

Teilprojekt 3.3.3.

Erarbeitung eines Online-verfügbaren Entscheidungsbaums

Produkt 3.3.3f

Version: 1
Status: final
Datum: 05.08.2013

TP 3.3.3. – Integrierte Bewertung

TP-Leiter: Dipl.-Geogr. Susanne Frank
TU Dresden
Institut für Bodenkunde und Standortslehre

Bearbeiter: Dipl.-Geogr. Lars Koschke
TU Dresden
Institut für Bodenkunde und Standortslehre

Kontakt: Lars Koschke
TU Dresden
Institut für Bodenkunde und Standortslehre
Pienner Straße 19
01737 Tharandt
Tel.: 35203 38-31377
E-Mail: Lars.Koschke@tu-dresden.de

REGKLAM

Entwicklung und Erprobung eines Integrierten Regionalen Klimaanpassungsprogramms für die Modellregion Dresden

Gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung
Förderkennzeichen: 01 LR 0802

Koordination: Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e. V. (IÖR)
Weberplatz 1, 01217 Dresden
Projektleiter: Prof. Dr. Dr. h.c. Bernhard Müller

www.regklam.de

Inhaltsverzeichnis

1. Motivation und Ziel	4
2. Methodik zur Allokation von Fruchtfolgeklassen unter Einfluss von Klimawandelrisiken ..	4
2.1 GRUNDLAGEN	4
2.2 TREIBER.....	5
2.3 FOKUSGEBIET	13
3. Anwendung des Entscheidungsbaumes in einem Fokusgebiet.....	13
3.1 SZENARIO-ENTWICKLUNG MITTELS DES ENTSCHEIDUNGSBAUMS	13
3.2 INTEGRIERTE LANDSCHAFTSBEWERTUNG MITTELS GISCAME	15
4. Diskussion und Zukünftige Weiterentwicklung	15
5. Literatur.....	16

Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1: Übersicht über die Modellbausteine und Treiber unterteilt nach (i) nicht-räumlich explizit wirkenden Treibern und (ii) räumlich expliziten, d.h. durch Standorteigenschaften modifizierte Treiber. Die Bewertung der FF hinsichtlich ihrer ökonomischen und standörtlichen Vorzüglichkeit führt zu einem Ranking von FF für die jeweilige Zelle. Die Zuweisung einer FF erfolgt im Allokationsprozess (d.h. im Verlauf des Optimierungsalgorithmus) (s. Abbildung 2). 6
- Abbildung 2: Dürrerisiko (links) und Erosionsrisiko für das Beispielgebiet. Die Karten dienen in der Allokationsprozedur als räumliche Referenz zur Abschätzung des standörtlichen Einflusses auf die Auswahl der FF. Die klimatische Wasserbilanz bezieht sich auf den Zeitraum 2071-2100 (A1B, WEREX IV, normal). Die Farben signalisieren hohes (rot), mittleres (gelb) und geringes (grün) Risiko. 7
- Abbildung 3: Darstellung zur zweistufigen (a und b) Allokation der Fruchtfolgen (FF) im Anschluss an die Vorauswahl der FF basiert auf der ökonomischen Vorzüglichkeit..... 11
- Abbildung 4: Links: Gegenwärtige Verteilung der FF-Klassen (Ausgangssituation, BAU). Rechts: Ergebnis der FF-Klassenallokation. Unten: Legende der im Beispielgebiet vorkommenden FF. 14
- Abbildung 5: Ergebnis der Bewertung der Landnutzungsmuster in GISCAME für die Ausgangssituation (BAU) und die Simulation. 15

Tabellenverzeichnis

- Tabelle 1: Übersicht über verwendeten Bewertungskriterien (Treiber) und Indikatoren..... 6
- Tabelle 2: In der Modellregion klassifizierte FF und das (a) Ranking der FF in Abhängigkeit des Dürrerisikos. (b) Kombination des FF-abhängigen mit dem standortabhängigen Dürrerisikos mit Hilfe einer ökologischen Verknüpfungsmatrix. Ja/Nein bezieht sich auf die Frage ob eine Allokation der jeweiligen FF gestattet ist. 9
- Tabelle 3: In der Modellregion klassifiziertes FF mit dem (a) Ranking der FF in Abhängigkeit des Erosionsrisikos. (b) Kombination des FF-abhängigen mit dem standortabhängigen Erosionsrisiko mit Hilfe einer ökologischen Verknüpfungsmatrix. Die Matrix dient als Bewertungsgrundlage in der Allokationsprozedur. Ja/Nein bezieht sich auf die Frage ob eine Allokation der jeweiligen FF gestattet ist..... 10
- Tabelle 4: Schritte zur technischen Umsetzung der Allokationsprozedur. 12
- Tabelle 5: Übersicht über die Flächenanteile der FF in der Ausgangssituation (BAU) und in der Simulation. 14

1. Motivation und Ziel

Die Art und Verteilung der agrarischen Landnutzung im Raum ist das Ergebnis eines komplexen Zusammenspiels von umweltbezogenen (z.B. Topographie, Klima, Boden) und sozi-ökonomischen Faktoren (z.B. politische und gesellschaftliche Rahmenbedingungen, Marktpreise, persönliche Ziele des Landnutzers). Als Folgen des Klimawandels für die Landwirtschaft werden in Sachsen v.a. negative Einflüsse auf die Ertragsstabilität und die Verstärkung bestimmter Umweltrisiken wie z.B. Bodenerosion erwartet (LfULG, 2009). Aufgrund eines Anteils der Landwirtschaftsfläche im REGKLAM Gebiet von ca. 30% fällt der agrarischen Produktion im Hinblick auf eine angestrebte nachhaltige Landnutzung und die Bereitstellung regional wichtiger ÖSL (s. Koschke et al., 2013) eine wichtige Rolle zu.

Das ursprünglich formulierte Ziel eines „Online-verfügbaren Entscheidungsbaumes“ zur Unterstützung der Entscheidung über zukünftige Landnutzungsoptionen wurde aufgrund der Einwände und Wünsche der beteiligten Stakeholder abgewandelt. Da die Landwirte im Rahmen ihrer Produktionsverfahren kurzfristig auf sich ändernde Bedingungen reagieren können, waren sie eher an langfristigen Szenarien interessiert, die dann auch nicht notwendigerweise schlaggenau sein mussten. Das Ziel wurde dahingehend angepasst, dass die innerhalb des Projektes abgeleiteten Fruchtfolge(FF)-Klassen (Lorenz, 2011, Lorenz et al., 2013) verwendet werden, um abzuschätzen ob der erwartete Klimawandel mit den damit zusammen hängenden Risiken (Dürre, Erosion) einen Einfluss auf zukünftige Landnutzung im Bereich Landwirtschaft haben wird.

Die **Zielstellung** war, Einflussfaktoren (Treiber) des agrarischen Landnutzungswandels zu identifizieren und ihre erwartete kombinierte Wirkung räumlich explizit zu simulieren. Die Auswirkungen unterschiedlicher Szenario-Annahmen, auf die FF-Verteilung sollten untersucht werden. Der Fokus lag daher auf dem Einfluss von anbau- und umweltbezogenen Restriktionen (Wasserverfügbarkeit, Bodenfruchtbarkeit), die es im Sinne einer nachhaltigen Landnutzung im Zusammenspiel mit marktbedingten, ökonomischen Erwägungen zu berücksichtigen gilt. Es sollte eine Methodik entwickelt werden, die agrarische Landnutzung im REGKLAM Gebiet im Hinblick auf Klimawandelrisiken zu optimieren. Darüber hinaus wurde eine Umsetzung als online verfügbares Tool angestrebt.

