

**Institution**

Center for Environmental Systems Research (CESR)  
Universität Kassel

**Projekttitle**

Auswirkungen des Globalen Wandels auf Ökosystemdienstleistungen in Hessen  
- Abschlussbericht –

**Laufzeit**

01.12.2010 - 30.06.2015

**Projektleitung**

PD. Dr. Rüdiger Schaldach  
Prof. Dr. Andreas Ernst

**Projektbearbeitung und Durchführung**

Jan Volland, Rebekka Hüfner, Jan Schüngel

**Auftraggeber**

Fachzentrum Klimawandel Hessen  
im Hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie

**Projektbetreuung**

Fachzentrum Klimawandel Hessen

Kassel, Februar 2016

---

## Inhaltsverzeichnis

<b>0</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>6</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>8</b>
1.1	Globaler Wandel und Ökosystemdienstleistungen .....	8
1.2	Projektziele.....	9
1.3	Aufbau und Durchführung des Projekts.....	9
1.4	Untersuchungsregion Hessen .....	11
<b>2</b>	<b>Ökosystemdienstleistungen und deren Bewertung.....</b>	<b>13</b>
2.1	Definitionen.....	13
2.2	Kategorisierungsansätze von Ökosystemdienstleistungen.....	13
2.3	Methoden zur Bewertung von Ökosystemdienstleistungen .....	16
<b>3</b>	<b>Bewertung von ÖSDL und Akzeptanz künftiger Änderungen .....</b>	<b>18</b>
3.1	Kausales Verständnis von Ökosystemdienstleistungen .....	18
3.2	Fragebogen zur Akzeptanz und Bewertung von Ökosystemdienstleistungen ...	22
3.3	Zusammenführung der Ergebnisse aus Interview und Fragebogen .....	33
<b>4</b>	<b>Daten und Modelle zur Analyse von Ökosystemdienstleistungen .....</b>	<b>38</b>
4.1	Räumlicher Analyserahmen und Daten zur Landnutzung .....	38
4.2	Wetterdaten .....	39
4.3	Bodendaten.....	39
4.4	Simulation von Ernteerträgen.....	40
4.5	Berechnung der Kohlenstoffspeicherung und Nährstoffretention .....	42
4.6	Landschaftskapazität .....	45
4.7	Simulation von Landnutzungsänderungen .....	47
<b>5</b>	<b>Analyse der aktuellen Ökosystemdienstleistungen in Hessen .....</b>	<b>49</b>
5.1	Ernährung und Bioenergie.....	49
5.2	CO <sub>2</sub> -Regulation .....	51
5.3	Nährstoffregulation .....	53
5.4	Refugium-Funktion .....	54
5.5	Ästhetische Information und Freizeit.....	55
5.6	Gegenüberstellung von Angebot und Nachfrage von ÖSDL.....	56
<b>6</b>	<b>Entwicklung von Ökosystemdienstleistungen unter Globalem Wandel .....</b>	<b>59</b>
6.1	Ernährung und Bioenergie.....	59
6.2	Landnutzungsszenarien .....	62

---

6.3	Simulationsergebnisse .....	64
6.4	Auswirkungen auf CO <sub>2</sub> -Regulation .....	66
6.5	Auswirkungen auf Nährstoffregulation.....	68
6.6	Auswirkungen auf Refugium-Funktion, Ästhetische-Information und Freizeit	70
6.7	Auswirkungen der Szenarien auf Ökosystemdienstleistungen .....	73
<b>7</b>	<b>Schlussfolgerungen .....</b>	<b>74</b>
7.1	Wertschätzung von Ökosystemdienstleistungen.....	74
7.2	Anpassung in der Landwirtschaft.....	75
7.3	Anpassung im Bereich Landnutzung .....	76
7.4	Interdisziplinärer Forschungsansatz .....	77
<b>8</b>	<b>Ausblick sowie Forschungs- und Untersuchungsbedarf.....</b>	<b>78</b>
<b>9</b>	<b>Referenzen.....</b>	<b>79</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau und Durchführung des Projekts.....	10
Abbildung 2: Erstellte Struktur-Lege-Technik eines Probanden .....	19
Abbildung 3: Verbindungen zwischen den Ökosystemen .....	20
Abbildung 4: Nennungen der einzelnen Ökosystemdienstleistungen.....	21
Abbildung 5: Kartoffelgrafik zur Verortung der Milieus nach sozialer Lage und Grundorientierung .....	23
Abbildung 6: Auswahl der hessischen Gemeinden.....	25
Abbildung 7: Einschätzung des Wertes von Funktionen der Natur .....	27
Abbildung 8: Einschätzung des Wertes von Funktionen der Natur nach Informationen.....	28
Abbildung 9: Veränderungen der ÖSDL in Gegenwart und Zukunft.....	30
Abbildung 10: Einteilung der Probanden in Sinus Milieus.....	32
Abbildung 11: Kopplung der Ergebnisse des Fragebogens und des Leitfrageninterviews.....	33
Abbildung 12: Nachfrage nach der Ökosystemdienstleistungen Freizeit in Hessen heute (links) und in Zukunft (2030/50) (rechts). .....	35
Abbildung 13: Nachfrage nach der ÖSDL Ästhetische Information heute (links) und in der Zukunft (2030/50) (rechts) .....	36
Abbildung 14: Nachfrage nach der Ökosystemdienstleistung Refugium-Funktion heute (links) und in Zukunft (rechts).....	37
Abbildung 15: Landnutzung in Hessen (250 x 250 m Raster).....	38
Abbildung 16: Teileinzugsgebiete zur Berechnung der Stickstoffretention. ....	44
Abbildung 17: Schematische Vorgehensweise der Bewertungsmethode für Hessen: (1) Paarweiser Vergleich der Landbedeckungs-/nutzungstypen hinsichtlich ihrer Kapazität zur Bereitstellung einer betrachteten ÖSDL (oben); (2) Überprüfung der Konsistenz der aufgestellten Bewertungsmatrix; (3) Normalisierung der Ergebnisse und Berechnung des Rankings.....	45
Abbildung 18: Differenz zwischen simulierten Erträgen und statistischen Ertragsdaten für Silagemais auf Landkreisebene. ....	50
Abbildung 19: Kohlenstoffspeicherung in den verschiedenen Landbedeckungstypen [ $10^6$ t].	51
Abbildung 20: Biologische Kohlenstoffspeicherung auf Landkreisebene.....	52
Abbildung 21: Angebot der Ökosystemdienstleistungen Refugium-Funktion in Hessen .....	54
Abbildung 22: Angebot der Ökosystemdienstleistungen Freizeit (links) und Ästhetische Information (rechts).....	55

---

Abbildung 23: Angebot (links) und Nachfrage (rechts) der ÖSDL Freizeit in Hessen. ....	56
Abbildung 24: Angebot und Nachfrage der ÖSDL Freizeit in der Region Frankfurt.....	57
Abbildung 25: Simulierte Ernteerträge für Weizen und Raps in Hessen [t/ha] für den Basiszeitraum 2000 sowie für die Zeitscheiben 2050 und 2100. Die schwarzen Rechtecke geben den Mittelwert über die verwendeten Klimarealisationen an, die Linien die jeweilige Spannbreite zwischen dem niedrigsten und größten Simulationsergebnis. ....	59
Abbildung 26: Simulierte Ernteerträge für Silagemais und Kartoffeln [t/ha] in Hessen für den Basiszeitraum 2000 sowie für die Zeitscheiben 2050 und 2100. Die schwarzen Rechtecke geben den Mittelwert über die verwendeten Klimarealisationen an, die Linien die jeweilige Spannbreite zwischen dem niedrigsten und größten Simulationsergebnis. ....	60
Abbildung 27: Basiskarte für Hessen (links) und mit LandSHIFT berechnete zukünftige Landnutzung für das Bioenergieszenario (rechts). Die Feldfrüchte sind in der Klasse Ackerland zusammenfasst. Nicht genutztes Ackerland wird als Brachfläche dargestellt. ....	65
Abbildung 28: Anteil der einzelnen Landbedeckungstypen an der Bereitstellung der ÖSDL Refugium-Funktion im Basisjahr 2000. ....	70
Abbildung 29: Anteil der einzelnen Landbedeckungstypen an der Bereitstellung der ÖSDL Ästhetik-Information im Basisjahr 2000. ....	71
Abbildung 30: Anteil der einzelnen Landbedeckungstypen an der Bereitstellung der ÖSDL Freizeit im Basisjahr.....	71
Abbildung 31: Anteil der unterschiedlich genutzten Brachfläche (Belassen der Fläche, Grünland, KUP und Mischwald an der Bereitstellung der ÖSDL Refugium-Funktion, Ästhetische-Information und Freizeit im BAU und Ökolandbau-Szenario. ....	72

---

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Flächennutzung in Hessen: Differenziert nach Landnutzungstypen Stand 2011 (Datengrundlage: HSL, 2012). .....	12
Tabelle 2: Kategorisierung von Ökosystemfunktionen nach de Groot (2006).....	15
Tabelle 2, Fortsetzung. ....	16
Tabelle 3: Kohlenstoffgehalte der unterschiedlichen Landbedeckungs-/Landnutzungstypen [t/ha].....	42
Tabelle 4: Bewertung der Landbedeckungstypen hinsichtlich ihrer Kapazität zur Bereitstellung der ÖSDL Refugium-Funktion, Ästhetik Information und Freizeit. ....	46
Tabelle 5: Vergleich der statistischen und simulierten Erträge für Mais in Hessen.....	49
Tabelle 6: Retention von Stickstoff auf Ebene der Teileinzugsgebiete.....	53
Tabelle 7: Mit LandSHIFT simulierte Landnutzungsänderungen.....	64
Tabelle 8: Biologische Kohlenstoffspeicherung durch Landnutzung unter den Szenarien [ $10^6$ t].....	66
Tabelle 9: Biologische Kohlenstoffspeicherung für alternative Nutzung des Flächenüberhangs [ $10^6$ t] .....	67
Tabelle 10: Nährstoffretention auf Ebene der Teileinzugsgebiete in den Szenarien.....	69

---

## 0 Zusammenfassung

**Hintergrund:** Das Phänomen des globalen Wandels bezeichnet die Veränderungen des Systems Erde durch den Menschen und umfasst dabei Vorgänge von globaler Dimension und regionaler Wirkung. Als zentrale Teilaspekte gelten der anthropogen verursachte Klimawandel sowie Nutzungsänderungen der Landoberfläche durch den Menschen als Resultat eines komplexen Wirkungsgefüges von politischen, sozialen, kulturellen und ökonomischen Einflussgrößen. Beide Prozesse führen zu einer Beeinflussung der Funktionalität von terrestrischen Ökosystemen und damit zu einer Veränderung der bereitgestellten Ökosystemdienstleistungen (ÖSDL).

**Ziele:** Ziel des Projekts war es, durch die Kombination von umweltpsychologischen und umweltnaturwissenschaftlichen Methoden eine disziplinübergreifende Betrachtung des Bestands und der Nachfrage nach Ökosystemdienstleistungen in Hessen vorzunehmen. Dabei wurden sowohl die aktuelle Situation als auch künftige Veränderungen durch Prozesse des globalen Wandels betrachtet. In diesem Kontext wurden dann Anpassungsmaßnahmen an einen anthropogen verursachten Klimawandel in den Bereichen der Landnutzung und Landwirtschaft umrissen.

**Methoden:** Im umweltpsychologischen Teilbereich des Projekts wurde mit Hilfe von Leitfrageninterviews zunächst der Kenntnisstand der hessischen Bevölkerung zum Thema ÖSDL exemplarisch untersucht. Aufbauend auf den Ergebnissen wurde dann mit einem standardisierten Fragebogen die Bewertung der vorhandenen ÖSDL durch die Bevölkerung und deren Akzeptanz hinsichtlich zu erwartender Änderungen in der Zukunft erfasst. Die Ergebnisse der Befragung wurden nach Lebensstilen analysiert und räumlich explizit mit Hilfe der Sinus Milieus in Hessen verortet.

