgeleitete Klimadaten oder bestehende planerische Festlegungen. Sollten entsprechende Informationen nicht in digitaler Form verfügbar sein, ist es möglich in einem „Bearbeitungsmodus“ entsprechende Daten manuell zu attributieren. Weiterhin können - als Ergänzung des zellulären Ansatzes - lineare Elemente wie Flussläufe, Straßen oder punktförmige Infrastrukturelemente mit flächigem Einfluss (Kraftwerk mit Depositionsgradient) einer Zelle als Attribut zugeordnet werden. In der bildlichen Darstellung werden diese Elemente von der Größe her überrepräsentiert, die Zuordnung ist jedoch stets eindeutig zellbezogen. Die Datensätze können nach Bearbeitung inklusive aller Attribute als georeferenzierte Shape- oder Textdatei exportiert werden.

Bewertungsansatz

Das Herzstück von Pimp your landscape ist ein hierarchischer Ansatz der multikriteriellen Bewertung des Einflusses von Änderungen im Landnutzungsmuster auf Ökosystemdienstleistungen (Abb. 2).

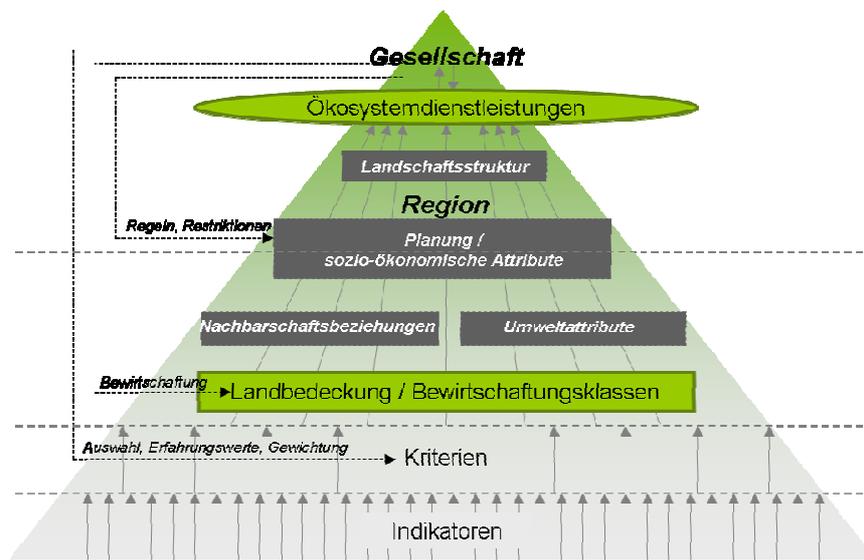


Abbildung 2 Hierarchischer Bewertungsansatz.

Der Bewertung zugrunde liegen Indikatorsets, die regionalspezifisch unter Berücksichtigung des Bewertungsanlasses und der verfügbaren Informationsgrundlagen gemeinsam mit regionalen Experten festgelegt werden (FÜRST ET AL., 2009; 2010 a, b; Koschke ET AL., 2010). Sie werden genutzt, um die relative Wertigkeit der Landnutzungstypen für die jeweils betrachteten Ökosystemdienstleistungen auf einer Skala von 0 (Minimum) bis 100 (Maximum) darzustellen. Die Einführung einer relativen Skala ermöglicht es, den Einfluss verschiedener Landnutzungsarten oder Bewirtschaftungsstrategien innerhalb einer Landnutzungsklasse auf eine spezifische Ökosystemdienstleistung vergleichbar zu machen und das Problem unterschiedlicher zeitlicher und räumlicher Skalen der verwendeten Indikatoren zu umgehen. Zum anderen ermöglicht sie eine multifunktionale Bewertung der relativen Vorzüglichkeit von Planungsalternativen unter Einbezug eines Bündels von Landschaftsleistungen und / oder -funktionen.

Nach Einwertung der regional vorkommenden Landnutzungstypen kann deren Wertigkeit auf Zellebene durch die Berücksichtigung von bestehenden Zellattributen (beispielsweise standörtliche Einflüsse auf die Produktivität) und von Lageparametern (Nachbarschaftsbeziehungen, die sich mindernd auf die Wertigkeit eines Landnutzungstyps auswirken können) sowie durch die Berücksichtigung von Zeitscheiben (falls Daten verfügbar) adjustiert werden. Eine erste Gesamtwertung des Landnutzungsmusters im Hinblick auf die regionale Bereitstellung von Ökosystemdienstleistungen ergibt sich in der Folge aus den auf Basis der Zellwerte für den betrachteten Landschaftsausschnitt errechneten Mittelwerten.

Ein Nachteil des zellulären Ansatzes besteht darin, dass übergeordnete Zusammenhänge wie die Form oder Kompaktheit von Flächenstrukturen bei alleiniger Betrachtung der Zellen und ihrer Nachbarschaften i.d.R. unzureichend abgebildet werden (FÜRST ET AL., 2010 b). Daher muss die landschaftsbezogene Gesamtwertung in einem nächsten Schritt noch um Landschaftsstrukturindizes ergänzt werden, die vor allem die Bewertung „weicher“ (= unklar definiert, subjektive Bewertungseinflüsse) Leistungen wie Ästhetik und ökologische Diversität, etc. sinnvoll ergänzen (siehe z.B. UUEMAA ET AL., 2009; FRANK ET AL.; 2010).

Integration von Planungsinformationen

Der Einbezug von Planungsvorgaben und -restriktionen, die Veränderungsge- oder -verbote festschreiben, kann fakultativ erfolgen. Diese werden in Form von Regelsets im System eingestellt. Die Regeln können beispielsweise festlegen, ob ein spezifischer Landnutzungstyp in einen anderen gewandelt werden darf (Beispiel: Rodungsverbot) oder ob die Nachbarschaft zu einem spezifischen Landnutzungstyp oder das Vorhandensein eines linearen oder punktuellen Elements die Umwandlung einschränkt (Beispiel Ausweisung Industriegebiet / Gewerbegebiet neben Siedlung).

Gleichfalls können Wandlungsge- oder -verbote in Abhängigkeit von weiteren Attributen (Topographie, Standort, klimatische Schwellenwerte, bestehende Ausweisungen) der jeweiligen Zelle festgelegt werden. Dabei ist es möglich, für Attribute mit größeren Wertebereichen (z.B. Niederschlag, Höhe über NN.) auch Grenzwerte einzugeben (Beispiel: Naßschneezone als limitierender Faktor für Nadelwaldetablierung).

Darüber hinaus kann die räumliche Entwicklung einer Landschaft durch Grenzwerte für bestimmte Landnutzungstypen (Beispiel Obergrenze für Siedlungsflächen / Untergrenze für naturnahe Landnutzungstypen) oder durch Entwicklungstrends (Beispiel Wachstum der Waldfläche; Abnahme versiegelter Flächen) festgeschrieben werden. Damit kann der Erhalt eines bestimmten Landschaftstyps (urban / ländlich; Waldregion / Offenlandregion) als Restriktion nutzbar gemacht werden. Schließlich können auch Grenzwerte für die Ökosystemdienstleistungen festgelegt werden, falls bestimmte „politische“ Rahmenvorgaben in der Simulation von Szenarien einer veränderten Landnutzung eingebunden werden sollen.

Jede Regel wirkt sich dabei entweder (a) auf die Gesamtwertung im betrachteten Landschaftsausschnitt aus, (b) beeinflusst die Anzahl der Landnutzungsarten, die für die Umwandlung einer bestimmten Zelle zur Verfügung stehen, oder führt (c) zu einer Warnmeldung falls eine Regelverletzung eintritt.

Systemoberfläche

Die Nutzeroberfläche von Pimp your landscape ist in Anlehnung an Web-GIS Instrumente vergleichsweise einfach gehalten (Abbildung 3); sie wird momentan noch weiter vereinfacht. Zentrales Element der Oberfläche ist die Karte. Für die Bearbeitung wird aktuell standardisiert ein Flächenausschnitt von 10x10 km² vorgegeben („Bearbeitungsfenster“). Im Falle größerer Regionen kann die Region vollständig hochgeladen und schrittweise in Form der Bearbeitungsfenster gestaltet werden. Die Bewertung erfolgt dann jeweils für die Gesamtregion und den Bearbeitungsausschnitt und die Ergebnisse für das Ökosystemportfolio (Bearbeitungsfenster und ggf. Region) werden anhand eines Diagramms visualisiert. Gleichfalls aufgerufen werden können (ohne Abbildung) Informationen zu Veränderungen im Anteil der verschiedenen Landnutzungstypen und Trends bei der Entwicklung von Ökosystemdienstleistungen (z.B. nutzbar für die Bewertung des Einflusses zeitlicher Entwicklungen wie Waldwachstum / Klimaänderungen).

Dem Nutzer stehen für die Erstellung der Landnutzungsmusterszenarien verschiedene als Icons dargestellte Szenarioinstrumente (unterhalb der Karte) zur Verfügung. Veränderungen werden per Mausclick umgesetzt und können zellweise oder im Freihandmodus durchgeführt werden. Ebenso ist es möglich, alle Zellen einer bestimmten Nutzungsart für den gesamten Landschaftsausschnitt gleichzeitig zu verändern oder auch nur die Zellen einer bestimmten Nutzungsart, die ohne Unterbrechung aneinander angrenzen. Damit können vielfältige Szenarien in der Veränderung des Landnutzungsmusters abgebildet werden. Erschließungslinien (Straßen) können ebenfalls Freihand eingezeichnet und einem bestimmten Typ (Straßenklassifikation aus OpenStreetMap) zugewiesen werden.