2. Methodik zur Allokation von Fruchtfolgeklassen unter Einfluss von Klimawandelrisiken

2.1 Grundlagen

Der Prototyp des online-basierten Entscheidungsbaums wurde als ergänzendes Modul zur Szenario-Entwicklung im integrierten Planungstool GISCAME entwickelt (Fürst et al. 2009, 2010, 2011a, b, 2012). Der Entscheidungsbaum ist jedoch ein eigenständiges Programm mit Schnittstelle zu GISCAME. Es arbeitet somit ebenfalls mit Rasterdaten. Als Landnutzungsdaten kommen Fruchtfolge (FF)-Klassen (Lorenz et al., in press) zum Einsatz, die bei Bedarf in das EuroMaps LandCover (EMLC) Datenset integriert werden können. Die Ackerflächen der REGKLAM-Modellregion wurden von Lorenz et al. (in press) auf Feldblockebene nach FF klassifiziert, wozu die Hauptkulturen der Jahre 2003 bis 2009 herangezogen wurden. Auf diesem Wege wurden insgesamt 31 **Fruchtfolgeklassen** ermittelt, welche nach Löß (L)-, Verwitterungs- (V) und Diluvialstandorte (D) differenziert werden können. Die einzelnen FF-Klassen wurden durch verschiedene Indikatoren (Ertrag, potentieller Wasserbedarf, C-Faktoren) zu ihrer näheren Beschreibung untersetzt. Darüber hinaus konnten nach Bodenbearbeitungsverfahren, Pflugbearbeitung und Direkt-

saat (ohne Bodenbearbeitung bei Belassen der Pflanzenreste auf der Fläche) differenziert werden (Lorenz et al., in press).

Für die Entwicklung einer qualitativen Prozedur zur **Allokation von FF** unter Klimawandelbedingungen wurden Daten unterschiedlicher räumlicher Auflösung verwendet. Sämtliche raumbezogene Daten wurden rasterbasiert aufbereitet und so für das Programm zur Allokation der FF vorbereitet. Entsprechend des FF Datensets wurde eine räumliche Auflösung bzw. Zellgröße von 25 x 25 m gewählt. Für das Dürreerisiko wurden die nutzbare Feldkapazität und die modellierte klimatische Wasserbilanz (A1B, 2071-2100 WEREX IV, normal, 500 m Auflösung) verschnitten. Der Abschätzung des Erosionsrisikos liegt die Berechnung des LS-Faktors der ABAG zu Grunde (vgl. DIN 19708, Wischmeier and Smith, 1978). Beide Größen sind wichtige Indikatoren zur Bestimmung des Standortpotentials aus klimatischer und bodenkundlicher Sicht. Trotz der z.T. groben Auflösung, insbesondere der Daten zur klimatischen Wasserbilanz wurde die Auflösung der Landnutzungsdaten (25 m) beibehalten um eine spätere Re-Integration der FF-Daten in das EuroMap LandCover (EMLC) (s. Koschke et al., 2013) zu ermöglichen. Der EMLC Landnutzungsdatensatz wurde im Rahmen des REGKLAM Projektes entwickelt und stellt eine wichtige Referenz zur Analyse und Auswertung von Landnutzungssimulationen dar.

2.2 Treiber

Zur Abschätzung der Wirkung der Treiber mit dem vorher definierten Dürre- und Erosionsrisiko wurde die Idee des Entscheidungsbaumes aufgegriffen. Dieser Ansatz ermöglicht es in einer einfach nachvollziehbaren, strukturierten, transparenten Art und Weise Landnutzungsmuster zu optimieren.

Als erster methodischer Schritt war es notwendig **Entscheidungskriterien bzw. Treiber** des agrarischen Landnutzungswandels zu identifizieren. Während der Diskussion in der Arbeitsgruppe wurden vier Treiber identifiziert, die aufgrund der Datenverfügbarkeit, ihrer Untersetzung mit aussagekräftigen Indikatoren und ihrer Verknüpfung mit den vorhandenen FF-Klassen genutzt werden konnten. Dabei wurden Ergebnisse einer Umfrage des LfULG aus dem Jahre (2008, nicht veröffentlicht) und einer Diplomarbeit (Schindler, 2010) einbezogen.

Als die wichtigsten Kriterien konnten identifiziert werden: der Preis für landwirtschaftliche Produkte; die finanziellen Förderungen die an Produktionsauflagen (Pflanzenwahl, Bodenbearbeitung) gebunden sind; umweltbezogene, variable, klimawandelsensitive (z.B. Niederschlag, Temperatur, Globalstrahlung) und stabile standortbezogene (z.B. Boden, Hangneigung) (Tabelle 1). Diese Faktoren sollten daher möglichst in die Methodik integriert werden. Als Hauptrisiken für die nachhaltige landwirtschaftliche Produktion in der REGKLAM Region wurden ein zunehmendes Dürre- und Erosionsrisiko prognostiziert (RP, 2009; LfULG, 2009). Da die Risiken sich in Abhängigkeit der gegenwärtigen Bewirtschaftung und der standortabhängigen Bedingungen unterschiedlich ausprägen, wurden diese Faktoren als Entscheidungskriterien identifiziert und mit Indikatoren die sensibel auf FF-Änderungen reagieren untersetzt (Tabelle 1). Die Treiber wurden kategorisiert in (i) nicht-räumlich explizit wirkende Treiber (Preis, Förderungen) da diese undifferenziert für alle Landwirte einer Region wirken. Von diesen wurden (ii) räumlich explizite Treiber unterschieden. Unter (ii) erfolgt die Bewertung des Einflusses der stabilen Standortfaktoren (Boden, Hangneigung) und der variablen klimatischen Einflussfaktoren (Klimatische Wasserbilanz) in Abhängigkeit der FF.

Tabelle 1: Übersicht über verwendeten Bewertungskriterien (Treiber) und Indikatoren.

Kriterium/Treiber	FF-kompatibler Indikator	Einheit
<i>(i) Nicht räumlich explizit wirkende Treiber</i>		
→ Marktpreis	Preis pro Fruchtart (LfULG, 2012)	[€ ha ⁻¹]
→ Förderung	Förderung in Abhängigkeit von der Art der Bewirtschaftung (LfULG, 2012)	[€ ha ⁻¹]
<i>(ii) Räumlich explizit wirkende Treiber</i>		
→ Dürrierisiko	Potentieller Wasserbedarf (Transpirationskoeffizient) (nach Lorenz et al., 2013)	[mm ha ⁻¹]
→ Erosionsrisiko	C-Faktor der ABAG (nach Lorenz et al., 2013)	[-]

¹ Zellspezifische potentielle Wasserverfügbarkeit berechnet aus nutzbarer Feldkapazität (nFK) und klimatischer Wasserbilanz (KWB)

² Zellspezifisches Erosionsrisiko berechnet nach LS Faktor der ABAG (DIN 19708, Wischmeier and Smith, 1978)

Da die **Folgen des Klimawandels** (und ihrer Wechselwirkungen mit Landnutzungsänderungen) auf Ertragsniveau und Umweltrisiken bisher nur sehr aufwendig quantitativ abzuschätzen sind, wurde mittels einer qualitativen, wissensbasierten Bewertung versucht unter definierten klimatischen und ökonomischen Bedingungen den Einfluss verschiedenen Treiber auf den Landnutzungswandel zu ermitteln. Die einzelnen Bausteine dieses Ansatzes sind in Abbildung 1 dargestellt.