Der umweltnaturwissenschaftliche Teilbereich des Projekts umfasst die räumliche Inventarisierung des aktuellen Angebots von ÖSDL mit Hilfe eines Geographischen Informationssystem (GIS) sowie verschiedenen Umweltmodellen und Bewertungsmethoden. Folgende ÖSDL wurden dabei betrachtet: (1) Ernährung und Bioenergie (Ernteerträge wichtiger Feldfrüchte), (2) CO<sub>2</sub>-Regulation (biologische Kohlenstoffspeicherung in Böden und Vegetation), (3) Nährstoffregulation/Wasserqualität (Nährstoffretention), (4) Refugium-Funktion (Natürliche Habitate, Landnutzung), (5) Ästhetische Information (Landnutzung) und (6) Freizeit (Landnutzung). Für jede dieser ÖSDL wurde ein Indikator als beschreibende Größe herangezogen (in Klammern abgegeben). Ernteerträge für Weizen, Raps, Kartoffel und Silage-Mais wurden mit dem prozessbasierten Simulationsmodell DNDC ermittelt, für die Bestimmung der biologischen Kohlenstoffspeicherung und der Nährstoffretention wurde das GIS-basierte Modell INVEST verwendet. Für die Bewertung der Habitate sowie der Landschaftsästhetik und Freizeit wurde das Konzept der Landschaftskapazität aufgegriffen und weiterentwickelt. Ausgehend von dieser Inventarisierung wurden dann Szenarien einer sich ändernden Landnutzung und des anthropogenen Klimawandels hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf ÖSDL untersucht. Die Simulation von Landnutzungsänderungen erfolgte mit dem Landnutzungsmodell LandSHIFT. Zur Analyse der Auswirkungen des Klimawandels auf Ernteerträge und die Nährstoffretention wurden verschiedene Klimaprojektionen für ein SRES A1B Szenario verwendet, die dem Projekt durch das HLNUG bereitgestellt wurden. Eine Zusammenführung beider Teilbereiche erfolgte exemplarisch für die ÖSDL Freizeit durch Kombination der Angebots- und Nachfragekarten.

**Ergebnisse und Diskussion:** Hinsichtlich des Kenntnisstands der hessischen Bevölkerung zu ÖSDL und ihrer jeweiligen Wichtigkeit lassen sich zwei Hauptaussagen treffen. Zum einen wird deutlich, dass die Befragten über eine große Anzahl von ÖSDL nur geringe Kenntnisse besitzt und daher für diese nur wenige Antworten gegeben wurden. Dies lässt sich u.a. damit erklären, dass der überwiegende Anteil der ÖSDL nicht direkt sichtbar ist. Bei den meisten sichtbaren ÖSDL, wie Nahrungsmittel und Rohstoffe wurden viele Antworten gegeben. Zum anderen zeigte sich, dass es bei der Wichtig-

keit der ÖSDL, wenn direkt nach den einzelnen Leistungen gefragt wurde, viele als wichtig bis sehr wichtig eingestuft wurden und dabei auch keine Unterscheidung zwischen sichtbaren und nicht sichtbaren ÖSDL gemacht wurde. Eine räumliche Verortung der Nachfrage nach ÖSDL wurde auf Landkreisebene exemplarisch für „Freizeit“ (Erholung), „Ästhetische Information“ (Ästhetik) und „Refugium-Funktion“ vorgenommen. Hier zeigen sich zwar Unterschiede zwischen den hessischen Teilregionen, jedoch ist die Nachfrage insgesamt auf einem sehr hohen Niveau

Die simulierten Änderungen der Ernteerträge unter Klimawandel zeigen zum Teil große Unterschiede zwischen den betrachteten Klimaprojektionen. So wurden beispielsweise für Raps mit verschiedenen Klimamodellergebnissen sowohl Ertragssteigerungen als auch -minderungen berechnet. Insgesamt konnten zwei belastbare Trends abgeleitet werden. Zunächst zeigte sich in den Simulationen bis zum Ende des 21. Jahrhunderts eine Angleichung der Erträge zwischen Süd- und Nordhessen. Während die Erträge in Südhessen tendenziell stagnieren oder sogar sinken, finden sich in Nordhessen Ertragssteigerungen. Daneben zeigte sich gerade bei Winterweizen, der bereits im Herbst gesät wird, ein starker Effekt der veränderten Saisonalität von Temperatur und Niederschlag. Die verwendeten Klimaszenarien gehen bis zum Jahr 2100 von wärmeren und feuchteren Wintern aus, was dazu führt, dass sich das Pflanzenwachstum deutlich verfrüht, da die Pflanzen im Winter höhere Temperaturen und mehr Niederschlag zur Verfügung haben. Anpassungsmaßnahmen, um die Ertragssituation in Südhessen zu verbessern umfassen den Anbau von besser geeigneten Sorten sowie die Justierung der Aussaat und Erntetermine. Durch die früheren Erntetermine besteht darüber hinaus die Möglichkeit eine zweite Feldfrucht im Jahr anzubauen, die zusätzlichen Ertrag erwirtschaften bzw. zur Fixierung von Stickstoff beitragen kann.

Es wurden drei Landnutzungsszenarien spezifiziert und hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf das Angebot von ÖSDL hin analysiert. Das „Business As Usual“ (BAU) Szenario geht davon aus, dass die aktuelle Produktion von Feldfrüchten in Hessen konstant bleibt. Demgegenüber nimmt das „Bioenergie-Szenario“ einen Ausbau der Biomasseproduktion für energetische Nutzung an, während das dritte Szenario einen Ausbau des ökologischen Landbaus beschreibt. Die Szenarien unterscheiden sich signifikant voneinander hinsichtlich des Angebots der untersuchten ÖSDL. Das Angebot der ÖSDL „Ernährung und Bioenergie“ ist im BAU und Ökolandbauszenario gleich, da sich nicht die Menge der landwirtschaftlichen Produktion, sondern nur die Art wie Ackerbau betrieben wird voneinander unterscheidet. Demgegenüber steigt das Angebot der beiden ÖSDL Ernährung und Bioenergie im Bioenergie-Szenario deutlich an, u.a. als Reaktion auf die steigende inländische Nachfrage nach Biokraftstoffen sowie nach Nahrungsmitteln auf den Exportmärkten. Dieses erhöhte Angebot bedeutet jedoch, dass das Angebot der anderen betrachteten Dienstleistungen eingeschränkt wird. Im Bereich der CO<sub>2</sub>-Regulierung schneidet das Bioenergieszenario durch die vollständige Konversion bestehender Brachflächen in Ackerland im Vergleich zu den beiden anderen Szenarien mit Alternativnutzungen der Brachflächen (Grünland, KUP, Aufforstung) deutlich schlechter ab. Das gleiche gilt für das Angebot der Refugium-Funktion sowie der ÖSDL Ästhetik-Information und Freizeit. Durch die Nutzung der Überhangflächen zur landwirtschaftlichen Produktion fehlen hier die Spielräume zur gezielten Steigerung des Angebots dieser ÖSDL. Weiterhin ist das Bioenergieszenario durch höhere Stickstoffeinträge charakterisiert, wodurch die ÖSDL Nährstoffretention stärker in Anspruch genommen wird.

Ausgehend von den Studienergebnissen sehen die Autoren ein großes Potenzial darin, das ÖSDL-Konzept dazu zu nutzen, um die Bevölkerung künftig stärker für die Notwendigkeit des Klima- und Umweltschutzes sowie einer nachhaltigen Landnutzung zu sensibilisieren. Darüber hinaus können die Ergebnisse der Studie wertvolle Beiträge für die Planung von Maßnahmen zur gezielten Erhöhung des Angebots von ÖSDL leisten, um der bestehenden Nachfrage gerecht zu werden.

# 1 Einleitung

## 1.1 Globaler Wandel und Ökosystemdienstleistungen

Der Begriff „Globaler Wandel“ beschreibt die Veränderungen des Systems Erde durch den Menschen und umfasst dabei Vorgänge von globaler Dimension und regionaler Wirkung. Als zentrale Teilaspekte gelten der anthropogen verursachte Klimawandel (IPCC, 2007) und Nutzungsänderungen der Landoberfläche durch den Menschen als Resultat eines komplexen Wirkungsgefüges von politischen, kulturellen und ökonomischen Einflussgrößen (Foley et al., 2005). Beide Prozesse führen zu einer massiven Beeinflussung der Funktionalität von terrestrischen Ökosystemen. In diesem Kontext zählen der Verlust biologischer Vielfalt, Bodendegradation sowie die Verknappung und die Verschmutzung von Süßwasser zu den weltweit prekären Veränderungen der natürlichen Umwelt, welche zu einer Verwundbarkeit aller Gesellschaften führen (WBGU, 2009). Eingriffe in die Umwelt, bzw. die Nutzung der Umwelt und ihrer Güter ermöglichen unseren heutigen Lebensstil. Die Schnittstelle zwischen Ökosystemen und dem Menschen bilden Ökosystemdienstleistungen (ÖSDL), welche die vom Menschen genutzten und von der Natur erbrachten Dienstleistungen beschreiben (MEA, 2003). Beispiele hierfür sind die Produktion von Nahrungsmitteln, die Bereitstellung von Trinkwasser, Klimaregulation sowie Artenvielfalt und Erholung (Metzger et al., 2006). Initiiert im Jahr 2001, war die Zielsetzung des Millennium Ecosystem Assessments (MEA) die Konsequenzen von Ökosystemänderungen im Globalen Wandel für das menschliche Wohl abzuschätzen und die wissenschaftliche Grundlage für nachhaltige Strategien zu schaffen, um jene Ökosysteme und deren Beitrag zum menschlichen Wohl zu erhalten. Der Bericht zeigte, dass in den letzten 50 Jahren die Nutzung von Ökosystemen spürbar intensiviert wurde und zu einer Degradierung eines Drittels aller ÖSDL weltweit geführt hat. So steht beispielsweise die landwirtschaftliche Produktion von Nahrungsmitteln in Konflikt zum Biodiversitätsschutz sowie im Falle des Bewässerungsfeldbaus auch zur Nutzung von Trinkwasser durch Haushalte und Industrie. Zwar ist das zu erwartende Schadenspotential für Hessen weniger dramatisch einzuschätzen, dennoch gefährden vor allem flächenhaft wirkende Umweltbelastungen wie Nährstoffeinträge aus Landwirtschaft und Verkehr, die Dienstleistungen von Ökosystemen (Beck et al., 2006; Hessisches Statistisches Landesamt, 2011).

## 1.2 Projektziele

Vor diesem Hintergrund war das Ziel des Projekts „Auswirkungen des Globalen Wandels auf Ökosystemdienstleistungen in Hessen“ die Durchführung einer Analyse von möglichen Veränderungen von ÖSDL im Bundesland Hessen unter dem Einfluss des Globalen Wandels. Darüber hinaus wurde mit einer Befragung die Akzeptanz der Veränderungen oder der Verluste von ÖSDL durch die Bevölkerung analysiert. Im Einzelnen wurden vier Teilaufgaben bearbeitet:

1. Raumbezogene Analyse der aktuell verfügbaren ÖSDL für das Bundesland Hessen.
2. Analyse der Bewertung von ÖSDL durch die Bevölkerung und Akzeptanz hinsichtlich zu erwartender Änderungen in der Zukunft.
3. Untersuchung der Auswirkungen des zukünftigen Klimawandels und Landnutzungswandels auf ÖSDL in Hessen.
4. Erarbeitung von Vorschlägen für mögliche Anpassungsmaßnahmen.

Die Struktur der Analyse orientiert sich an fünf Handlungsfeldern: (1) Landwirtschaft, (2) Wasserqualität, (3) biologische Kohlenstoffspeicherung, (4) Biodiversität und Naturschutz sowie (5) Landschaftsästhetik und (6) Freizeit.

## 1.3 Aufbau und Durchführung des Projekts

Die Laufzeit des Projekts betrug fünf Jahre (2010-2015). Das Projekt war inhaltlich in zwei Teilbereiche gegliedert, die dann beispielhaft zusammengeführt wurden (Abbildung 1).