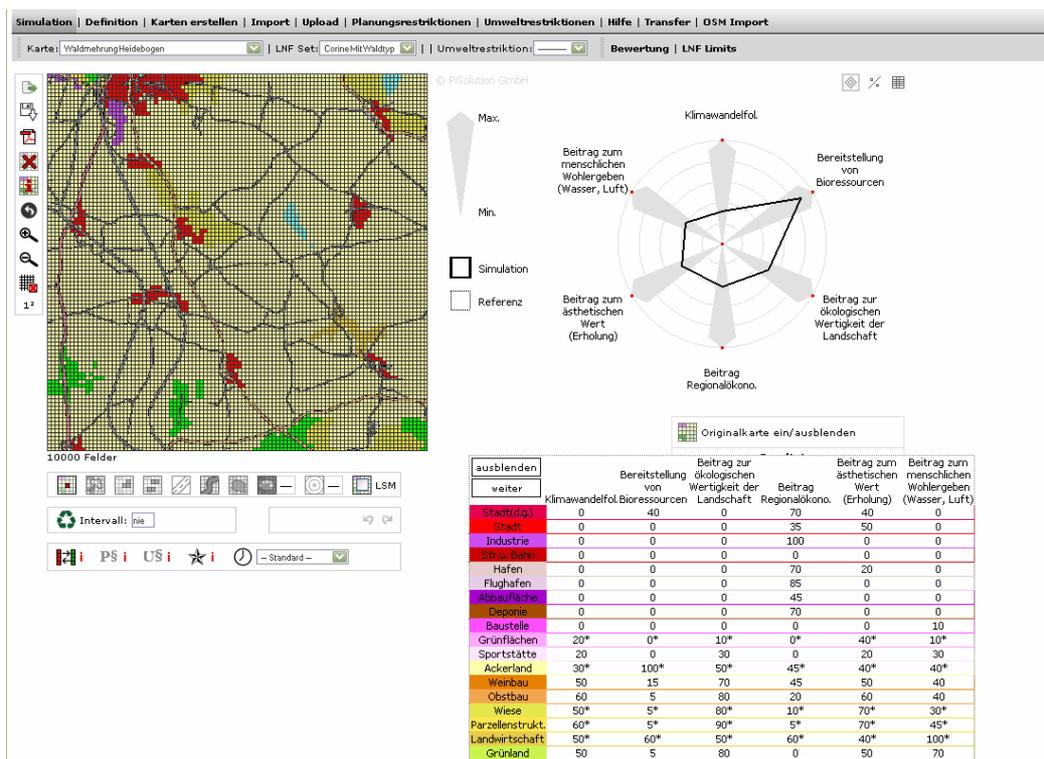


Abbildung 3 Nutzeroberfläche mit Kartenausschnitt, Szenariowerkzeugen (unterhalb der Karte), Legende und Ergebnisdiagramm.

Anwendungsbeispiel kombinierte Waldumbau / Waldmehrunngsszenarien in der Großenhainer Pflege

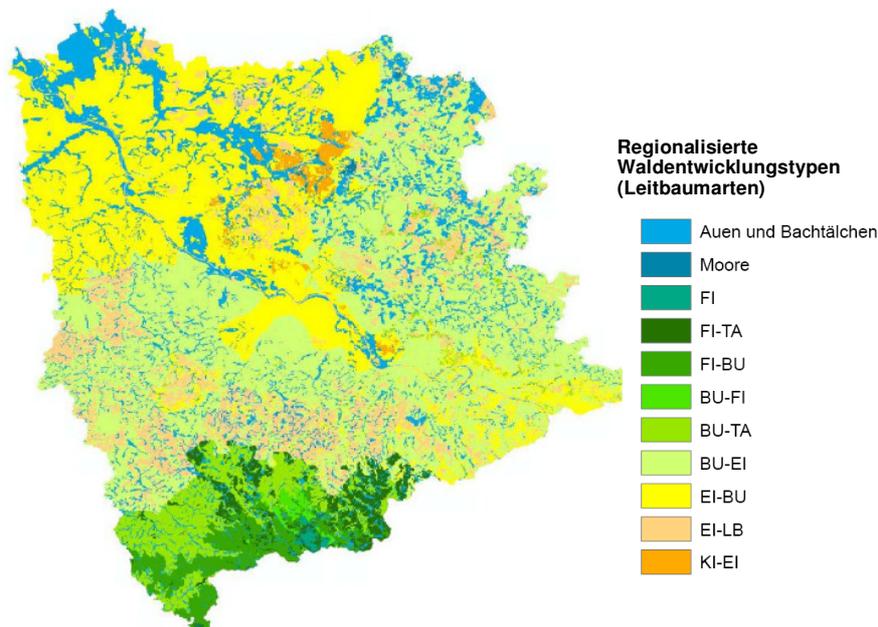
Ein Anwendungsbereich der Software ist die Entwicklung regionaler Strategien für eine optimierte Landnutzung. Vor diesem Hintergrund werden in dem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Projekt REGKLAM (www.regklam.de) Strategien für die Anpassung an den Klimawandel am Beispiel der Modellregion Dresden mit Schnittstelle zu dem Modelvorhaben der Raumordnung MORO entwickelt. Die beiden MORO-Regionen Dresdener Heidebogen und Silbernes Erzgebirge sind daher als „Fokusgebiete“ für Veränderungen der Landnutzung einbezogen worden.

Im Bereich der Landnutzung liegt das Augenmerk auf den Optionen, die sich aus einer an veränderte klimatische Rahmenbedingungen angepassten land- und forstwirtschaftlichen Nutzung ergeben. Dabei steht weniger die Frage einer Veränderung

der den beiden Sektoren zur Verfügung stehenden absoluten Fläche im Vordergrund, sondern vielmehr die Integration von Bewirtschaftungsalternativen in die Betrachtung regionaler Handlungsoptionen.

Für den Sektor Forstwirtschaft als Anwendungsbeispiel stehen zwei Klimaanpassungsstrategien zur Diskussion, (1) der Umbau bestehender Wälder in Bestände mit einer an zukünftige klimatische Bedingungen optimal angepassten Baumartenzusammensetzung und (2) die Aufforstung von bislang landwirtschaftlichen Standorten, dies zumindest in Bereichen, die möglicherweise zukünftig wirtschaftlich nicht (mehr) nutzbar sind oder aufgrund zwingender höherwertiger Interessen (Hochwasserschutz) umgewandelt werden sollten. Für die Umwandlung bereits bestehender Waldgebiete ist das Konzept der Waldentwicklungstypen von Sachsenforst erarbeitet worden. Die Ausweisung von Waldentwicklungstypen und – als übergeordnete Planungsinformation entsprechenden Waldbauregionen - beinhaltet neben bodenkundlichen Informationen eine Klimaprojektion für die Szenarien A1B und B1 bis zum Jahr 2100 sowie Informationen zu den aktuellen Bestandestypen und den gesetzlich festgeschriebenen Waldfunktionen (EISENHAUER UND SONNEMANN, 2009).

Für den Test von Aufforstungsszenarien ist es erforderlich, die in der waldbaulichen Fachplanung für bestehende (Staats-)Waldgebiete vorgesehenen Waldentwicklungstypen auf die Ebene der Modellregion zu übertragen, um diese Fachinformation für die regionale Betrachtung zugänglich zu machen. Für die Regionalisierung konnten aufgrund unterschiedlicher bodenkundlicher Klassifikationsstandards vorrangig die Substratfeuchtestufe und topographische Informationen genutzt werden. Informationen zu den Bestandestypen und



Waldfunktionen konnten durch Zuweisung zu den räumlich nächstgelegenen Wäldern, topographischen Parametern (Wassereinzugsgebiet-sabgrenzung) und weiteren Informationen (Siedlungsnähe) gewonnen werden (Abbildung 4).

Abbildung 4 Regionalisierte Planungsgrundlage Waldentwicklungstypen für die Modellregion Dresden.

Die Großenhainer Pflege stellt einen Flächenausschnitt aus der MORO-Region Dresdner Heidebogen dar, der im vergangenen Jahr besonders durch einen Tornado und Hochwasser betroffen war, und dessen Lössböden, die vorwiegend unter landwirt-

schaftlicher Nutzung stehen, langjährig durch Erosionsschäden betroffen sind. Die größte Waldfläche in diesem Flächenausschnitt, der sogenannte „Kupferberg“ umfasst nur knapp 30 ha; die Großenhainer Pflege ist insgesamt als eher strukturarmes und dadurch besonders durch Klimawandelrisiken gefährdetes Gebiet einzustufen.

Folgende Szenarien sind im Hinblick auf eine Verbesserung der Klimafitness der Region am Beispiel der Großenhainer Pflege getestet worden:

1. Wirkung von Waldumbau (mit Schwerpunkt Kupferberg) in die Waldentwicklungstypen der forstlichen Fachplanung
2. Wirkung von Waldmehrung unter Nutzung alternativer Waldentwicklungstypen auf
 - a. planerisch ausgewiesenen Waldmehrungsflächen
 - b. alternativ möglichen Flächen (Vorranggebiete Natur- und Landschaft als Maximalszenario)
3. Priorisierung von Waldmehrungsflächen in Abhängigkeit von ihrem räumlichen Bezug

Ad. 1: Die Abbildungen 5a und 5b zeigen die Wirkung von Waldumbau für das Waldgebiet Kupferberg. Durch Waldumbau der jetzigen Bestandestypen könnten - zumindest auf der Skalenebene des Waldgebietes - einige für die Region beispielhaft betrachtete Ökosystemdienstleistungen, wie die Bereitstellung von Bioressourcen, die ökologische und ästhetische Wertigkeit sowie der Beitrag zum menschlichen Wohlergehen verbessert werden.

Andere Leistungen hingegen wie der Beitrag zur regionalen Wirtschaft oder auch der Beitrag zur Minderung von Klimawandelrisiken werden nicht nennenswert beeinflusst. Letzteres liegt vor allem daran, dass die Waldentwicklungstypen zwar für die erwartete Verringerung des Niederschlagsangebotes optimiert sind, hier aber keine wesentlichen Vorteile gegenüber der aktuellen Baumartenzusammensetzung im Kupferwald bieten. Anzumerken ist, dass die Waldentwicklungstypen in anderen Waldgebieten durchaus einen nennenswerteren Beitrag zu einer besseren Anpassung an den Klimawandel leisten können, und zwar dort, wo die aktuelle Baumartenzusammensetzung nicht an die zukünftigen standörtlichen Bedingungen angepasst ist (Risikoareale). Eine Reduktion des Risikos von Extremereignissen wie Tornados hingegen, kann allerdings nicht durch Waldumbau erfolgen.