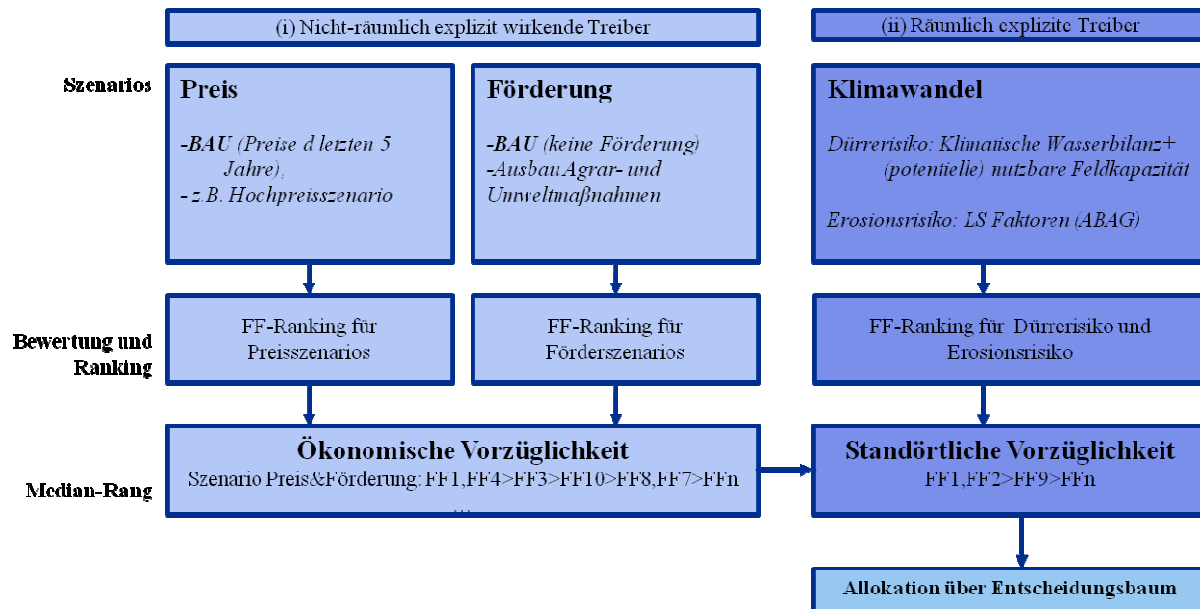
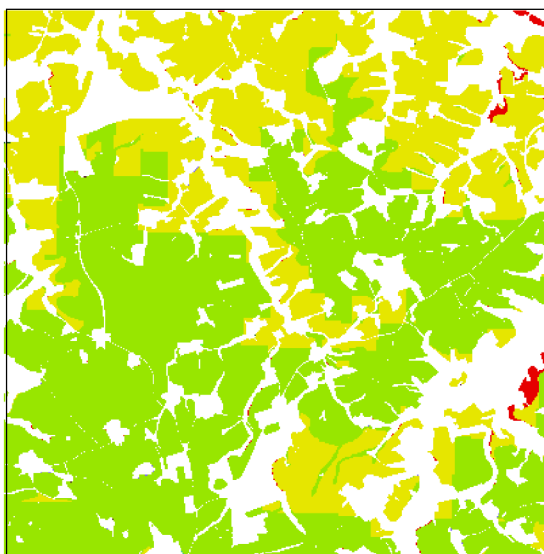


Abbildung 1: Übersicht über die Modellbausteine und Treiber unterteilt nach (i) nicht-räumlich explizit wirkenden Treibern und (ii) räumlich expliziten, d.h. durch Standorteigenschaften modifizierte Treiber. Die Bewertung der FF hinsichtlich ihrer ökonomischen und standörtlichen Vorzüglichkeit führt zu einem Ranking von FF für die jeweilige Zelle. Die Zuweisung einer FF erfolgt im Allokationsprozess (d.h. im Verlauf des Optimierungsalgorithmus) (s. Abbildung 2).

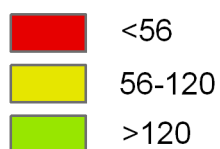
Neben den standortspezifischen Faktoren sind **Preis- und Förderbedingungen** als ebenfalls Änderungen unterworfen. Die einzelnen Bewertungsschritte sind hierarchisch angeordnet und schließen die Ermittlung der Preisentwicklung für einzelne FF-Glieder und die Berechnung FF-Erzeugerpreises ein. Weiterhin mussten die FF-Klassen auf Förderfähigkeit hin analysiert werden. Für die Kriterien Marktpreis und Förderung wurden die gefundenen Werte den FF-Klassen zugeordnet und diese in eine Rangfolge gebracht. Aus der Bildung des Medians resultierte eine Rangfolge der FF gemäß ihrer ökonomischen Vorzüglichkeit (Abbildung 1, i). Mögliche Szenarien, die getestet werden können, umfassen Szenarien die die Preise und Förderszenarien betreffen. Zur Implementierung des Ansatzes wurde jeweils das Baseline Szenario (BAU) gewählt. Das Ergebnis der Bewertung der ökonomischen Vorzüglichkeit, wurde im Folgenden (anhand von MySQL Tabellen) an das Programm zur Allokation der FF im Raum übertragen.

Das Risiko eines Standortes gegenüber **Dürre- oder Erosionsrisiko** wurde auf der Grundlage von GIS-Verschneidungen gemäß der variablen und stabilen Umweltfaktoren bewertet und in 3 Klassen (hohes, mittleres, geringes Risiko) eingeteilt. Der Einteilung liegt die abgeschätzte Standorteignung für jede FF im Hinblick auf ein Risiko für Ertrags- einbuße zu Grunde (Abbildung 2). Zur Ermittlung der standörtlichen Vorzüglichkeit wurde das zellspezifische Dürrierisiko anhand der klimatischen Wasserbilanz und der nutzbaren Feldkapazität ermittelt.

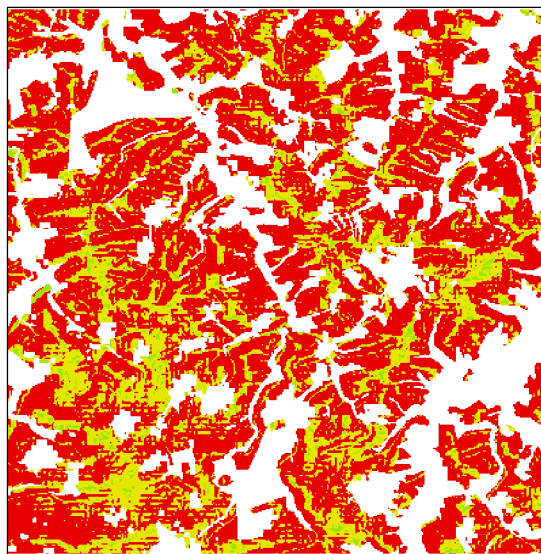
Dürrierisiko



[nutzbare Feldkapazität-klimatische
Wasserbilanz, mm ha⁻¹ a⁻¹]



Erosionsrisiko



[L*S Faktor der ABAG]

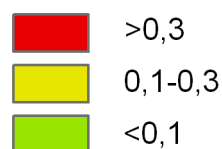


Abbildung 2: Dürrierisiko (links) und Erosionsrisiko für das Beispielgebiet. Die Karten dienen in der Allokationsprozedur als räumliche Referenz zur Abschätzung des standörtlichen Einflusses auf die Auswahl der FF. Die klimatische Wasserbilanz bezieht sich auf den Zeitraum 2071-2100 (A1B, WEREX IV, normal). Die Farben signalisieren hohes (rot), mittleres (gelb) und geringes (grün) Risiko.