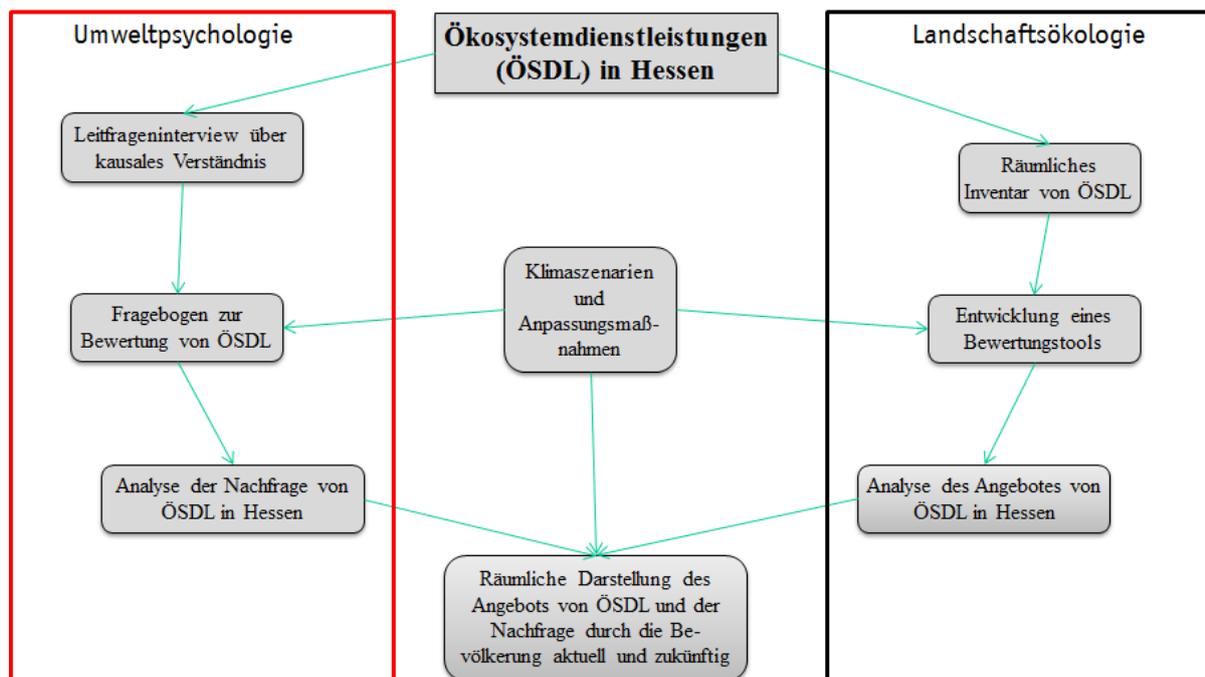
Im Teilbereich „Umweltpsychologie“ wurde mit Hilfe von Leitfrageninterviews (Seidl, 2009; Mayring, 1996) zunächst der Kenntnisstand der hessischen Bevölkerung zum Thema ÖSDL exemplarisch untersucht. Aufbauend auf den Ergebnissen wurde dann mit einem standardisierten Fragebogen (Jacob und Eirnbter, 2000) die Bewertung der vorhandenen ÖSDL durch die Bevölkerung und deren Akzeptanz hinsichtlich zu erwartender Änderungen in der Zukunft erfasst. Die Ergebnisse der Befragung wurden nach Lebensstilen analysiert und räumlich explizit in Hessen verortet (Kapitel 4).

Der Teilbereich „Landschaftsökologie“ zielt auf die räumliche Inventarisierung des aktuellen Angebots von ÖSDL mit Hilfe eines Geographischen Informationssystem (GIS) sowie verschiedenen Umweltmodellen und Bewertungsmethoden (Kapitel 6). Basierend auf der aktuellen Landnutzungsverteilung wurden fünf ÖSDL detailliert untersucht.

1. Ernährung und Bioenergie (Ernteerträge wichtiger Feldfrüchte).
2. CO<sub>2</sub>-Regulation (biologische Kohlenstoffspeicherung in Böden und Vegetation).
3. Nährstoffregulation/Wasserqualität (Nährstoffretention).
4. Refugium-Funktion (Natürliche Habitate als Grundlage von Biodiversität).
5. Ästhetische Information (Landnutzung).
6. Freizeit (Landnutzung).

Für jede dieser ÖSDL wurde ein Indikator als beschreibende Größe herangezogen (in Klammern abgegeben). Ernteerträge wurden mit einem prozessbasierten Simulationsmodell ermittelt, für die Bestimmung der biologischen Kohlenstoffspeicherung und der Nährstoffretention wurde das GIS-basierte Modell InVest (Nelson et al., 2009) verwendet. Für die Bewertung der Habitate sowie der Landschaftsästhetik und Freizeit wurde das Konzept der Landschaftskapazität (Burkhard et al., 2009) aufgegriffen und weiterentwickelt (Kapitel 4.5). Ausgehend von dieser Inventarisierung wurden dann Szenarien einer sich ändernden Landnutzung und des anthropogenen Klimawandels hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf ÖSDL untersucht (Kapitel 7).

Eine Zusammenführung beider Teilbereiche erfolgte dann exemplarisch für die ÖSDL Freizeit durch Kombination der Karten zum Angebot und Nachfrage, die aus den Befragungsergebnissen abgeleitet werden konnte.



**Abbildung 1:** Aufbau und Durchführung des Projekts.

## 1.4 Untersuchungsregion Hessen

Untersuchungsregion des Projekts ist das gesamte Bundesland Hessen. An dieser Stelle wird auf die klimatischen Randbedingungen sowie die aktuelle Flächennutzung eingegangen.

Das hessische Klima ist ein warm-gemäßigtes Regenklima, in dem die Sommer allgemein kühl und die Winter mild sind (HLUG, 2013a;). Das Bundesland Hessen ist gekennzeichnet durch eine Jahresmitteltemperatur von 8,8 °C und mittleren Niederschlagssummen von 839 mm (jeweils 30-Jahresmittelwert 1981-2010; HLUG, 2013b; HLUG 2013c). Die Struktur des Klimas ergibt sich aufgrund des Mittelgebirges und der damit verbundenen starken Abhängigkeit von der Topographie.

Die Flächennutzung war für die Analysen in dieser Studie von besonderer Bedeutung, da sie in einem direkten Zusammenhang mit der Bereitstellung von ÖSDL steht. Tabelle 1 zeigt die Flächennutzung in Hessen differenziert nach Landnutzungstypen auf der Grundlage der Daten des Hessischen Statistischen Landesamtes (HSL, 2012). Die Landwirtschaftsfläche ist mit 42,10 % der größte Landnutzungstyp in Hessen, obgleich in den Jahren 1981-2010 ein Rückgang dieser Landnutzung um 87.000 ha (rd. 10 % der derzeitig vorhandenen Fläche) zu verzeichnen war (HLUG, 2011). Die landwirtschaftliche Nutzfläche untergliedert sich in Acker-, Grünland- und Sonderkulturflächen. Den zweitgrößten Anteil der Landesfläche nehmen Wälder ein, welche grob in Laubwald (rd. 24 %), Nadelwald (rd. 18 %) und Mischwald (rd. 58 %) unterteilt werden können (HSL, 2012). Im Gegensatz zur Landwirtschaft verzeichneten die hessischen Wälder von 1981-2010 eine Zunahme von 14.000 ha (HLUG, 2011). Unter Siedlung sind u.a. Gebäude-, Betriebs- und Freiflächen (bspw. Spielplätze und Hausgärten) zusammengefasst. Die Verkehrsfläche Hessens schließt neben Straßen und Wegen auch Bahn-, Schiffs- und Flugverkehr mit ein und liegt bei einem Anteil von 6,74 %. Ziel der Hessischen Nachhaltigkeitsstrategie ist die Verringerung der zusätzlichen Flächeninanspruchnahme von Siedlungs- und Verkehrsfläche von ca. 3,8 ha pro Tag in 2012 auf 2,5 ha pro Tag im Jahr 2020 (HSL, 2012b). Die Gewässer und sonstige Flächen machen zusammen rd. 2 % der gesamten Flächennutzung in Hessen aus.

**Tabelle 1:** Flächennutzung in Hessen: Differenziert nach Landnutzungstypen Stand 2011 (Daten-  
grundlage: HSL, 2012a).

<b>Landnutzungstyp</b>	<b>Beschreibung</b>	<b>Fläche [ha]</b>	<b>Fläche [%]</b>
<b>Siedlung</b>	Gebäude- und Freiflächen, Betriebsflächen, Erholungsflächen	<b>187.007</b>	<b>8,86</b>
<b>Verkehr</b>	Straßen, Wege, Flugplatz, ...	<b>142.359</b>	<b>6,74</b>
<b>Landwirtschaftsfläche</b>		<b>889.014</b>	<b>42,10</b>
Ackerland		591.738	28,02
Grünland		282.545	13,38
Sonderkulturen	Gartenbau, Wein	16.881	0,70
<b>Wald</b>		<b>847.241</b>	<b>40,13</b>
Laubwald		201.048	9,52
Nadelwald		146.332	6,93
Mischwald		490.552	23,23
<b>Gewässer</b>		<b>29.010</b>	<b>1,37</b>
<b>Sonstiges</b>	z.B. militärische Übungsgelände	<b>16.862</b>	<b>0,80</b>
<b>Gesamt</b>		<b>2.111.493</b>	<b>100</b>

## 2 Ökosystemdienstleistungen und deren Bewertung

### 2.1 Definitionen

Ökosystemdienstleistungen werden nach MEA (2003) definiert als: „the benefits people obtain from ecosystems“. Es handelt sich folglich um Leistungen, die die Gesellschaft von einem Ökosystem in Anspruch nimmt. Unter dem Begriff Ökosystem werden dabei in Anlehnung an Costanza et al. (1997) neben natürlichen, unberührten Ökosystemen auch die vom Menschen veränderten Ökosysteme zusammengefasst (z.B. Agrarökosysteme oder Forstökosysteme). Nach Daily (1997) ist in der Definition einer Dienstleistung neben der direkten und greifbaren auch eine indirekte, immaterielle Leistung zu verstehen. Das MEA fasst daher unter dem Begriff ÖSDL neben den Dienstleistungen auch Güter und kulturelle Aspekte zusammen, obwohl diese Begrifflichkeiten oftmals separat betrachtet und unterschiedlich interpretiert werden (MEA, 2003; Hermann et al., 2011). Die wirtschaftliche Bedeutung von ÖSDL wird in der „The Economics of Ecosystems and Biodiversity“ (TEEB)- Studie beschrieben (de Groot et al. 2010). ÖSDL sind nach MEA (2003) ein wichtiger Aspekt im Hinblick auf die Erhaltung des menschlichen Wohlbefindens. Auch Kampeng & Zhishi (2003) stellen fest, dass ÖSDL für die Existenz der Gesellschaft unabkömmlich sind. Dies bedeutet, dass der Mensch untrennbar mit Ökosystemen und den dazugehörigen Dienstleistungen verbunden ist. Als Beispiel lässt sich die Sauerstoffproduktion von Wäldern nennen.

### 2.2 Kategorisierungsansätze von Ökosystemdienstleistungen

Diese zahlreichen von der Natur bereitgestellten Ökosystemdienstleistungen können in Kategorien eingeteilt werden. Aufgrund der Dynamik und Komplexität von Ökosystemen gibt es verschiedene Kategorisierungsansätze (Hermann et al. 2011). Es existieren beispielsweise Ansätze nach Costanza et al. (1997), MEA (2003) und de Groot (2006), wobei in dieser Studie der Ansatz von de Groot verwendet wird. Dieser unterscheidet zunächst 30 Ökosystemfunktionen, die er in fünf Kategorien einteilt: Regulierende Funktionen sowie Habitat-, Produktions-, Informations- und Trägerfunktionen. Diese Funktionen bilden die Grundlage zur Bereitstellung konkreter Ökosystemdienstleistungen für den Menschen. Im Folgenden werden zunächst die Kategorien vorgestellt. Tabelle 2 zeigt dann beispielhaft den Zusammenhang zwischen Funktionen und Ökosystemdienstleistungen auf.

*Regulierende Funktionen:* Diese Kategorie bezieht sich auf die Fähigkeit von natürlichen und semi-natürlichen Ökosystemen, essentielle ökologische Prozesse und lebenserhaltende Funktionen durch biogeochemische Stoffkreisläufe (z.B. Stickstoff- und Kohlenstoffkreislauf) und

andere biologische Prozesse regulieren zu können. Sie bilden damit die Grundlage für alle anderen Funktionen.

*Habitatfunktionen:* Diese beschreiben die Fähigkeit von Ökosystemen, biologische und genetische Vielfalt zu bewahren, indem sie für Pflanzen und Tiere geeignete Habitate als Lebensraum und zur Reproduktion bereitstellen.