Betrachtet man mithilfe des „Area-Focus-Tools“ in PYL die Wirkung des Waldumbaus im Kupferberg für den gesamten Flächenausschnitt (Abbildung 5c), so ergeben sich keine sichtbaren Wirkungen, da die zur Verfügung stehende Waldfläche schlicht zu klein ist. Waldumbau kann daher in diesem räumlichen Kontext nicht als effiziente Maßnahme zur Anpassung an den Klimawandel betrachtet werden. Selbst ein Umbau aller regional verfügbaren Waldflächen würde keine nennenswerte Wirkung entfalten.

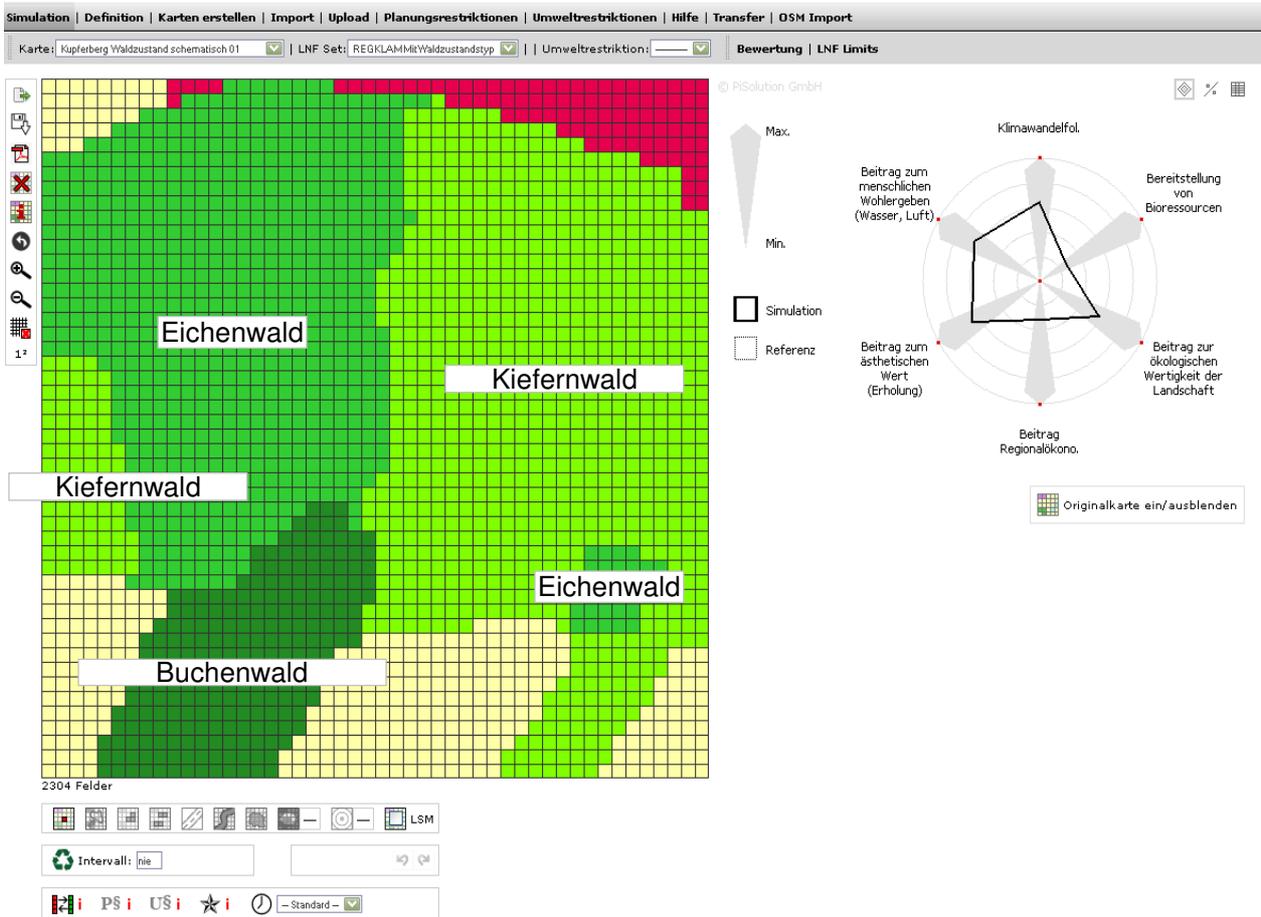


Abbildung 5a Ausgangszustand des Kuperwaldes

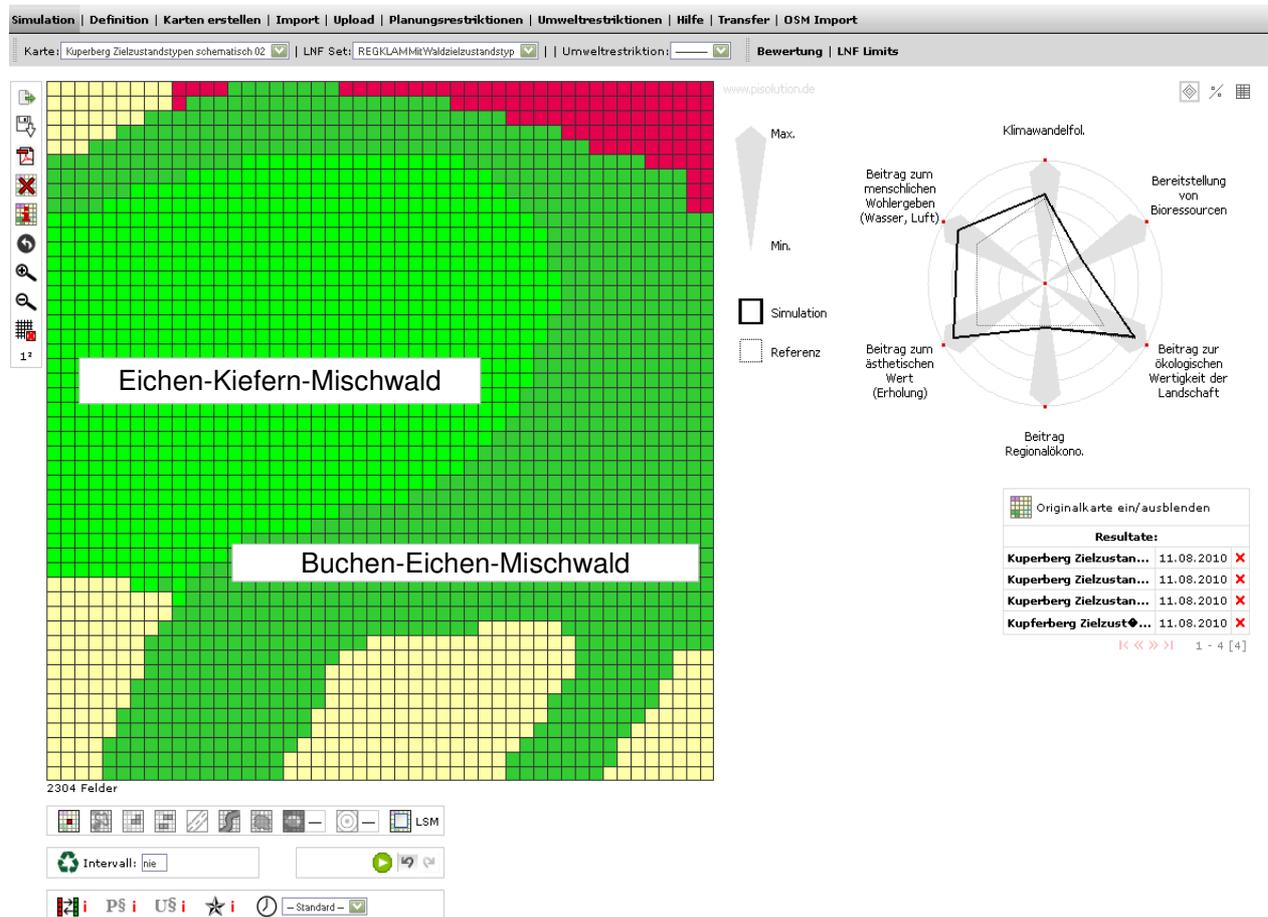


Abbildung 5b Situation nach Waldumbau auf Basis der forstlichen Fachplanung (standortangepasst)