Als Indikator für die FF-abhängige Bewertung des Dürrierisikos wurde der potentielle Wasserbedarf genutzt (Tabelle 2a). Daneben wurde das standortabhängige Erosionsrisiko basierend auf den ABAG Faktoren L und S (Tabelle 3a) ermittelt. Die FF-abhängige Bewertung des Erosionsrisikos erfolgte in Abhängigkeit des C-Faktors der ABAG. Dieser Prozess führte zu einem räumlich expliziten, d.h. je nach Zelleigenschaften variierenden Ranking der FF (Abbildung 1, ii).

Die standortabhängige Bewertung wurde in einem weiteren Schritt mit dem FF-abhängigen potentiellen Wasserbedarf (zur Anpassung des Dürrierisikos an die Landnutzung) und dem FF-abhängigen C-Faktor (zur Anpassung des Erosionsrisikos) kombiniert. Dafür wurden die zuvor im GIS ermittelten regionsbezogenen Wertespannen des Dürre- bzw. Erosionsrisikos jeweils in drei Klassen eingeteilt (s. Abbildung 2, Tabelle 2) und gegen den FF-abhängigen Wasserbedarf bzw. den FF-abhängigen C-Faktor in Verknüpfungsmatrizen aufgetragen. Ob eine FF in einer Zelle zulässig ist, wurde durch die Bewertung der FF (Wasserbedarf oder C-Faktor, hoch-mittel-gering) und des standortabhängigen Risikos (hoch-mittel-gering) entschieden (Tabelle 2b, 3b). Die Bewertung wurde derart gewählt, dass eine FF in einer Zelle unzulässig ist, sobald das Dürre- oder Erosionsrisiko in dieser Zelle hoch und der FF-abhängige Wasserbedarf bzw. der C-Faktor ebenfalls hoch ist.

Tabelle 2: In der Modellregion klassifizierte FF und das (a) Ranking der FF in Abhängigkeit des Dürrerisikos. (b) Kombination des FF-abhängigen mit dem standortabhängigen Dürrerisikos mit Hilfe einer ökologischen Verknüpfungsmatrix. Ja/Nein bezieht sich auf die Frage ob eine Allokation der jeweiligen FF gestattet ist.

(a)	FF	FF	Wasserbedarf [mm ha-1 a-1]	
	D6	Erbse - WW - WR - Hafer	738	Hoch
	L10	SM - SM - SM - WW	650	
	D9	SG _{GPS} - SM - WT _{GPS} - WW	615	
	D2	WRaps - WW - SM - SG	611	
	V6	WG - Klee/Kleegras - WR - SM - Hafer	600	
	V8	Kleegras - Kleegras - Hafer - WR - Erbse - SG	594	
	V5	Ackergras - SM - WT - SG	571	
	V10	SG _{GPS} - Luzerne - Luzerne - WW	571	
	V4	WRaps - WT - SG - Klee/Kleegras - WRaps - WT - WG -Lupine	571	
	D3	WRaps - WG - WR - KM - WT	571	
	V7	Klee/Kleegras - WW - Erbse - WRaps -WR - SG	562	
	L6	Erbse - WW - WG - Kart. - SG	557	
	L9	Hafer - Getreidemischung _{GPS} - WRaps - WW	556	
	L2	WRaps - WW - WG - WW	550	
	D5	WR - SM - SG - SB	550	
	D10	SI _{GPS} - SB - Hafer - WR	547	
	A1	Kleegras - Kleegras - Kleegras - Kleegras	545	Mittel
	L7	Kleegras - WW - SM - Ackerbohne - WR	544	
	V3	Erbse - WW - SM - SG	536	
	L3	WRaps - WW - SM - SG	536	
	D4	WRaps - WT - SG - Klee/Kleegras - WRaps - WR - WG	536	
	L1	WRaps - WW - WG	536	
	L8	Luzerne - WW - Kart. - WR - Ackerbohne - WT	533	
	D8	Luzerne - Luzerne - WR - SM - Lupine - WT	530	
	V1	WRaps - WW - WG	529	Gering
	D7	Klee/Kleegras - WW - Kart. - Erbse - WR - SB	526	
	L4	ZR - WW - SM - SG - WW - WG	515	
	D1	WRaps - WW - WG	508	
	V2	WRaps - WW - SM - SG	503	
	V9	SG _{GPS} - SM - WT _{GPS} - WR	501	
	L5	ZR - WW - WW	488	

		Standortabhängiges Dürrerisiko			
		Hoch	Mittel	Gering	
FF-abhängiger Wasserbedarf [mm ha-1 a-1]	Hoch	<530	Nein	Nein	Ja
	Mittel	530-546	Nein	Ja	Ja
	Gering	>546	Ja	Ja	Ja

Tabelle 3: In der Modellregion klassifiziertes FF mit dem (a) Ranking der FF in Abhängigkeit des Erosionsrisikos. (b) Kombination des FF-abhängigen mit dem standortabhängigen Erosionsrisiko mit Hilfe einer ökologischen Verknüpfungsmatrix. Die Matrix dient als Bewertungsgrundlage in der Allokationsprozedur. Ja/Nein bezieht sich auf die Frage ob eine Allokation der jeweiligen FF gestattet ist.

(a)	FF	FF	C-Faktor [-]	
	L10	SM - SM - SM - WW	0.232	Hoch
	V3	Erbse - WW - SM - SG	0.156	
	V5	Ackergras - SM - WT - SG	0.151	
	D5	WR - SM - SG - SB	0.138	
	V2	WRaps - WW - SM - SG	0.138	
	V6	WG - Klee/Kleegras - WR - SM - Hafer	0.128	Mittel
	V9	SG _{GPS} - SM - WT _{GPS} - WR	0.125	
	D2	WRaps - WW - SM - SG	0.123	
	D9	SG _{GPS} - SM - WT _{GPS} - WW	0.116	
	D8	Luzerne - Luzerne - WR - SM - Lupine - WT	0.112	
	L7	Kleegras - WW - SM - Ackerbohne - WR	0.107	
	L3	WRaps - WW - SM - SG	0.107	
	D7	Klee/Kleegras - WW - Kart. - Erbse - WR - SB	0.106	
	V10	SG _{GPS} - Luzerne - Luzerne - WW	0.103	
	D3	WRaps - WG - WR - KM - WT	0.102	
	V8	Kleegras - Kleegras - Hafer - WR - Erbse - SG	0.093	Gering
	L4	ZR - WW - SM - SG - WW - WG	0.090	
	V7	Klee/Kleegras - WW - Erbse - WRaps - WR - SG	0.087	
	D10	ST _{GPS} - SB - Hanf - WR	0.080	
	L5	ZR - WW - WW	0.076	
	D6	Erbse - WW - WR - Hafer	0.073	
	D4	WRaps - WT - SG - Klee/Kleegras - WRaps - WR - WG	0.071	
	V4	WRaps - WT - SG - Klee/Kleegras - WRaps - WT - WG -Lupine	0.067	
	L6	Erbse - WW - WG - Kart. - SG	0.065	
	L8	Luzerne - WW - Kart. - WR - Ackerbohne - WT	0.065	
	D1	WRaps - WW - WG	0.065	
	L2	WRaps - WW - WG - WW	0.058	
	L9	Hafer - Getreidemischung _{GPS} - WRaps - WW	0.054	
	V1	WRaps - WW - WG	0.053	
	L1	WRaps - WW - WG	0.051	
	A1	Kleegras - Kleegras - Kleegras - Kleegras	0.036	

	Standortabhängiges Erosionsrisiko				
	Hoch	Mittel	Gering		
FF-abhängiger C-Faktor [-]	Hoch	> 0.13	<0.3	0.1-0.3	>0.1
	Mittel	0.1-0.13	Nein	Nein	Ja
	Gering	<0.1	Nein	Ja	Ja

Die **Allokation der FF** erfolgt automatisiert unter Verwendung des zuvor ermittelten Rankings der FF in Abhängigkeit der ökonomischen Vorzüglichkeit, welches als Anfangsinformation zum Starten des Prozesses gebraucht wird. Das Testen der FF auf ihre Eignung für die jeweilige Zelle beginnt daher mit der an erster Stelle befindlichen FF. Die Rankings zur standörtlichen Vorzüglichkeit werden programmtechnisch verknüpft mit den unter 2.1 und 2.2 erstellten GIS Layern. Der Allokationsprozess ist zweigeteilt. Die erste Schleife basiert auf Risikofaktoren und ordnet jeder Zelle eine FF zu. Die nachgeschaltete zweite Schleife dient der Arrondierung hinsichtlich der Bewirtschaftungseinheiten (Feldblöcke) (Abbildung 3).