*Produktionsfunktionen:* In diese Gruppe gehören Funktionen zur Produktion von lebender Biomasse, die in unterschiedlicher Weide durch den Menschen genutzt werden kann. Hierunter fällt die Photosynthese als Prozess zur Biomasseproduktion von Pflanzen (Primärproduzenten) aber auch deren Verwertung durch höhere Glieder der Nahrungskette (Konsumenten).

*Informationsfunktionen:* Da die menschliche Evolution zu weiten Teilen in naturnahen Ökosystemen stattgefunden hat, wird angenommen, dass natürliche Ökosysteme für den Menschen weiterhin wichtige Funktionen zum Erhalt der menschlichen Gesundheit bereitstellen, indem sie z.B. Erholung und kognitive Entwicklung unterstützen sowie einen ästhetischen „Sinn stiftenden“ Wert besitzen.

*Trägerfunktionen:* Ökosysteme stellen durch die Bereitstellung von Raum, Substrat (Boden) und Medien (Luft, Wasser) die Grundlagen für menschliche Aktivitäten wie Ackerbau, Siedlungstätigkeit oder Transport zur Verfügung. Diese Kategorie wird im Projekt nicht explizit untersucht.

**Tabelle 2:** Kategorisierung von Ökosystemfunktionen nach de Groot (2006).

Nr.	Ökosystemfunktionen	Prozesse und Bestandteile von Ökosystemen	Beispiele für Ökosystemdienstleistungen
<b>Regulierungsfunktionen:</b> Erhaltung der wesentlichen ökologischen Prozesse und lebenserhaltenden Systeme			
1	Gas-Regulierung	Rolle von Ökosystemen in biogeochemischen Stoffkreisläufen (z.B. CO <sub>2</sub> /O <sub>3</sub> Bilanz, Ozonschicht).	Schutz vor UV-Strahlung durch Ozonschicht; Erhaltung guter Luftqualität
2	Klimaregulierung	Einfluss von biologischen Prozessen auf das Klima (z.B. CO <sub>2</sub> Speicherung im Boden und in der Vegetation).	Aufrechterhaltung von für Landwirtschaft geeigneten Temperaturen und Niederschlägen.
3	Vermeidung von Störungen	Einfluss von Ökosystemstrukturen zur Schwächung von Umwelteinflüssen.	Schutz vor Sturm- oder Flutschäden.
4	Wasserregulierung	Abflussregulierung durch Landbedeckung.	Drainage und Bereitstellung von Wasser für Pflanzen.
5	Wasserversorgung	Filterung, Rückhalt und Speicherung von Wasser (z.B. im Grundwasserleiter).	Bereitstellung von Trinkwasser und zur Bewässerung von Feldfrüchten.
6	Bodenerhaltung	Schutz vor dem Abtrag von Boden durch Wind und Wasser.	Erhalt von Flächen für den Ackerbau; Erosionsschutz.
7	Bodenbildung	Bodenbildung durch Verwitterung und Aufbau von Humusstoffen.	Erhalt der Bodenfruchtbarkeit von Ackerland.
8	Nährstoffregulierung	Rolle der Lebewesen zur Speicherung und zum Recycling von Nährstoffen (z.B. N, P).	Erhalt der der Bodenfruchtbarkeit als Grundlage für Ackerbau.
9	Abfallbehandlung	Abbau/Filterung von schädlichen Substanzen durch Vegetation und andere Lebewesen.	Filterung von Staubpartikeln durch Bäume (Luftqualität).
10	Befruchtung	Verbreitung von Pollen durch Lebewesen.	Bestäubung von Feldfrüchten.
11	Biologische Kontrolle	Populationskontrolle durch Nahrungsnetze	Natürliche Kontrolle von Schädlingen (Ackerbau, Forstwirtschaft)
<b>Habitatfunktionen:</b> Bereitstellung von Lebensraum für wildlebende Tier- und Pflanzenarten			
12	Refugiumsfunktion	Geeigneter Lebensraum für wildlebende Pflanzen und Tiere.	Erhalt der biologischen Vielfalt (Arten, Gene).
13	Fortpflanzungsfunktion	Geeignete Habitate zur Reproduktion und zur Aufzucht des Nachwuchses.	Erhalt der biologischen Vielfalt (Arten, Gene).
<b>Produktionsfunktion:</b> Bereitstellung von natürlichen Ressourcen			
14	Ernährung	Produktion von Biomasse durch Photosynthese zur menschlichen Ernährung.	Feldfrüchte, Früchte, Fisch, Jagdtiere
15	Rohstoffe	Produktion von Biomasse für die energetische und stoffliche Nutzung.	Biokraftstoffe, Baumaterial, chemische Grundstoffe.
16	Genetische Ressourcen	Evolution von wildlebenden Pflanzen und Tieren	Grundlage zur Pflanzenzucht.
17	Medizinische Ressourcen	Biochemische Substanzen zur Entwicklung von neuen Medikamenten oder Impfstoffen	Medikamente und Impfstoffe.
18	Zierfunktion	Tiere und Pflanzen zur potenziellen Nutzung als Zierobjekte.	Mode, Schmuck oder Souvenirs (z.B. Muscheln, Zierpflanzen, Federn)

**Tabelle 2, Fortsetzung.**

<b>Informationsfunktionen:</b> Bereitstellung von Möglichkeiten für die kognitive Entwicklung			
<b>19</b>	Ästhetische Information	Attraktive und natürliche Landschaften.	Genuss des Panoramas.
<b>20</b>	Erholung und Freizeit	Freizeitmöglichkeiten in der Natur.	Joggen, Wandern, Radfahren etc.
<b>21</b>	Kulturelle und Kunstinformationen	Natur als Vorlage für Kunst und Kultur.	Nutzung von Natur als Motiv in Filmen, Büchern oder Gemälden.
<b>22</b>	Spirituelle und historische Informationen	Historisch oder kulturell bedeutsame Elemente von Ökosystemen.	Bedeutung von Ökosystemen in Religionen oder als Naturerbe.
<b>23</b>	Wissenschaft und Lehre	Vielfalt der Natur als Wert für Wissenschaft und Erziehung.	Nutzung der Natur für Schulexkursionen oder in Forschungsarbeiten.

### 2.3 Methoden zur Bewertung von Ökosystemdienstleistungen

Im Bereich der Bewertungsansätze für Ökosystemdienstleistungen gibt es eine Vielzahl unterschiedlicher Vorgehensweisen in der wissenschaftlichen Literatur. Grundsätzlich lassen sich Methoden zur monetären und nicht-monetären Bewertung von ÖSDL unterscheiden. Für das Projekt wurde die nicht-monetäre Bewertung gewählt.

Im Bereich der monetären Bewertung wird zwischen Methoden zur direkten und indirekten Marktbewertung unterschieden (Daily 1997; Costanza et al 1997).

Bei der direkten Marktbewertung werden die Werte der einzelnen ÖSDL durch ihre Handelspreise bestimmt. Hierzu eignet sich die Berechnung mit der sog. Produktionsfunktion. Zum Beispiel wird der Wert von 100 Tonnen Holz berechnet, indem man Preise auf den internationalen Märkten für Holz untersucht (siehe de Groot et al. 2002).

Wenn es keine Märkte für Dienstleistungen oder Waren gibt, muss der Wert mit der indirekten Marktbewertungsmethode ermittelt werden (de Groot et al., 2002). Der Hauptaspekt dieses Verfahrens ist die Zahlungsbereitschaft („Willingness to Pay“) für die Verfügbarkeit oder den Verlust von einer Ökosystemdienstleistung. Auch hier gibt es unterschiedliche Analysemethoden, wie beispielweise den Ansatz der Vermeidungskosten, bei dem die Kosten berechnet werden, die nötig sind negative Einflüsse für die Gesellschaft zu vermeiden.

Neben den monetären Ansätzen zur Bewertung von ÖSDL wird seit einiger Zeit auch die Bewertung auf nicht-monetärer Basis verwendet. Ein Beispiel hierfür ist das von Burkhard et al. (2009) entwickelte Konzept der Landschaftskapazität zur qualitativen Bewertung der von unterschiedlichen Landnutzungstypen bereitgestellten ÖSDL. Für jeden Landnutzungstyp

---

wird dabei seine Kapazität zur Bereitstellung der verschiedenen Leistungen ermittelt. Die Bewertung erfolgt auf einer Punkteskala von 1 bis 5. Ein Punkt bedeutet, dass der Landnutzungstyp über keine Kapazität zur Bereitstellung der Leistung verfügt, 5 Punkte demgegenüber, dass er über eine sehr hohe Kapazität verfügt. Beispielsweise wird die Landnutzungs-kategorie Wald für die ÖSDL Klimaregulierung (CO<sub>2</sub>-Speicherung) mit 5 Punkten bewertet, während Ackerflächen lediglich 2 Punkte erhalten.

### **3 Bewertung von ÖSDL und Akzeptanz künftiger Änderungen**

Dieses Kapitel stellt zunächst Ergebnisse einer Studie zum kausalen Verständnis von Ökosystemdienstleistungen in der hessischen Bevölkerung dar. Anschließend wird auf die Auswertung eines hessenweit angelegten Fragebogens zum Thema Wichtigkeit der ÖSDL heute und in der Zukunft eingegangen. Basierend auf den Ergebnissen dieser Analysen wird die Nachfrage nach ÖSDL dann räumlich verortet.

#### **3.1 Kausales Verständnis von Ökosystemdienstleistungen**

Zur Ermittlung des kausalen Verständnisses von ÖSDL in Hessen wurde die Vorgehensweise „Halbstandartisiertes Interview“ (Froschauer und Lueger 1992, Flick 1991 und Mayring 1996) gewählt und zusätzlich durch die Struktur-Lege-Technik (Seidl 2009) erweitert.<sup>1</sup> Der Fragebogen wurde mit Hilfe von Literatur und vorangegangenen Befragungen am CESR entwickelt. Hierzu wurden sechs Themengebiete identifiziert:

- Allgemeines (Vorlieben, Urlaubsorte, ...)
- Nutzen von Ökosystemen (Fragen zu Wasser, Landwirtschaft, Landschaft und Wald)
- Strukturlegetechnik (Beziehungen der Ökosysteme)
- Klimawandel (Einschränkungen und Auswirkungen)
- Medien (Glaubwürdigkeit, ...)
- Persönliche Angaben (Alter, Geschlecht, ...)

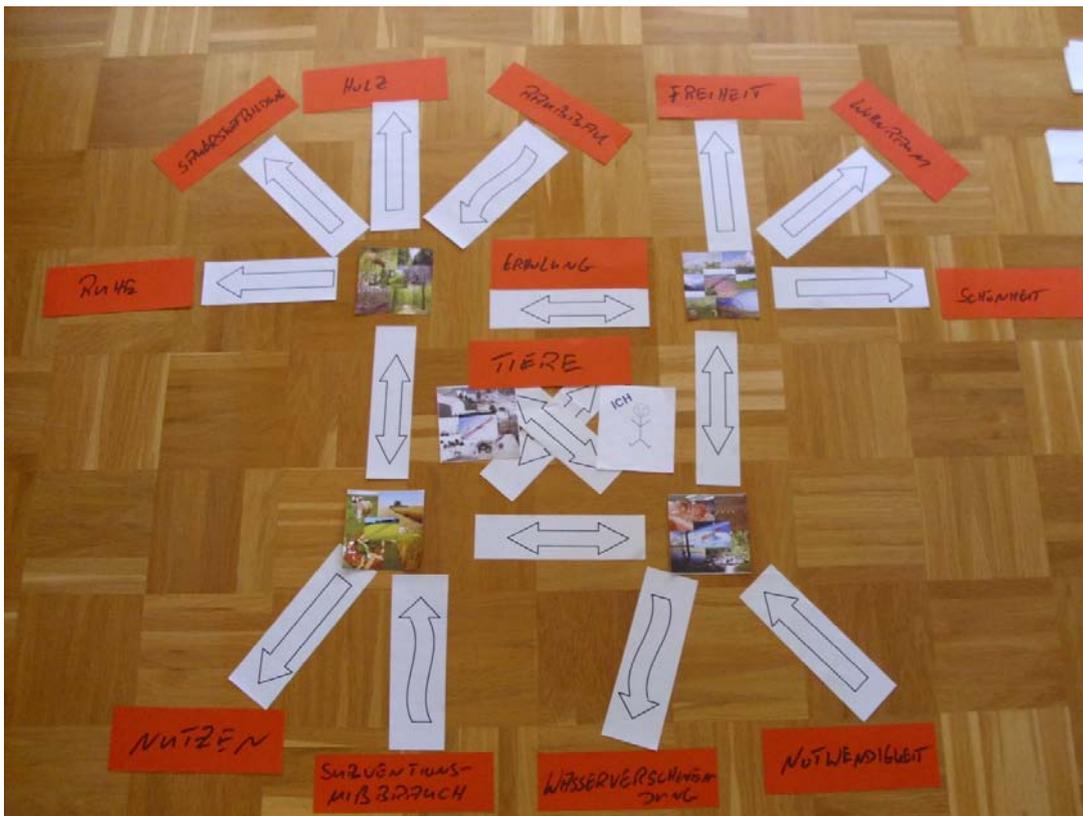
Die Auswahl der Themengebiete orientierte sich inhaltlich am Befragungsgegenstand ÖSDL und zielte darüber hinaus darauf ab, die Probanden zu Beginn an den Befragungsgegenstand heranzuführen, wobei darauf geachtet wurde, dass der Begriff „Ökosystemdienstleistung“ selbst nicht erschien. Neben den allgemeinen Fragen zur Einführung in das Thema, wurden die Probanden auch gefragt, wie und wie oft sie z.B. Wälder, Gewässer, Landwirtschaft und Landschaft nutzen und welche Gefühle dabei entstehen. Anschließend an die Abfrage der Ökosystemnutzung wurde die Struktur-Lege-Technik durchgeführt. Für die Befragung in Hessen wurden sechs „Kärtchen“ entwickelt, die zum einen die vier Ökosysteme (Wald, Wasser, Landwirtschaft und Landschaft) darstellten und zum anderen zwei Kärtchen, welche den Klimawandel und die Probanden selbst zeigten. Zudem gab es unterschiedlichen Arten von Pfeilen und leere Kärtchen, auf denen die Probanden ihre Ideen eintragen konnten. Abschlie-