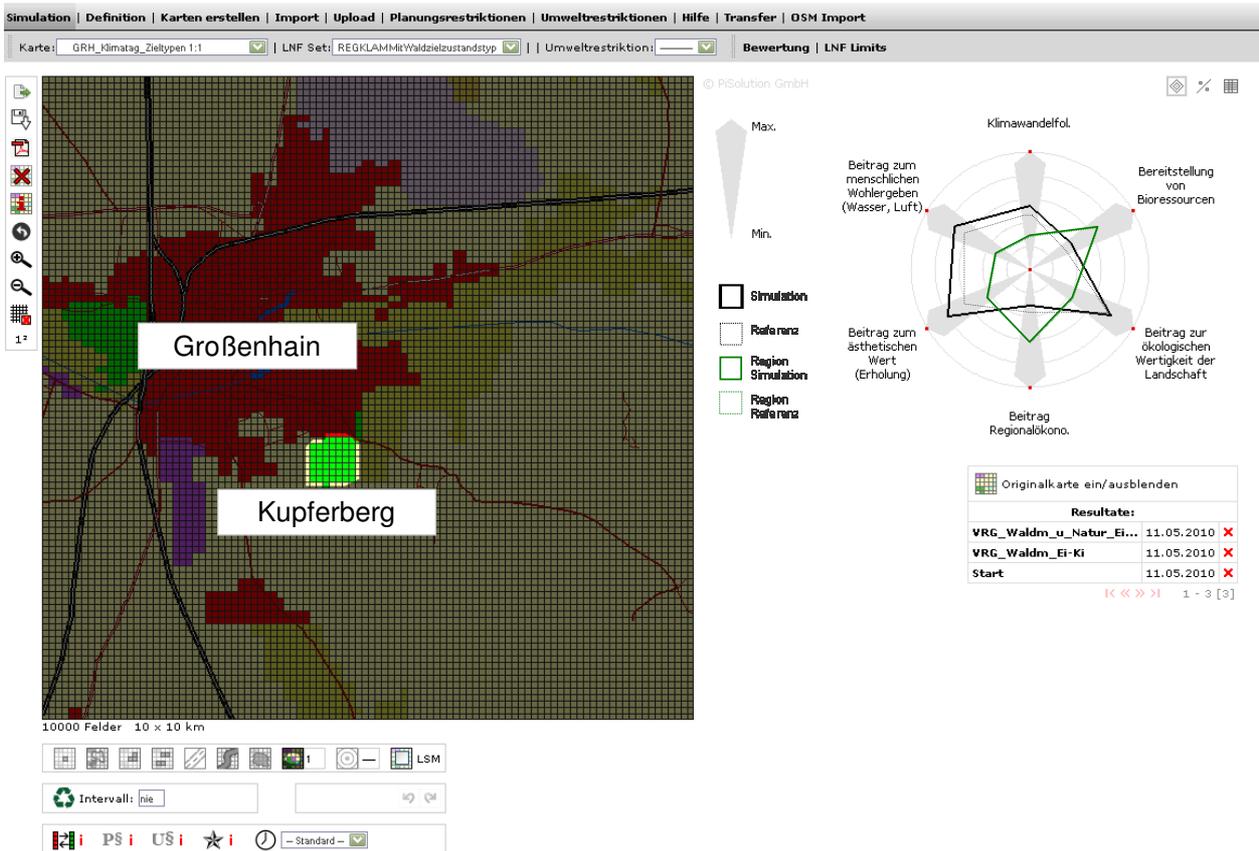


Abbildung 5c Wirkung von Waldumbau im Raum (Simulation: nach Waldumbau im Flächenausschnitt Kupferberg; Referenz: vor Waldumbau im Flächenausschnitt Kupferberg; Region Simulation: Wirkung von Waldumbau in der Region; Region Referenz: Wirkung des aktuellen Waldzustandes in der Region)

Ad. 2a: Die Waldmehrungsplanung sieht für die Großenhainer Pflege aufgrund der standörtlichen Ausstattung (Löß) und der damit verbundenen hohen Produktivität der Böden nur kleinflächige Aufforstungen mit einem in der Folge nur geringfügigen Einfluss auf die regionale Flächenausstattung mit Wäldern und damit einhergehend nicht relevanter Wirkung auf das regionale Ökosystemportfolio vor (ohne Abbildung). Hinzu kommt, dass die Bereitschaft die ausgewiesenen Flächen aufzuforsten aufgrund fehlender ökonomischer Motivation regional sehr gering ist: Die als Waldmehrungsflächen ausgewiesenen Areale sind i.d.R. durch standörtliche Ungunstdfaktoren (z.B. trockene Kuppen) gekennzeichnet und daher für land- noch für forstwirtschaftliche Nutzung eher uninteressant. Die Vorteilhaftigkeit von temporären Gehölzdeckungen (Kurzumtriebsplantage) müsste an dieser Stelle noch geprüft werden.

Ad. 2b: Eine - sicherlich nicht umsetzbare - Maximalvariante einer potentiellen Waldmehrunng zusätzlich auf Vorrangflächen für Natur und Landschaft hingegen, zeigt Potenziale auf, die sich aus einer flächenbedeutsameren Aufforstung ergeben könnten, wobei in diesem Kontext die Wahl der Waldentwicklungstypen aus der forstlichen Fachplanung einen quantifizierbaren Einfluss besitzt.

Abbildung 6a fasst die Simulationsergebnisse der Aufforstung auf den flächenbedeutsamen Vorrangflächen für Natur und Landschaft mit drei Waldentwicklungstypen zusammen. Die Aufforstung mit dem regional angepassten (und vergleichsweise

gut auf Aufforstungsflächen etablierbaren) Waldentwicklungstyp Eichen-Kiefern-Mischwald würde eine bessere regionale Fitness gegenüber Klimawandelfolgen (hier v.a. Erosionsschutz) bedingen, gleichzeitig die ökologische und ästhetische Wertigkeit und die Lebensqualität erhöhen. Allerdings wäre dies mit Einbußen im Bereich Biomassebereitstellung und Regionalökonomie verbunden. Die beiden Alternativen Buchen-Eichen-Mischwald (ökologisch optimiert) und insbesondere die Alternative Douglasien-Eichen-Mischwald könnten dazu beitragen, den Rückgang insbesondere im Bereich Biomassebereitstellung zumindest teilweise zu kompensieren bei Beibehaltung des positiven Beitrags zur Klimafitness, allerdings - im Falle des ökonomisch orientierten Douglasien-Eichen-Mischwald-Typs um den Preis einer geringeren positiven Wirkung für die ästhetische und ökologische Wertigkeit sowie die Lebensqualität. Als Optimalkonsens zeichnet sich daher die Waldmehrung mit einem Buchen-Eichen-Mischwaldtyp ab.

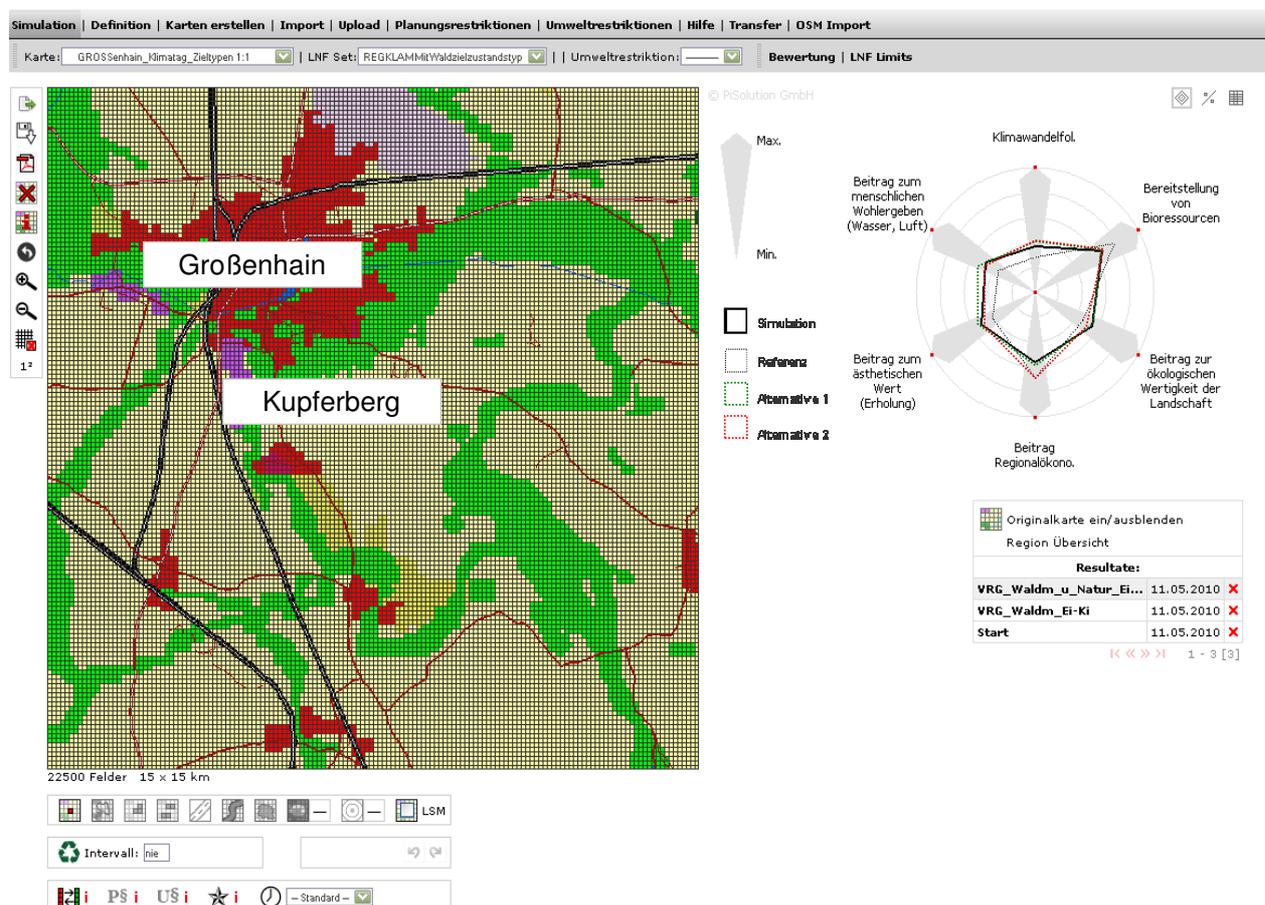
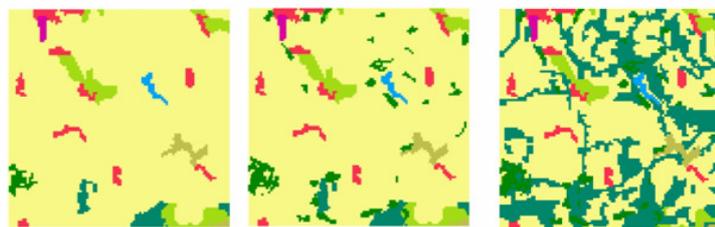


Abbildung 6a Wirkung von Waldmehrung und Einfluss der Wahl des Waldentwicklungstyps auf das Ökosystemportfolio (Simulation: Aufforstung mit dem Referenztyp Eichen-Kiefern-Mischwald; Referenz: Situation vor Aufforstung; Alternative 1: Aufforstung mit dem ökologisch optimalen Typ Buchen-Eichen-Mischwald; Alternative 2: Aufforstung mit dem ökonomisch optimalen Typ Douglasien-Eichen-Mischwald)

Über den Effekt der rein flächenbezogenen Veränderung der Landnutzung hinausgehend, sind weiterhin zusätzliche Effekte durch eine Veränderung des Räumusters auf Basis verschiedener Landschaftsstrukturindizes geprüft worden und in eine abschließende Endkorrektur der Ergebnisse für die Ökosystemdienstleistung „Beitrag zur ökologischen Wertigkeit der Landschaft“ einbezogen worden sind (Abb. 6b). Anzu-

merken ist, dass diese Korrektur Zu- und Abschläge durch strukturelle Vorteile oder Nachteile beinhaltet und mit dem für eine Leistung berechneten Gesamtergebnis abschließend verrechnet wird. Beginnend bei der Ausgangssituation kann damit die Wirkung der Strukturarmut im betrachteten Flächenausschnitt deutlicher herausgearbeitet werden. Ebenso lässt sich der geringe Beitrag der momentan vorgesehenen Waldmehrungsflächen zur ökologischen Wertigkeit der Landschaft aufzeigen: die kleinflächig parzellierten und räumlich stark gestreuten Flächen sind nicht dazu geeignet, zu einer verbesserten Strukturierung der Landschaft beizutragen, wie dies im Falle der Maximalvariante (Aufforstung der Vorrangflächen für Natur und Landschaft) erreichbar wäre.