Die erste Schleife ist aus unterschiedlichen Abfragen aufgebaut. Die nach ökonomischer Vorzüglichkeit gelisteten FF-Klassen werden auf ihre Standorteignung geprüft. Dies beginnt mit der Prüfung auf die Übereinstimmung der Bodenregion (Lösshügelland, Erzgebirgsvorland, Erzgebirge). Sollte die an Platz 1 positionierte FF nicht mit der der Zelle zugeordneten Bodenregion übereinstimmen, so wird diese eliminiert und die an Position 2 platzierte FF durchläuft die gleiche Prüfung. Diese Iteration wird so lange durchgeführt

bis eine passende FF gefunden ist. Dieses Auswahlprinzip wird bei jedem weiteren Prüfungsschritt angewendet. Die nächsten Prüfungsschritte beziehen sich auf das Dürre- und weiterhin auf das Erosionsrisiko (s. Abbildung 2a). Durch das Auftreten von gleich bewerteten FF ist es möglich, dass mehrere FF die einzelnen Prüfschritte passieren. Als weiteres Prüfkriterium wurde daher der Vergleich mit der Vor-FF eingeführt, da angenommen wird, dass bei vergleichbar abschneidenden FF ein Persistenzfaktor das Weiterführen der einmal etablierten Landnutzung bedingt. Für den Fall, dass auch dies nicht zur Selektion einer einzigen FF geführt haben sollte, wurde eine Zufallsauswahl als letzter Prüfschritt eingeführt. Am Ende dieses ersten Allokationsschrittes, der auf der standörtlichen Vorzüglichkeit beruht, wurde jeder Zelle eine FF zugewiesen. Als Ergebnis ist ein Nebeneinander von Zellen unterschiedlicher Landnutzung möglich. Da in der Realität eine einheitliche FF innerhalb einer Bewirtschaftungseinheit (Feldblock) zu erwarten ist, muss dieser auch eine einheitliche FF zugewiesen werden. Aus diesem Grund wurde ein zweiter Allokationsschritt (Abbildung 2b) eingeführt. Im Verlauf von Schritt b wird jedem Feldblock gemäß der FF mit dem größten Flächenanteil innerhalb des Feldblocks nur eine FF zugewiesen.

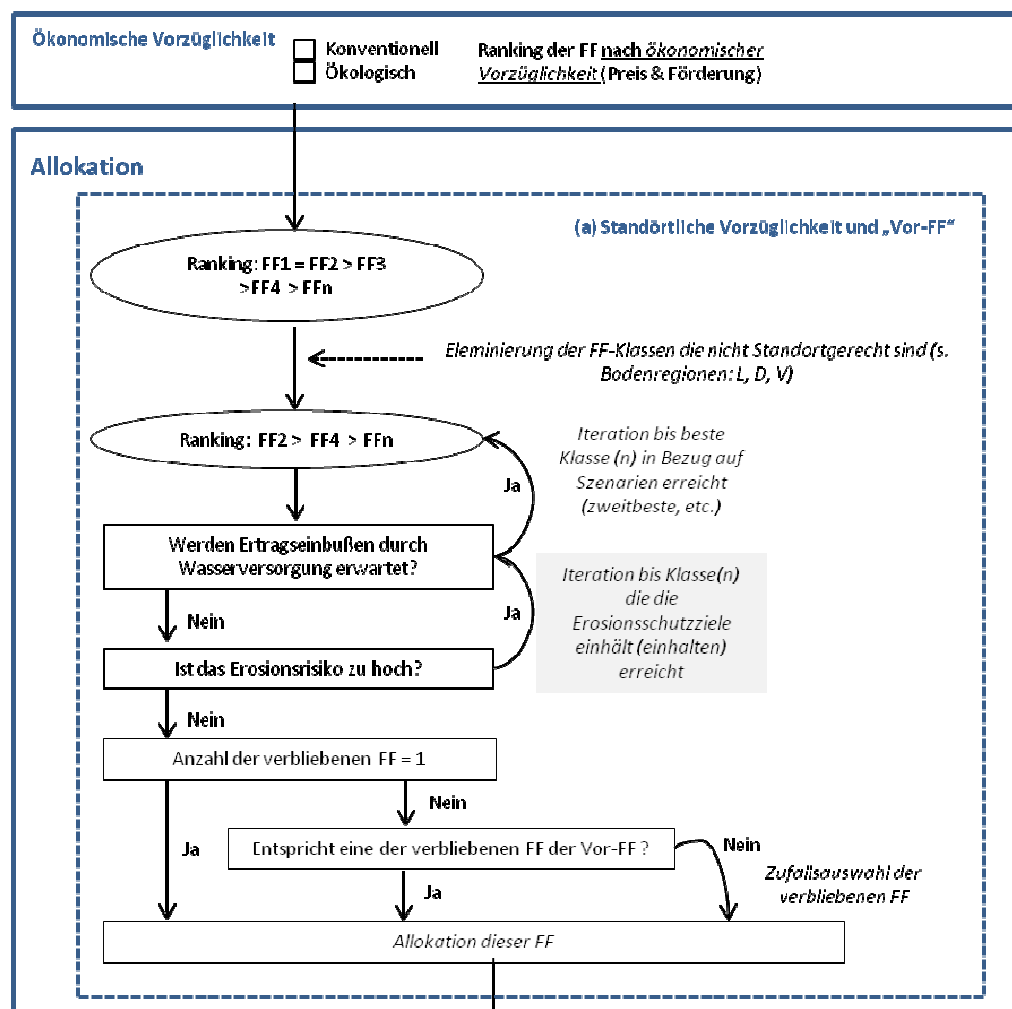


Abbildung 3: Darstellung zur zweistufigen (a und b) Allokation der Fruchtfolgen (FF) im Anschluss an die Vorauswahl der FF basiert auf der ökonomischen Vorzüglichkeit.