---

<sup>1</sup> Die genaue Beschreibung der Vorgehensweise findet sich in Anhang 1

ßend wurden die Probanden zum Thema Klimawandel und persönlichen Angaben befragt.

Die Durchführung erfolgte zunächst mit einem Pre-Test, um eventuelle Unklarheiten oder missverständliche Fragen aus dem Fragebogen zu eliminieren. Nach der Erstellung des finalen Fragebogens wurden die Probanden ausgewählt. Da sich dieses Projekt über gesamt Hessen erstreckt, wurde versucht eine möglichst gleiche Verteilung von Probanden in Nord-, Mittel- und Südhessen zu erreichen. Der zeitliche Rahmen war mit ca. 1-2 Stunden angesetzt. Insgesamt nahmen 29 Probanden teil, welche dann vor Ort befragt wurden.



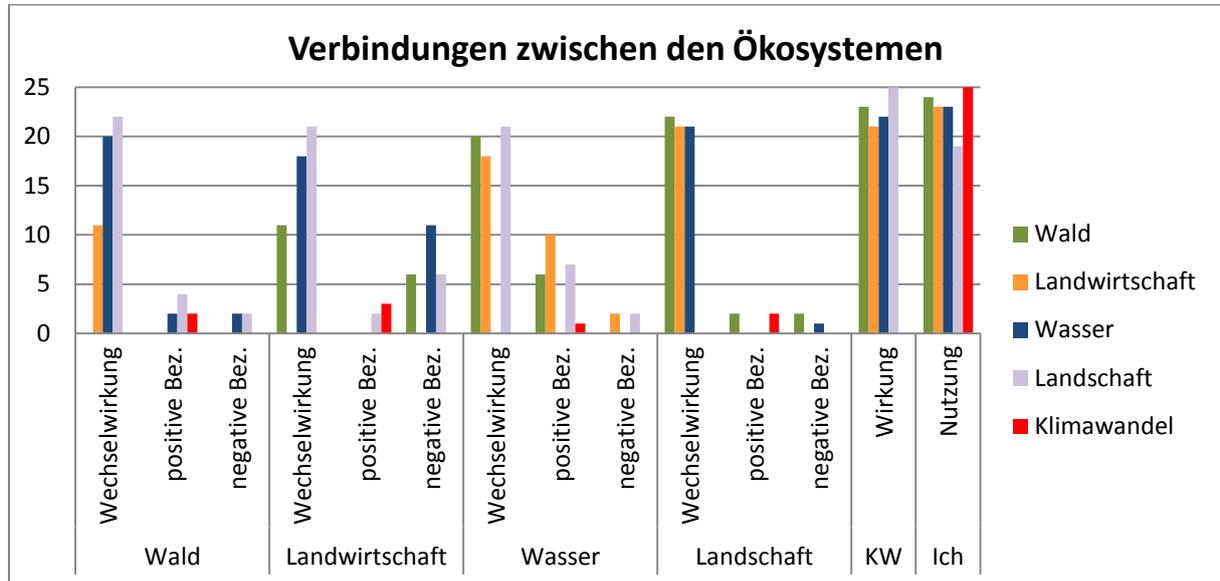
**Abbildung 2:** Erstellte Struktur-lege-Technik eines Probanden

Abbildung 2 zeigt beispielhaft eine abgeschlossene Struktur-lege-Technik für eins der durchgeführten Leitfrageninterviews. Zu erkennen sind die Anordnung der vier Ökosysteme und der Karten „Klimawandel“ und „ICH“, welche als Bilder dargestellt wurden, die Verbindung der Pfeile und die vom Probanden aufgeschriebenen Begriffe, welche die Ökosystemdienstleistungen darstellen.<sup>2</sup>

Nach der beispielhaften Darstellung der Struktur-lege-Technik, werden nun die Ergebnisse aller Interviews dargestellt. Um einen ersten Überblick über die Vorstellungen der Probanden

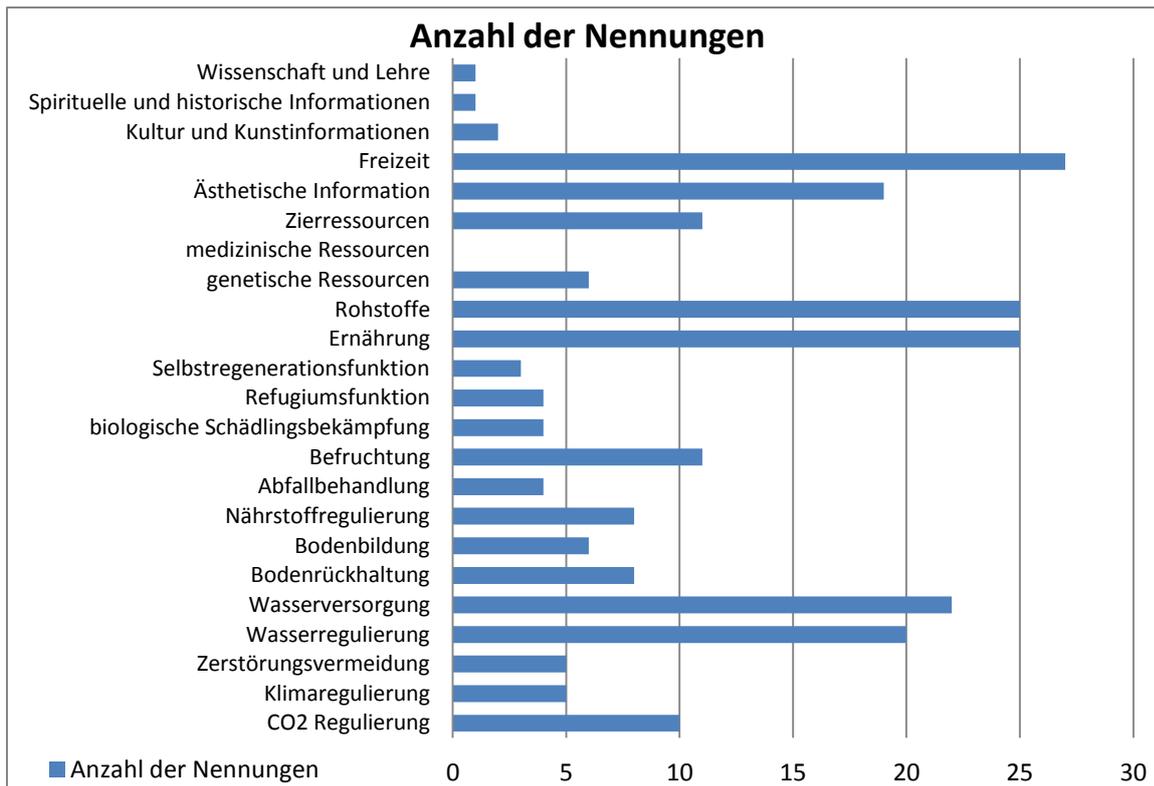
<sup>2</sup> Die ausführliche Analyse des Leitfrageninterviews findet sich in dem dazu angefertigten Bericht.

zu erhalten werden in Abbildung 4 die Verbindungen zwischen den Ökosystemen dargestellt.



**Abbildung 3:** Verbindungen zwischen den Ökosystemen

In Abbildung 3 ist zu erkennen, dass die meisten Probanden Wechselwirkungen zwischen den Ökosystemen sehen. Landschaft ( $N > 20$ ) und Wasser ( $N > 17$ ) haben die meisten Wechselwirkungen. Landwirtschaft hat insgesamt weniger Beziehungen. Das Ökosystem Wald wurde bei Wasser und Landschaft auch mit  $N > 20$  Wechselwirkungen angegeben. Die Wirkung des Klimawandels auf alle Ökosysteme und die Nutzung durch den Menschen wurden von fast allen Probanden dargestellt.



**Abbildung 4:** Nennungen der einzelnen Ökosystemdienstleistungen

In Abbildung 4 ist die Anzahl an Nennungen jeder ÖSDL dargestellt. Dabei wurden die von den Probanden beschrifteten Kärtchen berücksichtigt. Insgesamt wurden bei 29 Interviews 255 ÖSDL benannt. Dies entspricht 29,3% der maximal möglichen Nennungen. In die unterschiedlichen Kategorien von de Groot (2006) eingeteilt bedeutet dies:

- Regulierungsfunktion → 103 Nennungen (40,3%)
- Habitatfunktion → 7 Nennungen (2,7%)
- Produktionsfunktion → 67 Nennungen (26,3%)
- Informationsfunktion → 50 Nennungen (19,6%)
- Trägerfunktion → 28 Nennungen (11,1%)

Die wichtigsten Ökosystemdienstleistungen sind neben Freizeit und Ästhetik, Ernährung, Rohstoffe und Wasser. Im Bereich von CO<sub>2</sub>- und Klimaregulierung hatten die Probanden deutlich weniger Nennungen bzw. Kenntnisse über die Zusammenhänge.

Insgesamt lassen sich zum kausalen Verständnis von Ökosystemdienstleistungen in Hessen folgende Aussagen treffen:

1. Der Begriff „Ökosystemdienstleistungen“ ist nicht bekannt.
2. Die Eigenschaften der Ökosystemdienstleistungen jedoch sind allen Probanden unter anderen Synonymen bekannt und werden im Alltag verwendet.
3. Die Probanden hatten unbewusst eine genaue Vorstellung von den Ökosystemen und den Zusammenhängen.
4. 90% aller möglichen Ökosystemdienstleistungen wurden mindestens einmal benannt.
5. Der Schwerpunkt liegt bei sichtbaren und nutzbaren Ökosystemdienstleistungen.
6. Die Unterschiede zwischen Nord-, Mittel- und Südhessen sind marginal.
7. Alter und Bildung spielen beim Verständnis von Ökosystemdienstleistungen keine Rolle.
8. Unterschiedliche persönliche Faktoren beeinflussen die Nennung der Ökosystemdienstleistungen bei den Probanden.
9. Klimawandel wurde nur bedingt wahrgenommen.<sup>3</sup>

Insgesamt sind die Ergebnisse zum kausalen Verständnis sehr homogen, was die vorher vermuteten Unterschiede bezüglich der Regionen, Alter und Bildung angeht. Ebenfalls lässt sich festhalten, dass sieben ÖSDL identifiziert werden konnten (Wasserverfügbarkeit, Wasserregulierung, Rohstoffe, Ernährung, Bewirtschaftung, Erholung und Ästhetik), die von mehr als 2/3 der Probanden genannt wurden.