Landschaftsbewertung	Ist-Zustand	Vorrang	Vorrang + Vorbehalt
ohne Struktur-Aspekt	51	53	63
mit Struktur-Aspekt	26	28	83

Abbildung 6b Einwertung des Beitrags von Aufforstungsalternativen zur strukturellen Verbesserung der Region. In die Wertung einbezogen wurden Landschaftsstrukturmaße, die die Landschaftszerschneidung, die Ausbildung eines Biotopverbundes, den Anteil naturnaher Kernflächen und die Diversität des Landnutzungsmusters bewerten (FRANK ET AL., 2010).

Ad. 3 Ausgehend davon, dass eine größerflächige Waldmehrung im betrachteten Flächenausschnitt, wie sie die Maximalvariante als Szenario angenommen hat, eher unwahrscheinlich ist, wurde geprüft, ob sich aus der speziellen Lage von Aufforstungsflächen Priorisierungsmöglichkeiten ableiten lassen.

Dazu wurde eine Aufforstung von 100 ha (10x10 Zellen) simuliert und die Wirkung dieser Aufforstung in drei verschiedenen räumlichen Kontexten, (a) als „Arrondierungsaufforstung“ im Anschluss an bestehende Wald- und naturnahe Flächen, (b) als Aufforstung in Siedlungsnähe und (c) als Aufforstung in bislang waldfreien landwirtschaftlichen Gebieten betrachtet.

In allen drei Fällen besitzt die simulierte Aufforstung von 100 ha keinen wirklich quantifizierbaren Einfluss auf das regionale Ökosystemportfolio (hier Flächenausschnitt 15x15 km²). Daher wurde die lokale Wirkung im jeweiligen Kontext in einem Flächenausschnitt (Area Zoom Tool) von 400 ha (20x20 Zellen, entspräche in diesem Ausschnitt einer Waldmehrung um 25 %). Abbildung 7a - 7c zeigen die simulierten Aufforstungsszenarien. Die Tabellen rechts neben dem Diagramm zeigen die Veränderung der Wertigkeit der einzelnen Ökosystemdienstleistungen und den jeweiligen Trend (Pfeil).

Zusammenfassend lässt sich zeigen, dass das Aufforstungsszenario (b) „Siedlungsnähe“ die größte lokale Wirkung aller im Hinblick auf die Fitness gegen Klimawandelwirkungen (256 % des Ausgangswertes im betrachteten 400 ha großen Flächenausschnitt), den größten Anstieg im Bereich der ökologischen Wertigkeit (179 % des Ausgangswertes) und den größten Impact für das menschliche Wohlergehen (208 % des Ausgangswertes) bedingt. Aufforstungsszenario (c) „waldfreie landwirtschaftliche Flächen“ bedingt die maximale lokale Wirkung auf die ästhetische Wertigkeit der Landschaft (138 % des Ausgangswertes, Anm.: ohne strukturelle Korrektur). Aufforstungsszenario (a) „Arrondierungsaufforstung“ schneidet - bezogen auf die prozentuale Verbesserung der Ausgangswerte in dem 400 ha großen Fokusareal - bei allen Ökosystemdienstleistungen schlechter gegenüber den beiden anderen Szenarien ab.

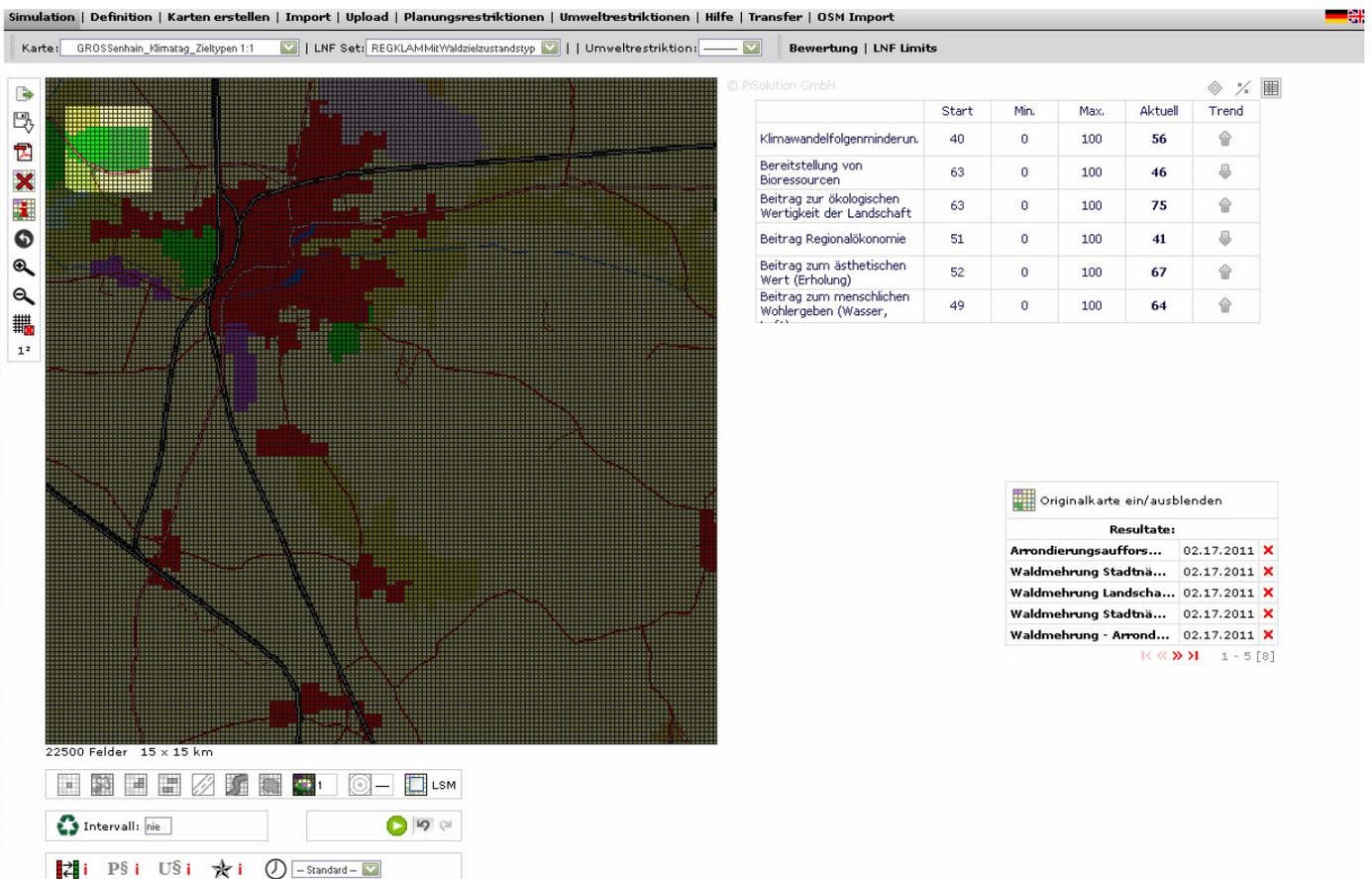


Abbildung 7a: Arrondierungsaufforstung im Anschluss an bestehende Waldflächen und naturnahe Flächen.