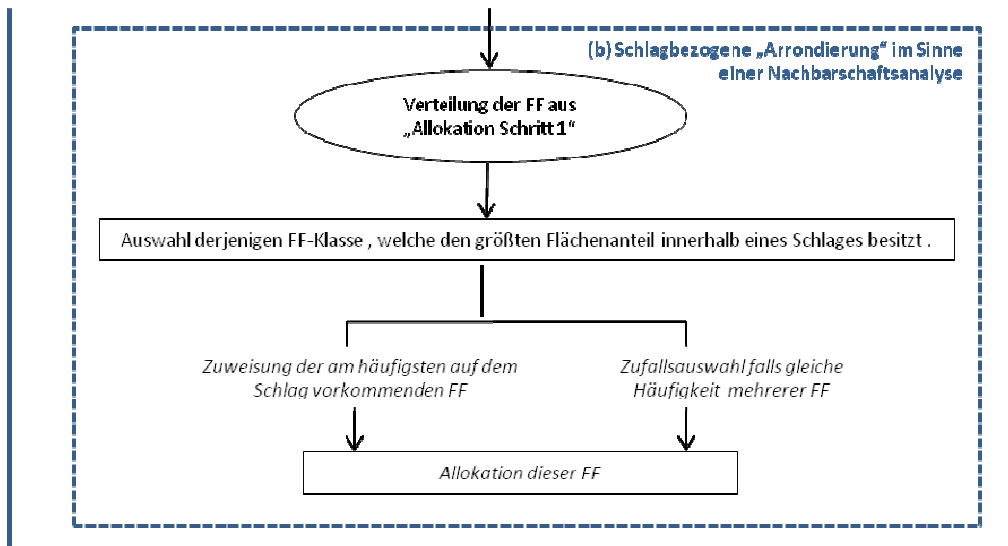


Abbildung 3 (Fortsetzung):

Die technische Umsetzung des Entscheidungsalgorithmus erfolgte in der Skriptsprache PHP. Die einzelnen Schritte sind in modular aufgebaute PHP-Skripte unterteilt (Tabelle 4).

Tabelle 4: Schritte zur technischen Umsetzung der Allokationsprozedur.

1. Einlesen der einzelnen ASCII-Dateien des Untersuchungsgebietes „Lommatzscher Pflege“ (*asg.txt*, *feldbloecke.txt*, *ero_risk.txt* usw.)
2. Speicherung der Daten in einer MySQL-Datenbank (Eine Tabelle pro ASCII-Datensatz):
01_asg_25m_tabelle_fuellen.php
02_duerrerrisiko_25m_tabelle_fuellen.php
03_ero_risk_25m_tabelle_fuellen.php
04_fruchtfolgen_25m_tabelle_fuellen.php
05_feldbloecke_25m_tabelle_fuellen.php
3. Zusammenfassung der einzelnen MySQL-Tabellen zu einer einzigen Tabelle um die weitere Verarbeitung der Daten zu vereinfachen
06_lommatzsch_25m_tabelle_fuellen.php
4. Einlesen der Fruchtfolgenübersicht mit Werten zum Dürre- und Erosionsrisiko in eine eigene MySQL-Tabelle
07_ff_duerre_erosions_tabelle_fuellen.php
5. Prüfung der aktuellen FF anhand variabler Dürre- und Erosionsrisikowerte (anpassbar an das jeweils zu erwartende Klimawandel-Szenario)
08_ff_optimierung.php
6. Prüfung, welche Fruchtfolge für den Großteil der Zellen jedes Feldblockes geeignet ist und Festlegung dieser für den gesamten Feldblock
09_ff_feldbloecke_vereinheitlichen.php
10_feldblockzellen_zaehlen.php
11_fruchtfolge_fuer_feldblock_festlegen.php
7. Übertragung der neuen Fruchtfolgenverteilung auf die Haupttabelle
12_ff_pro_zelle_vereinheitlichen.php
8. Erstellung einer GIS-lesbaren ASCII-Datei aus der Haupttabelle der MySQL-Datenbank
13_DB2Ascii.php

2.3 Fokusgebiet

Die Methodik zur Allokation von FF wurde in einem Fokusgebiet getestet. Das quadratische, 10 x 10 km große Teilgebiet befindet sich im Bereich der Lommatzcher Pflege/Großenhainer Pflege im Norden der REGKLAM Region (Abbildung 4) das zum mittelsächsischen Lösshügelland (LfULG, 2001) und damit zur Bodenregion der Lössböden (L) gehört und deren Fläche gegenwärtig mit ca. 75% durch intensive landwirtschaftliche Nutzung geprägt ist (Hanspach and Porada, 2009). Gemäß der aktuellen Rasterzellengröße von 25 x 25 m besteht die betrachtete Teilregion aus 32.400 Zellen. Das Untersuchungsgebiet wurde ausgewählt da erwartet wird, dass in dieser Region klimawandelbedingte Risiken wie Wasser- und Dürreerosion in zunehmendem Maße die landwirtschaftliche Produktion beeinträchtigen. Es ist daher das Ziel diese Region so zu entwickeln, dass die Klimawandelrisiken verringert werden und die nachhaltige Bereitstellung von v.a. agrarischen und regulierenden Ökosystemdienstleistungen (ÖSL) gefördert wird (RP, 2009).

Die für die Beispielregion erstellten Eingangsdaten zum Dürre- und Erosionsrisiko sind in Abbildung 2 dargestellt. Die Ackerfläche ist unterteilt in 289 Feldblöcke. Zugrunde liegende Szenario-Annahmen sind die gegenwärtigen bzw. 5-jährigen Marktpreise und Förderbedingungen und die erwartete Klimawandelbedingte Änderung des Parameters klimatische Wasserbilanz.

Das Ergebnis der Allokationsprozedur wird im ASCII Format ausgegeben und manuell in das online verfügbare Entscheidungsunterstützungssystem GISCAME (Fürst et al. 2012; Koschke et al., 2013) importiert. Dort können die Landnutzungskarten (BAU und Simulation) unter Verwendung eines voreingestellten, automatisierten Ansatzes (s. Koschke et al., 2013) hinsichtlich der Bereitstellung von regional bedeutsamen ÖSL bewertet werden.

3. Anwendung des Entscheidungsbaumes in einem Fokusgebiet

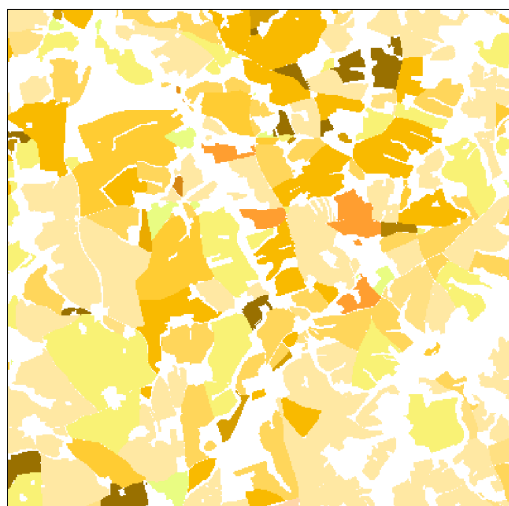
3.1 Szenario-Entwicklung mittels des Entscheidungsbaums

Die räumliche Auflösung der Daten zur klimatischen Wasserbilanz schlägt sich in der Abschätzung des Dürreerisikos nieder (Abbildung 2). Die Grenzen zwischen Gebieten hohen (rot) und mäßigen (gelb) Dürreerisikos orientieren zum Teil sich an den Zellgrenzen der Eingangsdaten. Hier wirkt die räumliche Auflösung als limitierender Faktor für eine räumlich explizite und hochaufgelöste Simulation der möglichen zukünftigen Landnutzung. Ein hohes Dürreerisiko betrifft im Beispielgebiet nur wenige Teilbereiche im Osten und Nordosten. Dies ist auf die überwiegend guten Bodenqualitäten (Löss) mit einer günstigen Bodentextur und einer daraus resultierenden überdurchschnittlichen nutzbaren Feldkapazität zurückzuführen (Abbildung 2, links).

Das Untersuchungsgebiet ist durch hohe mittlere Hangneigungen und Löss-dominierte Böden charakterisiert. Da das Erosionsrisiko durch Wasser vor allem in Bereichen hoher Hangneigung erhöht ist und Böden mittlerer Korngrößen, v.a. Löss besonders betroffen sind ist das Beispielgebiet flächendeckend von Erosion bedroht (Abbildung 2, rechts).