### **3.2 Fragebogen zur Akzeptanz und Bewertung von Ökosystemdienstleistungen**

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse aus den einzelnen Frageblöcken zusammengefasst und zu stichhaltigen Aussagen formuliert. Weiterhin werden diese Ergebnisse mit den Ergebnissen des Leitfrageninterviews verschnitten um eine umfassende Aussage über den Kenntnisstand, die Bewertung und die Akzeptanz von Ökosystemdienstleistungen in der hessischen Bevölkerung zu generieren.

Um die Antworten der Probanden anschließend in der Fläche verorten zu können, erfolgte eine Einordnung der Probanden in unterschiedliche Lebensstile, welche mit Hilfe der Daten der Firma Sinus Sociovision® GmbH ausgewertet und anschließend mit Hilfe der Microm® Daten in die Fläche projiziert wurden. Die Sinus Milieus sind in der folgenden Abbildung dargestellt und nachfolgend kurz beschreiben. Die Einordnung der Sinus Milieus in die Fläche wird in Anhang 1 ausführlich dargestellt.

---

<sup>3</sup> Die ausführliche Analyse des Leitfrageninterviews findet sich in dem dazu angefertigten Bericht.

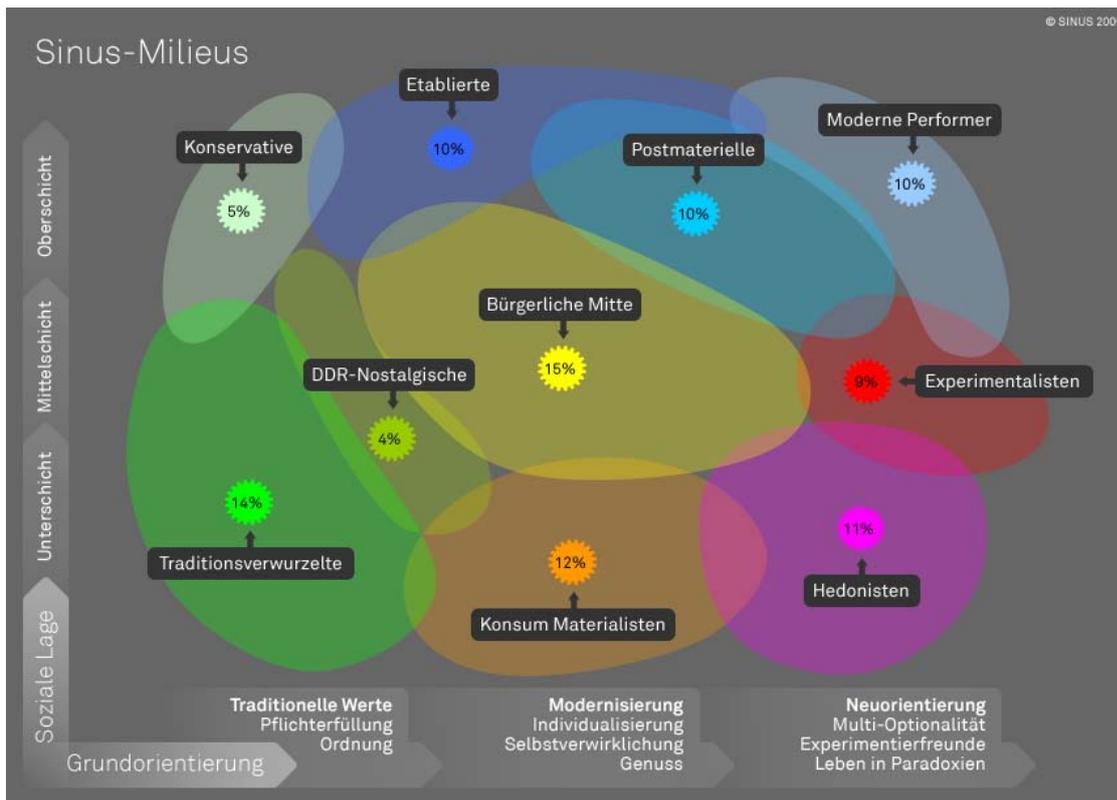


Abbildung 5: Kartoffelgrafik zur Verortung der Milieus nach sozialer Lage und Grundorientierung

Quelle: www.sociovision.de (Zugriff 26.03.2010)

*Etablierte, das selbstbewusste Establishment:* Erfolgs-Ethik, Machbarkeitsdenken und ausgeprägte Exklusivitätsansprüche.

*Postmaterieell, das aufgeklärte Nach-68er-Milieu:* Liberale Grundhaltung, postmaterielle Werte und intellektuelle Interessen.

*Moderne Performer, die junge, unkonventionelle Leistungselite:* Intensives Leben – beruflich und privat, Multi-Optionalität, Flexibilität und Multimedia-Begeisterung.

*Konservative, das alte deutsche Bildungsbürgertum:* Konservative Kulturkritik, humanistisch geprägte Pflichtauffassung und gepflegte Umgangsformen.

*Traditionsverwurzelte, die Sicherheit und Ordnung liebende Kriegs-/Nachkriegsgeneration:* Verwurzelt in der kleinbürgerlichen Welt bzw. in der traditionellen Arbeiterkultur.

*DDR-Nostalgische, die resignierten Wende-Verlierer:* Festhalten an preußischen Tugenden und altsozialistischen Vorstellungen von Gerechtigkeit und Solidarität.

*Bürgerliche Mitte, der statusorientierte moderne Mainstream:* Streben nach beruflicher und sozialer Etablierung, nach gesicherten und harmonischen Verhältnissen.

*Konsum-Materialisten, die stark materialistisch geprägte Unterschicht:* Anschluss halten an

die Konsumstandards der breiten Mitte als Kompensationsversuch sozialer Benachteiligungen *Experimentalisten, die extrem individualistische neue Bohème*: Ungehinderte Spontaneität, Leben in Widersprüchen, Selbstverständnis als Lifestyle-Avantgarde.

*Hedonisten, die spaßorientierte moderne Unterschicht /untere Mittelschicht*: Verweigerung von Konventionen und Verhaltenserwartungen der Leistungsgesellschaft (Sinus 2009)<sup>4</sup>

Der Fragebogen zur Bewertung und Akzeptanz von ÖSDL wurde basierend auf den Ergebnissen des Leitfrageninterviews zum Verständnis von ÖSDL in Hessen und einer Literaturrecherche erstellt. Das Hauptaugenmerk des Fragebogens liegt auf der Identifizierung der Einstellung der hessischen Bevölkerung bezüglich der aktuellen und zukünftigen Akzeptanz von ÖSDL. Zu diesem Zweck wurden neun Themengebiete abgefragt (Fragenteile): (A) Zeitempfinden, (B) Klimawandel, (C) Bewertung von Umwelt und Natur, Bewertung der (D) aktuellen und (E) zukünftigen ÖSDL, (F) Erhalt der Natur und (G) des Mobilitätsverhalten sowie (H) Abfrage sozialer Faktoren zur Einordnung der Probanden in die Sinus-Milieus und (I) allgemeine Daten.

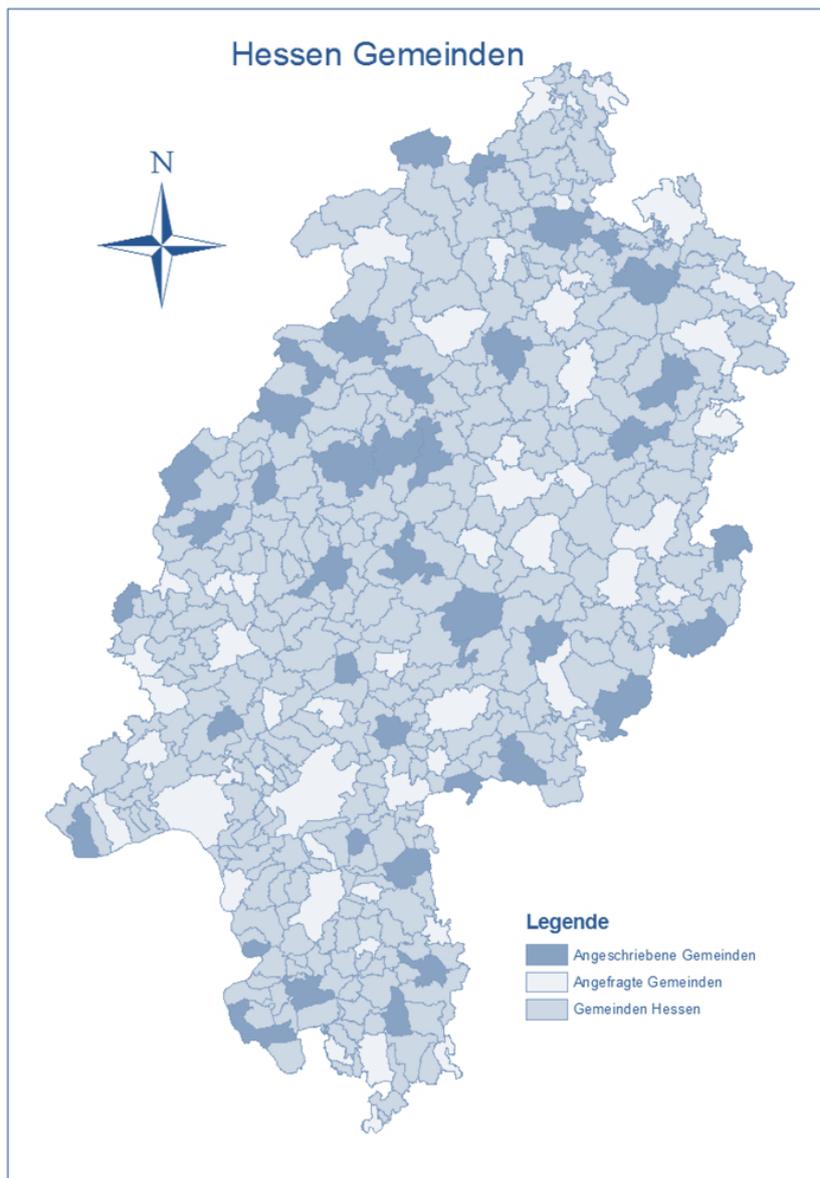
Die Auswahl der Themengebiete orientierte sich analog zum Leitfrageninterview inhaltlich am Befragungsgegenstand „Ökosystemdienstleistungen“. Eine Heranführung der Probanden an den Befragungsgegenstand erfolgt in den Frageteilen A – C. Fragenteil D und E sind stark miteinander verbunden. Hier wurde jeweils nach der Wichtigkeit der 22 identifizierten ÖSDL gefragt. Der einzige Unterschied in den Frageteilen war der Zeithorizont: Im Teil D wurde nach der aktuellen Situation gefragt und im Fragenteil E wurde ein kurzer Text vorgestellt, der zukünftige Änderungen des Klimas darstellt. Anhand dieses Textes sollten die Fragen nochmals beantwortet werden um mögliche Veränderungen aufzuzeigen. Die letzten Teile des Fragebogens beschäftigten sich mit der Spendenbereitschaft, dem Mobilitätsverhalten und allgemeinen Angaben.

Genauso wie bei der Entwicklung des Leitfrageninterviews wurde ein Pre-Test durchgeführt, um eventuelle Unklarheiten oder missverständliche Fragen aus dem Fragebogen zu eliminieren und den zeitlichen Aufwand zur Beantwortung zu analysieren. Nach der Erstellung des finalen Fragebogens wurden Probanden ausgewählt. Da sich dieses Projekt über gesamt Hessen erstreckt, wurde versucht eine möglichst gleiche Verteilung von Probanden in Nord-, Mittel- und Südhessen zu erreichen. Hierzu wurden 90 Gemeinden aus dem Landesgebiet ausgewählt, die möglichst gleichmäßig verteilt sein sollten (Abbildung 6). Bei diesen Gemeinden

---

<sup>4</sup> Die ausführliche Beschreibung der Herangehensweise wird zusätzlich noch im Anhang 1 dargestellt.

wurde eine Anfrage, zur Herausgabe von Adressen durchgeführt (angefragte Gemeinden).