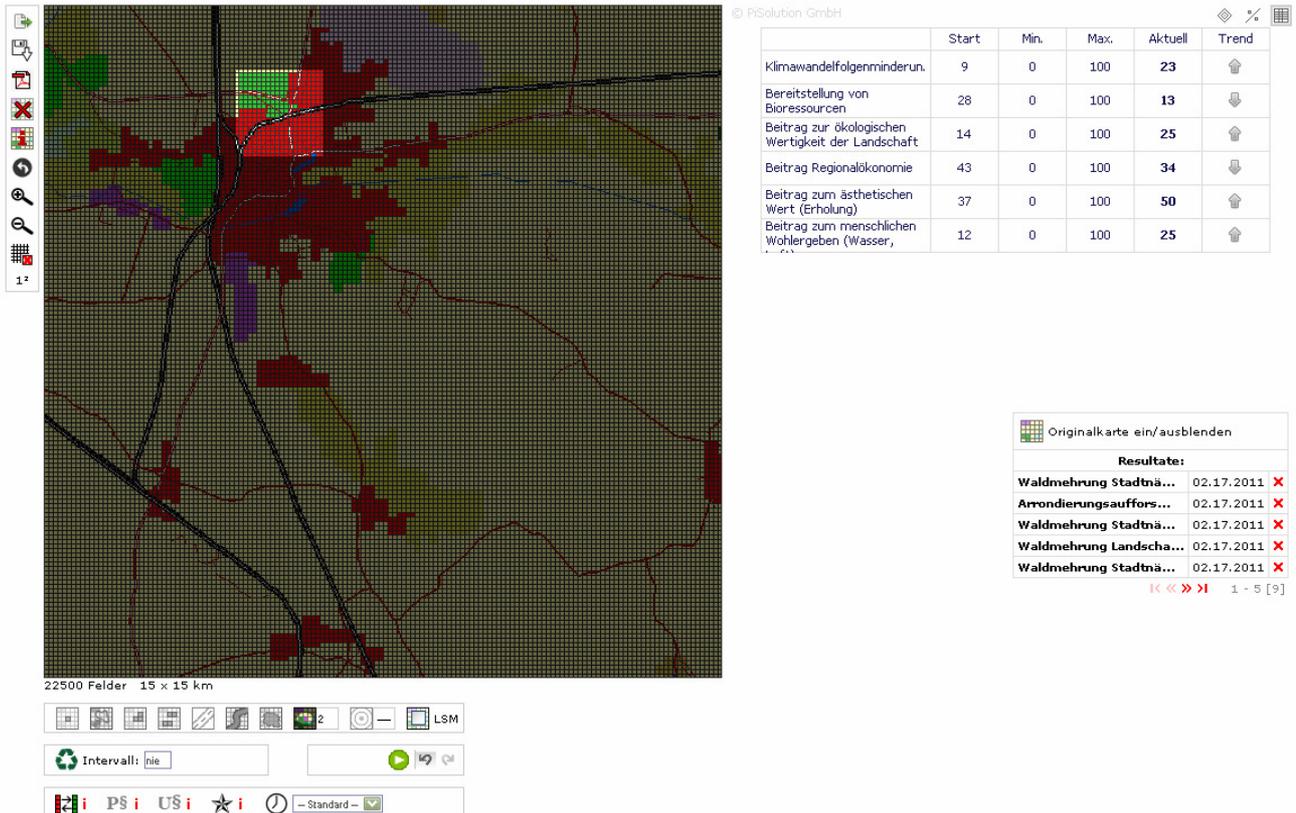


Abbildung 7b Aufforstung im Anschluss an Siedlungsflächen

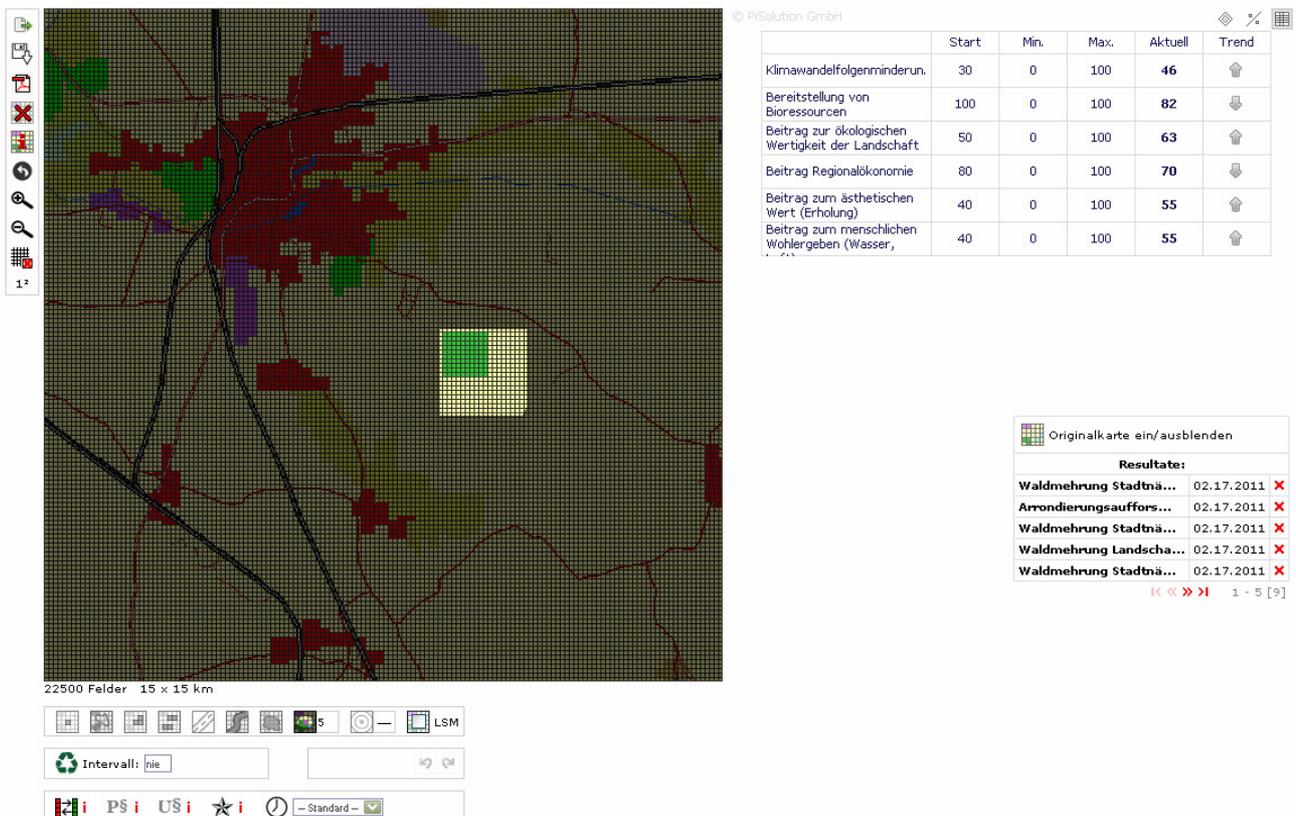


Abbildung 7c Aufforstung in waldfreien landwirtschaftlichen Gebieten

Schlussfolgern lässt sich daraus, dass eine Arrondierungsaufforstung in einem ohnehin naturnah geprägten Bereich zwar insgesamt positive Wirkungen entfaltet, jedoch - mit Blick auf die bereits günstigere Ausgangssituation - eine vergleichsweise geringere Verbesserung vor allem der Klimawandelfitness, aber auch anderer Ökosystemdienstleistungen bewirken kann, als eine Aufforstung in Siedlungsnähe oder in waldarmen Arealen. Daher wäre eine Priorisierung von Aufforstungsvorhaben insbesondere in Siedlungsnähe, aber auch in bislang waldarmen Bereichen der Region empfehlenswert. Einschränkend ist jedoch anzumerken, dass die Priorisierung solcher Flächen zwar sinnvoll ist, allerdings die Umsetzungswahrscheinlichkeit infolge ökonomisch bedingter Flächennutzungskonkurrenzen gegenüber Arrondierungsaufforstungen geringer ausfallen dürfte. Die Priorisierung müsste demzufolge mit nennenswerten finanziellen Anreizen verknüpft sein. Alternative Handlungsoptionen, wie der Einsatz temporärer Gehölzdeckung (Kurzumtriebsplantage) werden hinsichtlich ihrer Wirkung noch geprüft.

Folgende Empfehlungen aus der Berücksichtigung fachplanerischer Aspekte für die Raumplanung lassen sich aus dem Beispiel Großenhainer Pflege für die Region ableiten:

1. Die Ausweisung von Waldmehrungsflächen sollte einen strukturellen Vorteil in der Landschaft erbringen, um ihre Wirkung vor allem auf die ökologische Wertigkeit zu erhöhen. Ausgehend von den vorliegenden Planungsunterlagen ist daher eine Ausweisung primär im Kontext von Biotopverbundflächen (Vorrangflächen Natur und Landschaft) oder (als Ergebnis der Simulationen) bei einem signifikanten Beitrag zur Ausbildung naturnaher Kernflächen sinnvoll.
2. Insgesamt sollte der Anteil an planerisch ausgewiesenen Waldmehrungsflächen in der Region deutlich erhöht werden, da eine zu kleinflächige (und parzellierte) Ausweisung keine Vorteile für das regionale Ökosystemportfolio bietet und zudem i.d.R. auch für den Flächeneigner ökonomisch unvorteilhaft ist. Hier wäre als Alternative ein Einbezug von Kurzumtriebsplantagen (Vorrangflächen für Gehölzpflanzen anstelle für Wald) denkbar; die Wirkungen einer solchen Alternative im Raum sind allerdings noch nicht abschließend bewertet.
3. In die Entscheidung über eine Ausweisung von potentiellen Wald- (oder Gehölz-) Flächen sollten auch standörtliche Informationen einbezogen werden. Eine Ausweisung auf Flächen mit starken standörtlichen Ungunstoffaktoren (sehr trockene Kuppen; vernässte Mulden) sollte ggf. eher zugunsten anderer naturnaher Flächennutzungen (ggf. Flächen für Vertragsnaturschutz) vermieden werden.
4. Eine Priorisierung von Waldmehrungsvorhaben in Siedlungsnähe und bislang waldfreien landwirtschaftlichen Gebieten ist empfehlenswert und könnte ggf. durch Flächentausch oder besondere finanzielle Anreize unterstützt werden.
5. Bei der Umsetzung der Aufforstungsvorhaben sollten die regionalisierten Waldentwicklungstypen des Staatsbetriebs Sachsenforst hinsichtlich der Baumartenwahl verbindlich sein, um eine optimale Fitness für veränderte Klimabedingungen über längere Zeitschnitte (Umtriebszeit i.d.R. > 100 Jahre) zu gewährleisten.