Nachdem alle Eingangsparameter der Allokationsprozedur vorbereitet und der Prototyp programmiert war, konnten die Auswirkungen der Bewertung simuliert werden. Das Ergebnis der Simulation im Vergleich zur Ausgangssituation (BAU) ist in Abbildung 4 dargestellt. Die größten Änderungen betreffen v.a. die FF A1 (Klee gras), deren Flächenanteil auf 0 % zurück gegangen ist (Tabelle 4).

BAU (Ausgangssituation)



Simulationsergebnis

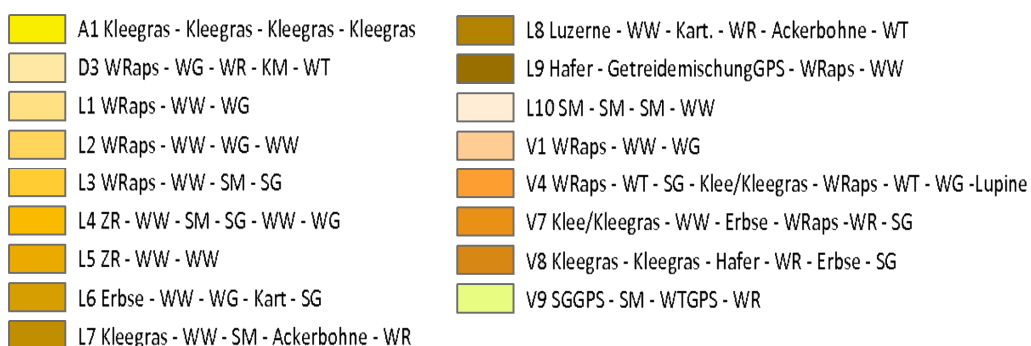
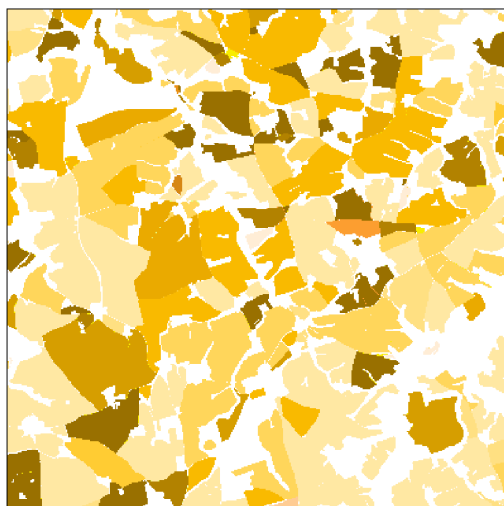


Abbildung 4: Links: Gegenwärtige Verteilung der FF-Klassen (Ausgangssituation, BAU). Rechts: Ergebnis der FF-Klassenallokation. Unten: Legende der im Beispielgebiet vorkommenden FF.

Tabelle 5: Übersicht über die Flächenanteile der FF in der Ausgangssituation (BAU) und in der Simulation.

Fruchtfolge (FF)	BAU	Simulation
	[%]	[%]
A1 Klee gras - Klee gras - Klee gras - Klee gras	1.4	0.0
D3 WRaps - WG - WR - KM - WT	17.1	0.3
L1 WRaps - WW - WG	36.7	36.5
L2 WRaps - WW - WG - WW	2.7	2.7
L3 WRaps - WW - SM - SG	13.7	19.3
L4 ZR - WW - SM - SG - WW - WG	8.0	1.2
L5 ZR - WW - WW	14.0	16.1
L6 Erbse - WW - WG - Kart - SG	0.2	4.2
L7 Klee gras - WW - SM - Ackerbohne - WR	0.6	6.2
L8 Luzerne - WW - Kart. - WR - Ackerbohne - WT	0.1	0.0
L9 Hafer - GetreidemischungGPS - WRaps - WW	0.2	2.6
L10 SM - SM - SM - WW	3.0	9.7
V1 WRaps - WW - WG	0.0	0.5
V4 WRaps - WT - SG - Klee/Klee gras - WRaps - WT - WG -Lupine	0.2	0.2
V7 Klee/Klee gras - WW - Erbse - WRaps -WR - SG	2.0	0.4
V8 Klee gras - Klee gras - Hafer - WR - Erbse - SG	0.0	0.0
V9 SGGPS - SM - WTGPS - WR	0.1	0.1

3.2 Integrierte Landschaftsbewertung mittels GISCAM

Das Ergebnis der in GISCAM importierten Layer ist in Abbildung 5 dargestellt. Die Bewertungsspinne gibt Auskunft über die Bereitstellung von ÖSL für die landwirtschaftlich genutzten Flächen im Beispielgebiet im Vergleich zwischen BAU und Simulation. Während die Regulation des Dürrerisikos und der Bodenerosionsschutz verbessert sind, ändern sich die Einkünfte aus landbasierter Produktion und die Bereitstellung von Nahrungsmitteln und Futter, sowie Biomasse kaum.

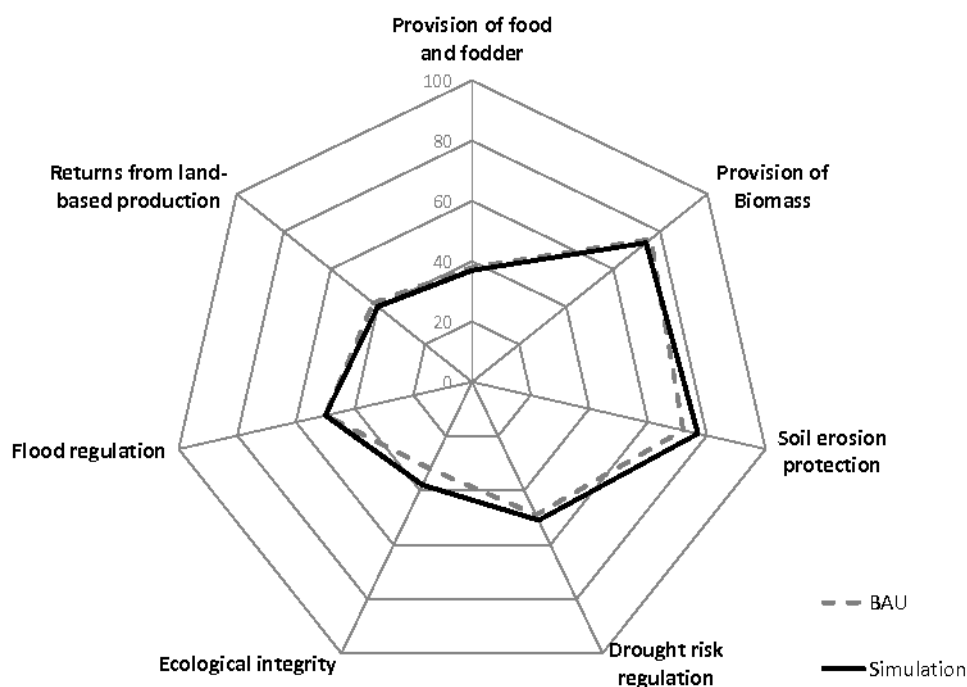


Abbildung 5: Ergebnis der Bewertung der Landnutzungsmuster in GISCAM für die Ausgangssituation (BAU) und die Simulation.