**Abbildung 6:** Auswahl der hessischen Gemeinden

Insgesamt antworteten 42 Gemeinden. Von diesen Gemeinden wurden 40 ausgewählt und die Adressen angefordert (angeschriebene Gemeinden in Abb. 6). Hierbei gab es zwei unterschiedliche Vorgehensweisen. Einige Gemeinden schickten uns die Adressen direkt zu, bei anderen wurden wir an die Firma EKOM21 weitergeleitet, welche die Adressen zentral verwaltet. Insgesamt wurden dann 3600 Fragebögen an hessische Haushalte verschickt und ein Rücksendeschluss nach fünf Wochen angegeben. Nach zwei Wochen wurde nochmals ein Erinnerungsschreiben versendet, um die Rücklaufquote noch etwas zu steigern. Insgesamt gab es eine Rücklaufquote von ca. 16 Prozent (564 auswertbare Fragebögen), was nach bisherigen Erfahrungswerten aus ähnlichen Studien am CESR als gut anzusehen ist, da es sich um eine

postalische Befragung zu einem sehr speziellen Thema handelte.

Neben den allgemeinen Themengebieten, die das Zeitempfinden, Klimawandel und die Bewertung der Natur beinhalteten, lag das Hauptaugenmerk auf der Bewertung der Natur in der Gegenwart und Zukunft.<sup>5</sup>

Grundlage sind die von de Groot 2006 aufgestellten ÖSDL (de Groot 2006). Zunächst wurden die Probanden nach der aktuellen Bewertung gefragt, anschließend wurde ein Text der hessischen Anpassungsstrategie in den Fragebogen integriert, welche die zukünftigen Veränderungen des hessischen Klimas darstellt (HMULV, 2012):

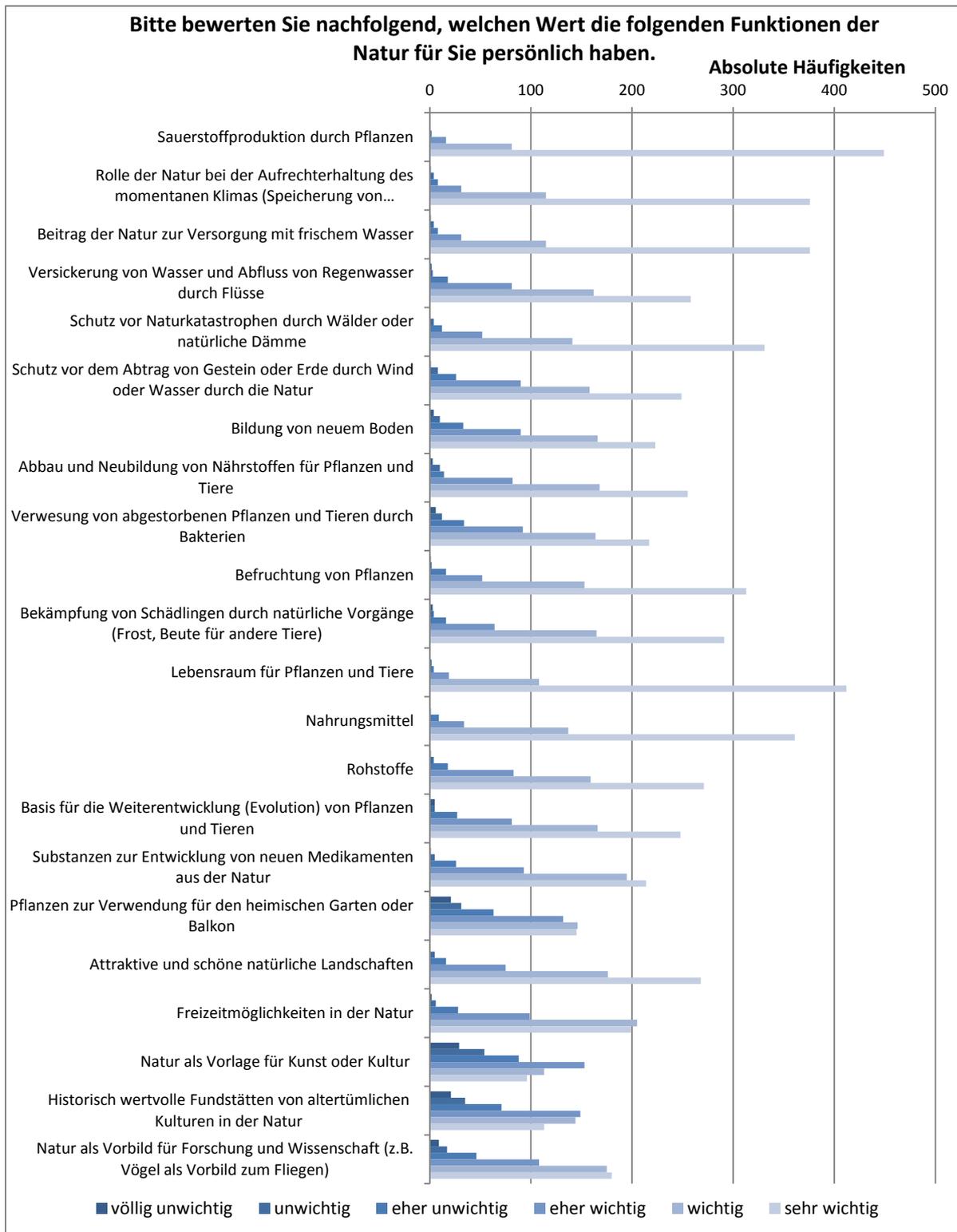
*„Hessen hat sich in den letzten 60 Jahren um ca. 0,9 °C erwärmt. Dabei wurde vor allem der Winter deutlich wärmer. Gerade in den letzten 20 Jahren konnte ein deutlicher Temperaturanstieg festgestellt werden. Ebenso wurden die Sommer trockener und die Winter, Frühling und Herbst feuchter“.*

Für die Zukunft werden folgende Änderungen des Klimas angenommen: Es wird von einer Temperaturzunahme von bis zu 4,5 °C im Winter und von etwa 3,5 °C im Sommer ausgegangen. Hinzu kommt eine weitere Abnahme der Regenfälle im Sommer, was zu einer Austrocknung des Nordostens und der Mittelgebirge führen kann. Weiterhin werden auch Extremereignisse, wie Dürren, Hitzewellen, Hochwässer, Starkregenereignisse und Stürme in Zukunft deutlich zunehmen.

Daraufhin sollten die Probanden die gleichen Dienstleistungen erneut bewerten. Die Befragung zum Thema ÖSDL schloss in Teil F Fragen zur Spendenbereitschaft der einzelnen Dienste ab. Diese drei Fragen dienten zur Einschätzung, wie die hessische Bevölkerung die unterschiedlichen ÖSDL bewertet und welche Veränderungen in der Zukunft auftreten.

---

<sup>5</sup> Die ausführliche Auswertung des Fragebogens findet sich im Bericht zur Bewertung und Akzeptanz von Ökosystemdienstleistungen in Hessen.



**Abbildung 7:** Einschätzung des Wertes von Funktionen der Natur

Insgesamt zeigt sich in Abbildung 7, dass alle Funktionen von mindestens 150 Probanden als sehr wichtig eingestuft wurden. Dennoch gibt es bei den einzelnen Ökosystemdienstleistungen große Unterschiede. So wurden Sauerstoffproduktion, Klima- und Wasserregulierung, Lebensraum für Pflanzen und Tiere und Nahrungsmittel von mehr als 350 Probanden als sehr wichtig eingeschätzt. Auch Funktionen, wie beispielsweise Schutz vor Naturkatastrophen,

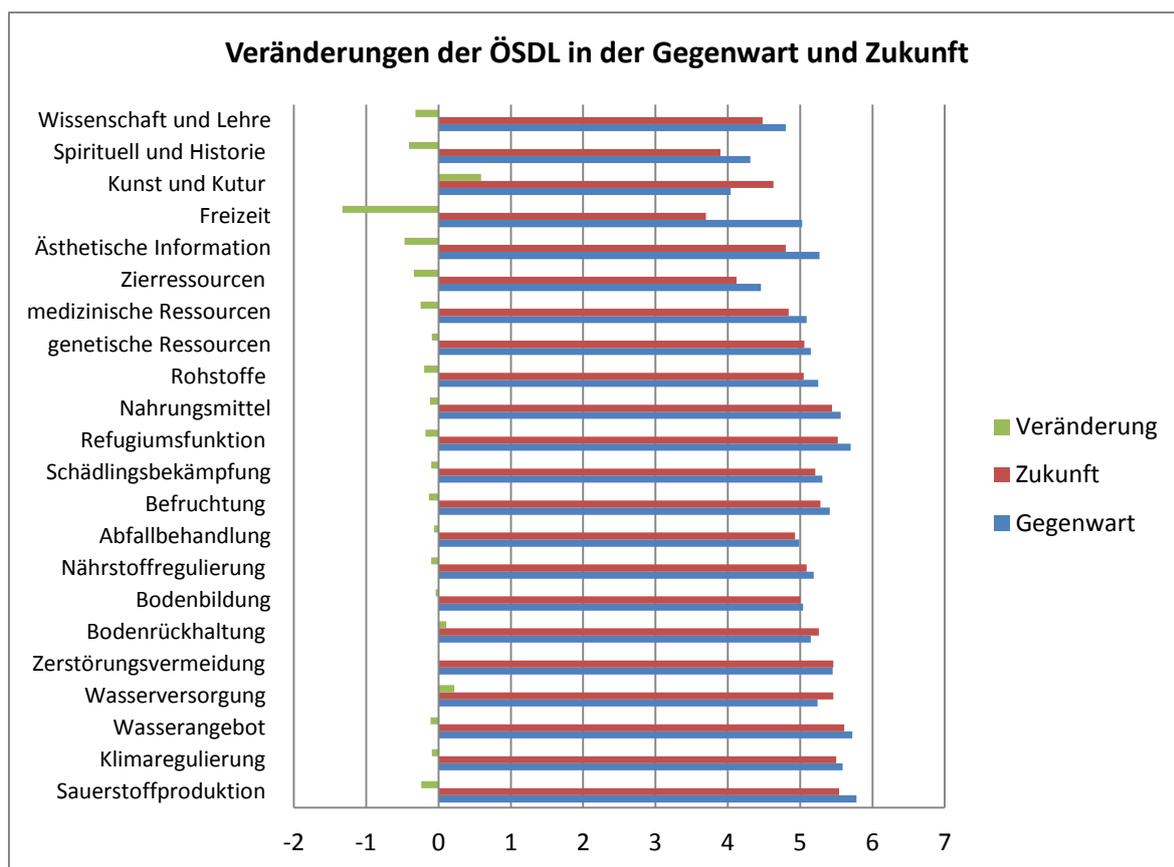
Befruchtung, Rohstoffe und ästhetisch ansprechende Landschaften waren den Probanden sehr wichtig. Funktionen, in denen die Natur als Grundlage für Wissenschaft und Medizin gilt, oder einen historischen und kulturellen Wert besitzt, waren den Probanden weniger wichtig.



**Abbildung 8:** Einschätzung des Wertes von Funktionen der Natur nach Informationen.

---

Nach der Bewertung der gegenwärtigen Wichtigkeit der ÖSDL sollten die Probanden die ÖSDL nach dem Lesen des Textes zur Veränderung des hessischen Klimas erneut bewerten (Abbildung 8). Insgesamt zeigte sich im Vergleich zu der Bewertung in der Gegenwart, dass nicht mehr alle Funktionen von mindestens 150 Probanden als sehr wichtig eingestuft wurden. Dennoch gibt es, wie auch bei der Bewertung in der Gegenwart bei den einzelnen Ökosystemdienstleistungen große Unterschiede. So wurden Sauerstoffproduktion, Klima- und Wasserregulierung, Lebensraum für Pflanzen und Tiere und Nahrungsmittel für die Zukunft von mehr als 350 Probanden als sehr wichtig eingeschätzt. Diese Funktionen wurden also als essentiell zur Aufrechterhaltung des aktuellen hessischen Ökosystems gesehen. Auch Funktionen, wie bspw. Schutz vor Naturkatastrophen, Befruchtung, Rohstoffe und Ästhetisch ansprechende Landschaften waren den Probanden sehr wichtig. Funktionen, in denen die Natur als Grundlage für Wissenschaft und Medizin gilt, oder einen historischen und kulturellen Wert besitzt, waren den Probanden weniger wichtig. Insgesamt zeigt sich jedoch bei den meisten Ökosystemdienstleistungen, dass die Bewertung für die Zukunft etwas geringer ausfällt. Dies hängt mit zwei Faktoren zusammen. Zum einen werden zukünftige Ereignisse generell als weniger wichtig eingestuft, da die Probanden Schwierigkeiten haben, sich zukünftige Ereignisse vorzustellen und zum anderen begünstigt das hohe Durchschnittsalter der Probanden diese Annahme noch zusätzlich, da für Sie der Zeitraum 2030 bzw. 2050 teilweise nicht mehr in ihrem Lebensbereich liegt.