Diskussion und Ausblick

Systementwicklung

Zur Unterstützung von Planungsentscheidungen auf Landschaftsebene sind vielfältige Ansätze entwickelt worden. Management und Decision Support Systems (M&DSS) greifen die Herausforderung auf, Entscheidungsregeln mit (prozess-)modellbasierten Entwicklungsaussagen zu verknüpfen und damit die Qualität von Entscheidungen zu verbessern (RAUSCHER, 1999). Die Notwendigkeit eine wachsende Anzahl von Entscheidungsakteuren und -interessen in Entscheidungsprozesse zu berücksichtigen, hat zur Integration und Nutzung von multikriteriellen Entscheidungstechniken (MCDM) in der Entwicklung von M&DSS geführt. Group Decision Support Systems (GDSS) stellen einen weiteren Entwicklungsfortschritt beim Einbezug mehrerer Akteure in Entscheidungen dar. Allerdings merken MENDOZA UND MARTINS (2006) an, dass bei den bestehenden Ansätzen ein Paradigmenwandel von Ansätzen zur Problemlösung hin zu Ansätzen zur Strukturierung von Problemen erforderlich ist, um die Wünsche und Präferenzen der Entscheider stärker einzubeziehen. Auch MALCZEWSKI (2004) zeigt bei einer Analyse bestehender Ansätze bei der Entscheidungsunterstützung auf Landschaftsebene Schwachstellen auf: Diese bestehen entweder in einem Mangel an Mechanismen, um Nutzerpräferenzen in die Entscheidungen einzubeziehen (GIS-basierte Modellansätze), der Abhängigkeit der Ergebnisse von der gewählten Methodik zur Entscheidungsfindung (MCDM) oder dem Mangel an Transparenz bei der Ableitung der Ergebnisse (Artificial Intelligence Tools). URAN UND JANSEN (2003) heben darüber hinaus den Mangel an Nutzerfreundlichkeit als wesentlichsten Grund für die nur schwache Verwendung von M&DSS in der Praxis hervor. DIEZ UND MCINTOSH (2009) schlussfolgern, dass neben Transparenz und Nutzerfreundlichkeit vor allem die Unterstützung eines intensiven Nutzerdialogs eine wesentliche Forderung für praxistaugliche M&DSS darstellt.

Diesen Anforderungen versucht der Modellansatz PYL gerecht zu werden. Die Intention der Software ist es nicht, Entscheidungen zu treffen, sondern die komplexen Auswirkungen verschiedener Planungsszenarien zu visualisieren und dabei verschiedene Umweltfaktoren und ggf. -szenarien (Klimawandel) in die Entscheidungen einbeziehbar zu machen.

Die regionale Zielsetzung und die Auswahl der zu bewertenden Landschaftsleistungen und -funktionen sind dabei ebenso wie die Planungsszenarien rein nutzergetrieben. Der Bewertung liegt darüber hinaus regionales Erfahrungswissen zugrunde. Zusammen mit den durch den Nutzer jederzeit einseh- und veränderbaren Regelsystemen ergibt sich daraus eine hohe Transparenz der Ergebnisse. Der Nutzer wird bei der Systemanpassung durch eine interaktive Oberfläche unterstützt.

Ein Manko des Ansatzes besteht allerdings darin, dass für die Erstanpassung (Initialisierung) an eine Modellregion ein gewisser Zeitaufwand erforderlich ist. Daraus und aus möglicherweise mangelnden Wissensgrundlagen ergibt sich das Risiko einer fehlerhaften Parametrisierung, die zu fehlerhaften Entscheidungen führen kann (RICHARDSON ET AL., 2006). Im System wird daher aktuell ein Set an wählbaren Voreinstellungen (Bewertung, Regelsets) eingebunden, die verschiedene Regionenty-

pen in Abhängigkeit von Landnutzungsmuster (urban, ländlich, etc.) und geographische Regionen repräsentieren, so dass auch der nicht-professionelle Nutzer auf einer gesicherten Wissensbasis arbeiten kann.

Als Instrument für Abwägungsprozesse in der Raumplanung ist darüber hinaus ein Attributmanagementsystem aktuell im Test, das Verschneidungsvorgänge unterstützt und Flächenszenarien, wie z.B. eine Optimierung von Waldmehrungsflächen in Abhängigkeit von einzelnen oder multiplen Attributen unterstützt. Die Ergebnisse solcher Simulationen (Flächen, die aufgrund bestimmter Attribute oder Präferenzen z.B. für Waldmehrung vorteilhaft sind) können in der Folge als shape oder text-Datei exportiert und damit für weitere Bearbeitungszwecke in Planungsprozessen zugänglich gemacht werden.

Weiterhin sollen auch weitergehende Informationen anstelle der qualitativ eingewerteten Ökosystemdienstleistungen verfügbar gemacht werden. Hierzu wird ein „embedded modelling approach“ getestet, der die Landnutzungstypen direkt mit Modellkennwerten verknüpft und daher konsistent in den Ansatz des zellulären Automaten einzubinden ist.

Zu prüfen bleibt allerdings, inwieweit die Komplexität allzu vieler Systemfunktionen die bislang einfache Handhabung der Nutzeroberfläche erschwert und damit PYL Gefahr läuft, den Weg vieler wissenschaftlicher Produkte zu gehen – von der Entwicklung direkt in die Schublade (siehe URAN UND JANSSEN, 2003, MALCZEWSKI, 2004). Eine Splittung der Freigabe von Analysefunktionalitäten und Szenariowerkzeugen je nach Anwendungsbereich ist daher in Umsetzung.

Einsatz für die Entwicklung von Handlungs- und Anpassungsoptionen für den Klimawandel

Die Veränderung des Landnutzungsmusters wird als eine wesentliche Option für eine Anpassung an den Klimawandel betrachtet. Allerdings bietet sie - gerade unter bundesdeutschen Bedingungen - nur in einem sehr eingeschränkten Maß (Restflächen aus der Tagebausanierung) und insbesondere in der betrachteten Modellregion - kaum wirklichen Handlungsspielraum. Eine Vielzahl bestehender Festlegungen und privatökonomische Interessen der Landeigner stehen i.d.R. größeren Veränderungen auf Landschaftsebene entgegen.

Echte Potenziale ergeben sich hingegen aus der Projektion veränderter Landnutzungsstrategien in den „großen“ (flächenrelevanten) Sektoren Land- und Forstwirtschaft. Die eigentlichen regionalen Handlungsspielräume und bereits bestehende positive Wirkungen im Hinblick auf die Angepasstheit an Klimawandelwirkungen werden allerdings momentan durch eine fehlende Schnittstelle zwischen Fachplanung und Flächenbewirtschaftung einerseits und der Raumplanung andererseits i.d.R. nicht betrachtet und daher meist unterschätzt.

Dies liegt zum einen an fehlenden Datengrundlagen, da Informationen über die tatsächliche Waldzusammensetzung (und teils auch Waldverteilung) und über die tatsächliche landwirtschaftliche Nutzung zumeist nur sektoral zur Verfügung stehen und nicht an großräumige Planungsinformationen wie „Landbedeckungskarten“ (land

cover maps) angebunden sind. Zum anderen ergibt sich durch die hohe Vielfalt der Nutzungsformen und Bewirtschaftungsmaßnahmen in Land- und Forstwirtschaft die Schwierigkeit, diese Vielfalt in eine Klassifizierung zu übersetzen, die Ursache-Wirkungsbeziehungen abbilden kann.

Erste Ansätze liegen für die Forstwirtschaft vor, wohingegen eine Klassifikation landwirtschaftlicher Nutzungspraktiken, pflanzenbauliche Aspekte und zusätzlich unterschiedliche Bodenbearbeitungstechniken und weitere Maßnahmen (Düngung, Pflanzenschutz) integrieren muss und daher deutlich komplexer ist. Auch muss eine solche Klassifikation etwa durch Bezug auf Fruchtfolgen anstelle einzelner Ackerfrüchte der eher längerfristigen Zeitskala der Planung gerecht werden, die unterjährige Veränderungen kaum abbilden kann.

Dennoch ist gerade im Hinblick auf eine verbesserte planerische Berücksichtigung von Klimawandeleffekten bei der Ermittlung von Flächenbedarfen und bei Flächenausweisungen eine stärkere Verschränkung fach- und raumplanerischer Datengrundlagen und Expertise unumgänglich: Einerseits entscheidet die konkrete Nutzung und Bewirtschaftung von Land gerade in den beiden Sektoren Land- und Forstwirtschaft maßgeblich über die Leistungen, die diese Flächen im Raum tatsächlich erbringen können. Langfristige und großflächige landwirtschaftliche Intensivkulturen, wie sie sich z.B. in Zukunft in Form von Energiemaisflächen voraussichtlich entwickeln werden, dürften kaum einen Beitrag zu einem Biotopverbund leisten und würden daher der planerischen Ausweisung einer Vorrangfläche für Natur- und Landschaft nicht gerecht. Andererseits kann eine solche negative Wirkung durch vielfältige Maßnahmen wie Zwischenfruchtanbau und Untersaat deutlich gemindert werden. Andererseits besteht eine der großen Herausforderungen des Klimawandels für die Planung darin, ökosystemare Prozesse und -dynamiken verstärkt einzubeziehen, die beispielsweise Schutzgebiets- oder Biotopverbundausweisungen durch Weiterentwicklung der Ökosysteme zu einem anderen Gleichgewichtszustand mit veränderter floristischer und faunistischer Zusammensetzung konterkarieren können.

Im Vorhaben REGKLAM ergeben sich daraus Herausforderungen im Bearbeitungsfeld „Bewertung“. Zum einen ist es erforderlich, Bezugsgrundlagen der boden- und standortkundlichen Kartierung zwischen den beiden großen Landnutzungssektoren Land- und Forstwirtschaft zu harmonisieren. Zwar bietet in Sachsen die mittelmaßstäbliche Kartierung einen ersten Ansatzpunkt, jedoch werden insbesondere für die Entwicklung von Klimaanpassungsstrategien so bedeutsame Informationen wie die Einstufung des für Pflanzen verfügbaren Wassers beispielsweise durch unterschiedliche Bezugstiefen bei der Definition des effektiven oder potenziellen Wurzelraumes bislang auch gegenüber den Standards der bodenkundlichen Landesaufnahme uneinheitlich gehandhabt. Anhand einer Auswahl von Testgebieten sollen daher mögliche Differenzen in der Bewertung von Wasserhaushaltsparametern herausgearbeitet werden.

Darüber hinaus bilden die Bereiche der Einbindung weiterer landschaftsstruktureller Merkmale und die Einbindung von Modellen zu Wasser- und Winderosion sowie des Dürreerisikos in Abhängigkeit von der Landnutzung und eine sachgerechte Klassifikati-

on und Bewertung landwirtschaftlicher Nutzungspraktiken, zu denen auch die Kurzumtriebsplantage gehört, weitere große Arbeitsfelder für die Ableitung von Handlungsempfehlungen für Klimawandelanpassungsstrategien.