4. Diskussion und Zukünftige Weiterentwicklung

Die Entscheidungen von Landnutzern und -Bewirtschaftern basieren auf einem sehr viel komplexeren Set an Kriterien und Treibern als dies hier dargestellt werden konnte. Unterschiedliche persönliche Motivationen, fachliche Hintergründe, Altersstruktur innerhalb des Betriebes und Bewirtschaftungsfähigkeiten des Betriebsleiters etc. spielen eine große Rolle. Für Anwendungen auf Landschaftsebene wie im vorgestellten Fall können solche Faktoren i.d.R. aufgrund der fehlenden Datenbasis nicht berücksichtigt werden. Zur Integrierung der Treiber wurde aus Gründen der Praktikabilität und Transparenz eine Entscheidungsbaumstruktur gewählt mit Hilfe derer versucht wurde den möglichen Einfluss von einigen wenigen Haupttreibern des landwirtschaftlichen Landnutzungswandels mit Hilfe eines qualitativen Ansatzes zu skizzieren. Problematisch ist die räumliche Auflösung insbesondere der klimatischen Wasserbilanz. Die Rasterzellen mit den modellierten Werten besitzen eine Größe von 500 m. Diese können zu artifiziellen Mustern der FF-Allokation führen.

Da durch den Allokationsprozess eine Bevorzugung von ökonomisch vorzüglichen FF befördert wird (s. Ergebnis in Tabelle 5) ist das in Abbildung 5 dargestellte Ergebnis kritisch zu hinterfragen. Es ist möglicherweise auf die unterschiedlichen Bewertungsansätze zur

Ermittlung der Einkünfte aus landbasierter Produktion in GISCAMe einerseits und der ökonomischen Vorzüglichkeit im Allokationsprozess andererseits zurückzuführen. Bei ersterem wird als Indikator der Deckungsbeitrag der Fruchtarten, bei letzterem der Marktpreis der Fruchtarten verwendet. Die Verwendung unterschiedlicher Indikatoren kann zu unterschiedlichen Ergebnissen bei der ökonomischen Bewertung der FF führen und Bedarf weitergehender Analysen.

Mit Hilfe des Allokationsmoduls kann der Anwender unter Einbeziehung von einfachen ökonomischen Szenarien die Auswirkungen von unterschiedlichen Treibern des Landnutzungswandels simulieren und visualisieren. In einem nächsten Schritt soll der Prototyp ein Webinterface erhalten, über das der Nutzer die zur Verarbeitung nötigen ASCII-Dateien hochladen, das Programm starten und die Ergebnis-Datei wieder herunterladen kann. Außerdem wäre über ein solches Webinterface die Eingabe variabler Dürre- und Erosionsrisikowerte möglich, um ein Durchspielen verschiedener Klimaszenarien zu vereinfachen. Dies ist im Moment noch nicht möglich. Im Rahmen der Weiterentwicklung des Prototyps wäre zudem denkbar und wünschenswert, diesen Entscheidungsbaum in das online verfügbare Entscheidungsunterstützungssystem GISCAMe (Fürst et al. 2012; Koschke et al., 2013) zu integrieren. Beispielhaft konnte demonstriert werden, dass sich daraus für den Nutzer der Vorteil ergibt auf Basis von visualisierten und bewerteten Landnutzungsszenarien mit Experten aus dem Bereich Landwirtschaft mögliche Konsequenzen des Klimawandels auf die FF-Gestaltung zu diskutieren. In GISCAMe könnte der Prototyp zum Impact Assessment von Treibern des Landnutzungswandels (Klimaparameter, Sozioökonomische Kennziffern, etc.) und mithin zur Erstellung von Landnutzungsszenarien verwendet werden.

Die vorgestellte Methode ist auf die Analyse von Ackerflächen beschränkt. Die FF-Klassen können jedoch in das bestehende Landnutzungsdatenset EuroMap LandCover (EMLC) integriert werden, wodurch in GISCAMe (Fürst et al., 2010) eine unmittelbare, automatisierte, integrierte Bewertung der produzierten Landnutzungsmuster im Hinblick auf die Bereitstellung von ÖSL auf Landschaftsebene möglich wäre. Die Integration der hier erzeugten Ergebnisse muss im Moment noch manuell durchgeführt werden.

5. Literatur

- DIN 19708, 2005. Bodenbeschaffenheit - Ermittlung der Erosionsgefährdung von Boden durch Wasser mit Hilfe der ABAG. DIN Deutsches Institut für Normierung e.V., Februar 2005, Berlin (Beuth).
- Fürst, C., Lorz, C., Vacik, H., Potocic, N. and Makeschin, F., 2009. How to Support Forest Management in a World of Change: Results of Some Regional Studies. *Environmental Management*, 1-12.
- Fürst, C., König, H., Pietzsch, K., Ende, H. and Makeschin, F., 2010. Pimp your landscape - a generic approach for integrating regional stakeholder needs into land use planning. *Ecology and Society* 15(3): 34, Available from: <http://www.ecologyandsociety.org/vol15/iss13/art34/>.
- Fürst, C., Lorz, C. and Makeschin, F., 2011. Integrating land management aspects in the impact assessment of land cover changes on Ecosystem Services. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management* 7, 168-181, DOI: 110.1080/21513732.21512011.21611119.

- Fürst, C., Frank, S., Witt, A., Koschke, L. and Makeschin, F., 2012. Assessment of the effects of forest land use strategies on the provision of ecosystem services at regional scale. *Journal of Environmental Management*.
- Fürst, C., Pietzsch, K., Frank, S., Witt, A., Koschke, L. and Makeschin, F., 2012. How to better consider sectoral planning information in regional development planning - example afforestation and conversion. *Journal of Environmental Planning and Management*.
- Lorenz, M., Fürst, C., Thiel, E., in press. A methodological approach for deriving regional crop rotations as basis for the assessment of the impact of agricultural strategies using soil erosion as example. *Journal of Environmental Management*.
- Lorenz, M. (2011): Bewertungsgrundlagen in der Landwirtschaft - ein Klassifikationsansatz für die landschaftsbezogene Bewertung. IN: Das Projekt KLIMAfit in der Planungsregion Oberes Elbtal/Osterzgebirge, Regionaler Planungsverband Oberes Elbtal/Osterzgebirge, 192 S.
- LfULG, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, 2001. Freistaat Sachsen - Naturregionen und Naturräume. [Online im Internet] URL: http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/wasser/download/1_3_naturreg_raum_A3.pdf [Stand: 11.07.2012]
- LfULG, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, 2009. Klimawandel und Landwirtschaft - Fachliche Grundlage für die Strategie zur Anpassung der sächsischen Landwirtschaft an den Klimawandel, Dresden.
- LFULG, 2012, <http://www.landwirtschaft.sachsen.de> (Stand: 19.07.2012)
- Hanspach, D., Porada, H.T., 2009. Großenhainer Pflege. Eine landeskundliche Bestandsaufnahme im Raum Großenhain und Radeburg - Landschaften in Deutschland. Böhlau-Verlag, Köln/Weimar/Wien 397.
- Koschke, L., Fürst, C., Lorenz, M., Witt, A., Frank, S., Makeschin, F., 2013. The integration of crop rotation and tillage practices in the assessment of ecosystem services provision at the regional scale. *Ecological Indicators*. 32, 157-171.
- RP, 2009. Regionalplan 1. Gesamtfortschreibung 2009, in der Fassung des Satzungsbeschlusses VV 12/2008 vom 15.12.2008, des Nachtragsbeschlusses zur Satzung VV 02/2009 vom 25.02.2009 und des Genehmigungsbescheides vom 28.08.2009.
- Schindler, 2010. Bewertung der Relevanz und der Umsetzbarkeit von Anpassungsstrategien an den Klimawandel aus der Sicht sächsischer Acker-, Obst- und Weinbauunternehmen. Diplomarbeit.
- Wischmeier, W.H., Smith, D.D., 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses, A Guide to Conservation Planning. Agric. Handbk No. 537, US Dept. Agric. Washington D.C., 58 S.