Referenzen

- Barredo, J.I.; Kasanko, M.; McCormick, N.; Lavalle, C. (2003). Modelling dynamic spatial processes: simulation of urban future scenarios through cellular automata. *Landscape and Urban Planning*, 64(3), pp.145-160
- Diez, E. & McIntosh, B.S. (2009). A review of the factors which influence the use and usefulness of information systems. *Environmental Modelling and Software*, 24(5), pp.588-602
- Dragosits, U., M.R. Theobald, C.J. Place, H.M. ApSimon, Sutton, M.A. 2006. The potential for spatial planning at the landscape level to mitigate the effects of atmospheric ammonia deposition. *Environmental Science and Policy* 9(7-8):626-638.
- Eisenhauer, D.R., Sonnemann, S. 2009 Silvicultural strategies under changing environmental conditions- guiding principles, target system and forest development types. *Forest Ecology, Landscape Research and Nature Conservation* 9: 69-84.
- Frank, S., Fürst, C., Lorz, C., Koschke, F., Makeschin, F. (2010): A regionally adaptable approach of landscape assessment using landscape metrics within the 2D cellular automaton "Pimp your landscape", in: Azevedo, J.C., Feliciano, M., Castro, J., Pinto, M.A. (eds.): *Proceedings IUFRO conference Forest Landscape and Global Change, New Frontiers in Management, Conservation and Restoration*, p. 36 - 41.
- Fürst, C., Lorz, C., Makeschin, F. (in rev.): Integrating land management aspects into an assessment of the impact of land cover changes on Ecosystem Services, *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services Management*.
- Fürst, C., König, H., Pietzsch, K., Ende, H.P., Makeschin, F. (2010a): Pimp your landscape - a generic approach for integrating regional stakeholder needs into land use scenario design and sustainable management support, *Ecology and Society* 15(3): 34, 25 pp.
- Fürst, C., Volk, M., Pietzsch, K., Makeschin, F. (2010b): Pimp your landscape! A tool for qualitative evaluation of the effects of regional planning measures on ecosystem services, *Environmental Management* 46(6), p. 953-968.
- Fürst, C., Volk, M., Makeschin, F. (2010c): Squaring the circle - how to combine models, indicators, experts and end-users for integrated land-use management support?, editorial / leading paper, *Environmental Management* 46(6), p. 829-833.
- Fürst, C., Nepveu, G., Makeschin, F. 2009. Comment intégrer des considérations multicritères dans la gestion d'un territoire ? "Pimp your landscape" - un essai de planification interactive pour satisfaire les besoins des utilisateurs, *Revue forestière française* 1-2009: 21-35.

- Fürst, C.; Vacik, H.; Lorz, C.; Makeschin, F.; Podraszky, V.; Janecek, V. (2007a): Meeting the challenges of process-oriented forest management. *Forest Ecology and Management*, 248(1-2), pp. 1-5
- Fürst, C., Lorz, C., Makeschin, C. 2007b. Challenges for monitoring and the use of monitoring data for landscape management from point of view of the end-user. In: Eichhorn, J. (ed): *Forests in a Changing Environment. Results of 20 years ECP Forest Monitoring*. Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt. JD Sauerländer's Verlag Frankfurt am Main. 142:54-59.
- Holzkämper, A.; Seppelt, R. (2007). A generic tool for optimizing land-use patterns and landscape structures. *Environmental Modelling & Software*, 22, pp.1801-1804
- Kallioras, A., F. Pliakas, Diamantis, I. 2006. The legislative framework and policy for the water resources management of transboundary rivers in Europe: the case of Nestos/Mesta River, between Greece and Bulgaria. *Environmental Science and Policy* 9(3):291-301.
- Koschke, L., Fürst, C., Lorz, C., Frank, S., Makeschin, F. (2010): Using a multi-criteria approach to fit the evaluation basis of the modified 2-D cellular automaton Pimp your landscape, in: Azevedo, J.C., Feliciano, M., Castro, J., Pinto, M.A. (eds.): *Proceedings IUFRO conference Forest Landscape and Global Change, New Frontiers in Management, Conservation and Restoration*, p. 502 - 507.
- Letcher, R.A, Giupponi, C. 2005. Policies and tools for sustainable water management in the European Union. *Environmental Modeling and Software* 20(2):93-98.
- Malczewski, J. 2004. GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. *Progress in Planning* 62(1):3-65.
- Mander, Ü.; Wiggering, H.; Helming, K. 2007. Multifunctional land use - meeting future demands for landscape goods and services. 1-14. Springer. Berlin.
- Matthies, M., C. Guipponi, Ostendorf, B. 2007. Environmental decision support systems: Current issues, methods and tools, *Environmental Modeling and Software* 22(2):123-127.
- Mendoza, G.A. & Martins, H. (2006). Multi-criteria decision analysis in natural resource management: A critical review of methods and new modelling paradigms. *Forest Ecology and Management*, 230(1), pp.1-22
- Mendoza, A.G., Prabhu, R. 2005. Combining participatory modeling and multi-criteria analysis for community-based forest management. *Forest Ecology and Management* 207(1-2):145-156.
- Moreno, N.; Wang, F.; Marceau, D.J. (2009). Implementation of a dynamic neighborhood in a land-use vector-based cellular automata model. *Computers, Environment and Urban Systems*, 33(1), pp.44-54
- Niemelä, J., J. Young, A. Alard, M. Askasibar, K. Henle, R. Johnson, M. Kurttila, T.B. Larsson, S. Matouchi, P. Nowicki, R. Paiva, L. Portoghesil, R. Smulders, A. Stevenson, U. Tartes, Watt, A. 2005. Identifying managing and monitoring

- conflicts between forest biodiversity conservation and other human interests in Europe. *Forest Policy and Economics* 7(6):877-890.
- Rauscher, H.M. (1999). Ecosystem management decision support for federal forests in the United States: A review. *Forest Ecology and Management*, 114(2), pp. 173-197
- Richardson, S.M.; Courtney, J.F.; Haynes, J.D. (2006). Theoretical principles for knowledge management system design: Application to pediatric bipolar disorder. *Decision Support Systems*, 42 (3), pp.1321-1337
- Schulp, C.J.E.; Nabuurs, G.J.; Verburg, P.H. (2008). Future carbon sequestration in Europe-Effects of land-use change. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 127(3), pp.251-264
- Silva, E.A. ; Ahern, J. ; Wileden, J. (2008). Strategies for landscape ecology: An application using cellular automata models. *Progress in Planning*, 70(4), pp.133-177
- Soares-Filho, B.S.; Coutinho Cerqueira, G.; Lopes Pennachin, C. (2002). dynamica—a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. *Ecological Modelling*, 154(3), pp.217-235
- Tenhunen, J.; Geyer, R.; Adiku, S.; Reichstein, M.; Tappeiner, U.; Bahn, M.; Cernusca, A.; Dinh, N.Q.; Kolcun, O.; Lohila, A.; Otieno, D.; Schmidt, M.; Schmitt, M.; Wang, Q.; Wartinger, M.; Wohlfahrt, G. (2009). Influences of changing land-use and CO₂ concentration on ecosystem and landscape level carbon and water balances in mountainous terrain of the Stubai Valley, Austria. *Global and Planetary Change*, 67(1), pp.29-43
- Tobler, W. (1979). Cellular geography. In: Gale, S.; Olsson, G.: *Philosophy in Geography*, pp. 379-386, Reidel Publisher, Dordrecht
- Ulam, S. (1952). Random processes and transformations. *Proceedings of the International Congress on Mathematics* (2), pp. 264-275, American Mathematical Society, Providence RI
- Uran, O., Janssen, R. 2003. Why are spatial decision support systems not used? Some experiences from the Netherlands. *Computers, Environment and Urban Systems* 27:511-526.
- Uuemaa M. A.; Roosaare J.; Marja R.; Mander U. (2009). Landscape Metrics and Indices: An Overview of Their Use in Landscape Research. *Living Reviews of Landscape Research*, 3(1). (Online Article): cited 28.10.2009, <http://www.livingreviews.org/lrlr-2009-1>
- Van Delden, H., P. Lujala, Engelen, G. 2007. Integration of multi-scale dynamic spatial models of socio-economic and physical processes for river basin management. *Environmental Modeling and Software* 22(2):223-238.
- Wiggering, H.; Dalchow, C.; Glemnitz, M.; Helming, K.; Müller, K.; Schulz, A.; Stachow, U.; Zander, P. 2006. Indicators for multifunctional land use - Linking socio-economic requirements with landscape potentials. *Ecological Indicators* 6: 238-249.
- Walker, D.H. 2002. Decision support, learning and rural resource management. *Agricultural Systems* 73: 113-127.

- White, R. & Engelen, G. (1997). Cellular automata as the basis of integrated dynamic regional modelling. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 24, pp. 235-246
- White, R. & Engelen, G. (1994). Urban systems dynamics and cellular automata: Fractal structures between order and chaos. *Chaos, Solitons and Fractals*, 4 (4), pp.563-583
- White, R. & Engelen, G. (1993). Cellular automata and fractal urban form: a cellular modelling approach to the evolution of urban land-use patterns. *Environment and Planning A*, 25, pp. 1175-1199
- White, R.; Engelen, G.; Uljee, I. (1997): The use of constrained cellular automata for high-resolution modelling of urban land-use dynamics, *Environment and Planning B: Planning and Design* 24, pp 323-343
- Wickramasuriya, R.C.; Bregt, A.K. ; van Delden, H.; Hagen-Zanker, A. (2009). The dynamics of shifting cultivation captured in an extended Constrained Cellular Automata land use model. *Ecological Modelling*, 220(18), p.2302-2309
- Yang, Q. & Li, X. / Shi, X. (2008). Cellular automata for simulating land use changes based on support vector machines. *Computers and Geosciences*, 34(6), pp.592-602