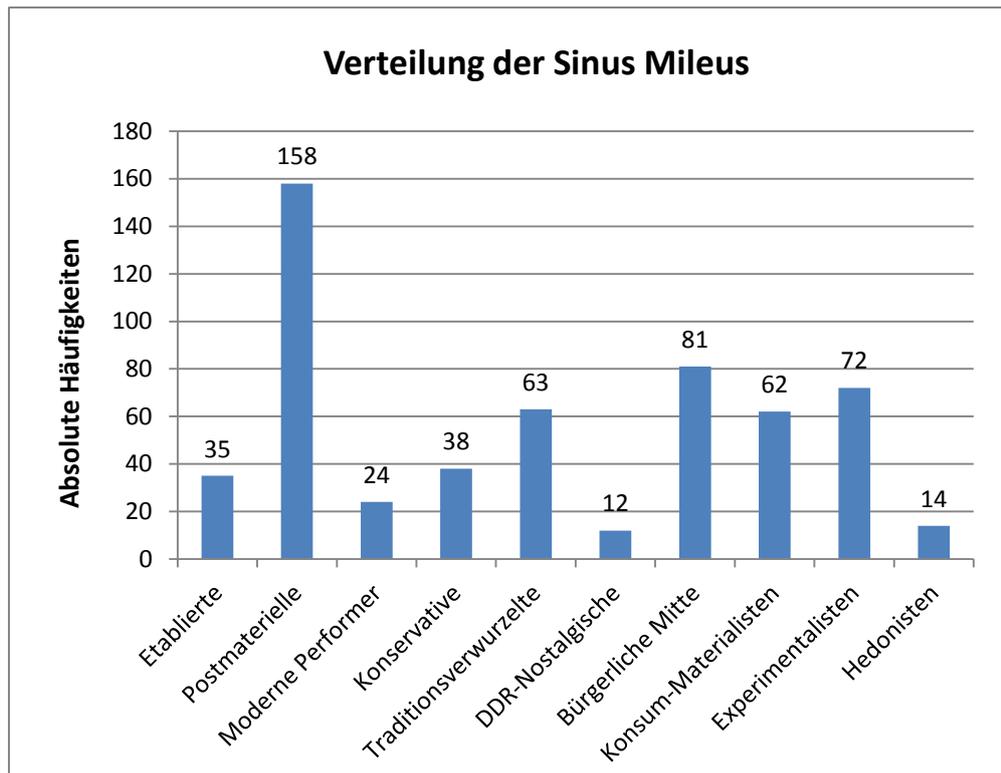


**Abbildung 9:** Veränderungen der ÖSDL in Gegenwart und Zukunft.

Insgesamt zeigte sich, dass die befragten Personen allen Ökosystemdienstleistungen einen hohen Stellenwert beimessen. Wie auch im Leitfrageninterview bereits festgestellt, wurden sichtbare oder essenzielle Funktionen, wie Sauerstoffproduktion, Nahrungsmittel oder Erholung deutlich höher bewertet, als bspw. Naturfunktionen für Forschung und Wissenschaft. Bei der Abfrage der gegenwärtigen Meinung wurde Sauerstoffproduktion als die wichtigste Funktion aller Ökosystemdienstleistungen eingeschätzt. Auch die Fragen nach der Wichtigkeit der einzelnen Ökosystemdienstleistungen zeigten die starke Auseinandersetzung der Probanden mit dem Thema. Nachdem die Probanden einen Text zur zukünftigen Entwicklung erhielten und die Funktionen erneut bewerten mussten, zeigte sich nur eine geringe Verschlechterung der einzelnen Werte, wie in Abbildung 9 zu sehen ist. Dies ist hauptsächlich dem langen Zeithorizont geschuldet und der damit einhergehenden schlechteren Bewertung der zukünftigen Ereignisse, da die Vorstellung bis zum Jahr 2030 bzw. 2050 sehr schwierig ist. Die wichtigste Funktion bei der zukünftigen Bewertung ist die Klimaregulierung. Nachdem die Probanden den im Interview enthaltenen Text gelesen hatten, wurde der Klimaregulierung eine größere Wichtigkeit zugesprochen. Auch der Erhalt dieser Funktion wurde von den Probanden als essenziell angesehen.

Basierend auf den ausgewerteten Fragebögen (s.o.) wurden die Akzeptanz und Bewertung der Ökosystemdienstleistungen aktuell und in Zukunft durch die Bevölkerung analysiert. Durch diese gesammelten Erkenntnisse lassen sich folgende Kernaussagen treffen:

- Die befragten Probanden hatten insgesamt eine sehr große Kenntnis über das Thema Klimawandel und den Schutz bzw. Erhalt unserer Natur. Dies gilt sowohl für die lokale als auch für die überregionale Ebene.
- Die hessische Bevölkerung verbringt einen nicht unerheblichen Teil der Freizeit in der Natur und ist auch bereit durch eigenes Engagement diese zu erhalten. Jedoch ist die Spendenbereitschaft für Organisationen (z.B. NGOs) sehr gering ausgeprägt.
- Für alle abgefragten ÖSDL lässt sich in der Gegenwart eine hohe Wichtigkeit dieser ÖSDL für die Bevölkerung feststellen. Alle ÖSDL werden von mindestens 50 Prozent der Probanden als wichtig oder sehr wichtig eingestuft. Einzig die Informationsfunktionen (Kultur, Wissenschaft etc.) haben einen geringeren Stellenwert.
- Bei der zukünftigen Bewertung der ÖSDL kann ebenfalls eine sehr hohe Wichtigkeit der einzelnen Leistungen festgestellt werden, jedoch verringert diese sich im Mittel um 0,16 Punkte. Die Erklärung hierfür liegt darin, dass die Probanden aufgrund des langen Zeithorizonts den Funktionen einen geringeren Wert beimessen.
- Die jährliche Spendenbereitschaft für Ökosystemdienstleistungen bewegt sich bei den meisten Probanden zwischen unter 5 bis zu 100 Euro. Über 150 Probanden würden jedoch überhaupt keine Spende tätigen.

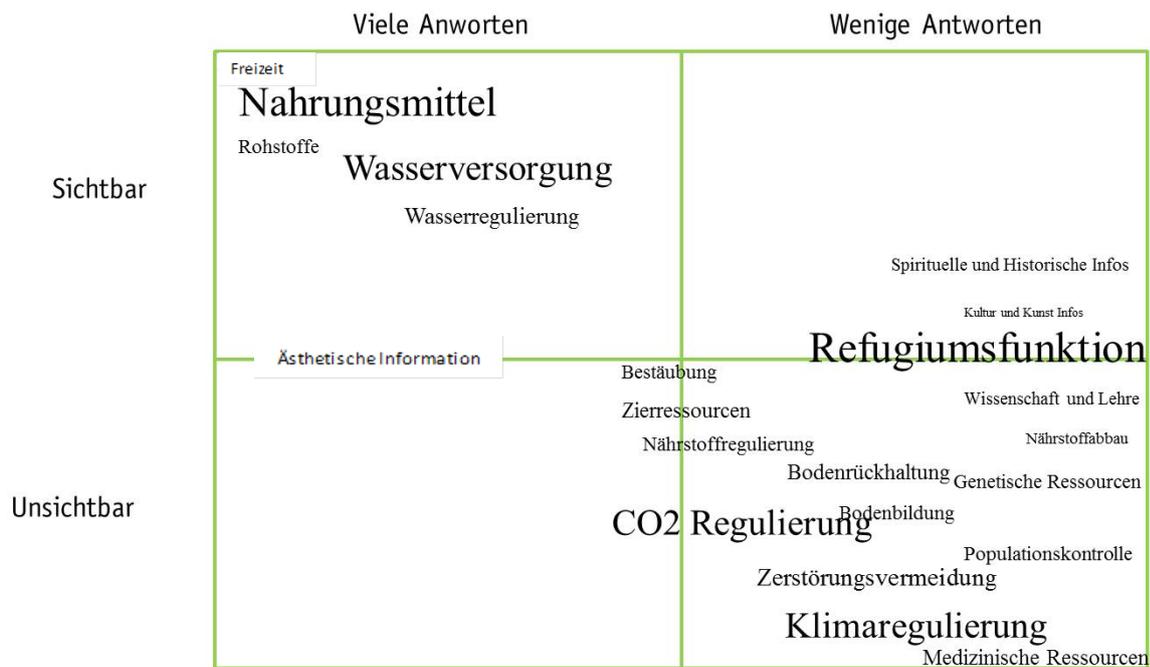


**Abbildung 10:** Einteilung der Probanden in Sinus Milieus

Neben den inhaltlichen Fragen, wurden den Probanden auch Fragen zur Einteilung in die Sinus Milieus gestellt. Die Beantwortung der Fragen nach den Sinus Milieus war essenziell für die spätere räumliche Analyse des Angebotes und der Nachfrage nach ÖSDL, da mit den Daten die Verortung der Milieus in Hessen ermöglicht wurde. Von den ausgefüllten Fragebögen wurden die Abschnitte mit Fragen zur Einordnung in die Sinus-Milieus zur Einordnung in die unterschiedlichen Milieus an die Firma Sinus Sociovision® gesendet. Die Auswertung der Daten ergibt die in Abbildung 10 dargestellte Einteilung. In dieser Abbildung sind alle zehn Sinus-Milieus dargestellt. Auffällig ist die hohe Anzahl an Postmateriellen. Ebenfalls stark vertreten sind die Gruppen Traditionsverwurzelte, Bürgerliche Mitte, Materialisten und Experimentalisten. Diese Einteilung ist wichtig, um die unterschiedlichen Milieus mit Hilfe von Daten der Firma Microm® räumlich zu verorten. Durch diese Verortung in der Fläche lassen sich die unterschiedlichen Milieus anschließend auf Gemeindeebene aggregieren und somit die Nachfrage nach verschiedenen ÖSDL räumlich darstellen.

### 3.3 Zusammenführung der Ergebnisse aus Interview und Fragebogen

Nachdem die Auswertung für das Leitfrageninterview zum kausalen Verständnis und der Fragebogen zur Akzeptanz und Bewertung von Ökosystemdienstleistungen abgeschlossen sind, konnte eine zusammenfassende Analyse durchgeführt werden, welche in der folgenden Abbildung dargestellt ist.



Die Größe der Begriffe beschreibt die Zahlungsbereitschaft

**Abbildung 11:** Kopplung der Ergebnisse des Fragebogens und des Leitfrageninterviews

In Abbildung 11 wurden die Ergebnisse beider Analysen in einer Grafik vereint. In der horizontalen Achse sind die Anzahl der Antworten aus dem Leitfrageninterview aufgetragen. Je mehr Antworten abgegeben wurden, desto weiter links stehen die Ökosystemdienstleistungen. Auf der vertikalen Achse erfolgt eine Einteilung in Sichtbar und Nicht Sichtbar. Sichtbare ÖSDL sind beispielsweise Nahrungsmittel und Rohstoffe in Form von Land- und Forstwirtschaft während Nicht Sichtbare ÖSDL nicht direkt beobachtbar sind, beispielsweise Bodenbildung und Genetische Ressourcen. Diese Einteilung wurde gewählt, damit eine Unterscheidung zwischen den einzelnen ÖSDL erreicht werden konnte. Die Schriftgröße der Begriffe beschreibt die Wichtigkeit der einzelnen Leistungen für die Bevölkerung, gemessen anhand der im Fragebogen abgefragten Zahlungsbereitschaft der Probanden für einzelne Leistungen.

Mit Hilfe dieser Grafik lassen sich zwei wichtige Schlussfolgerungen für die Akzeptanz von ÖSDL in Hessen treffen. Zum einen wird deutlich, dass die Bevölkerung über viele ÖSDL nur wenig weiß und dadurch für diese nur wenige Antworten gegeben wurden. Diese ÖSDL

sind aber auch hauptsächlich nicht wirklich sichtbar für die Bevölkerung, was die wenigen Antworten erklärt. Bei den meisten sichtbaren ÖSDL, wie Nahrungsmittel und Rohstoffe wurden viele Antworten gegeben.

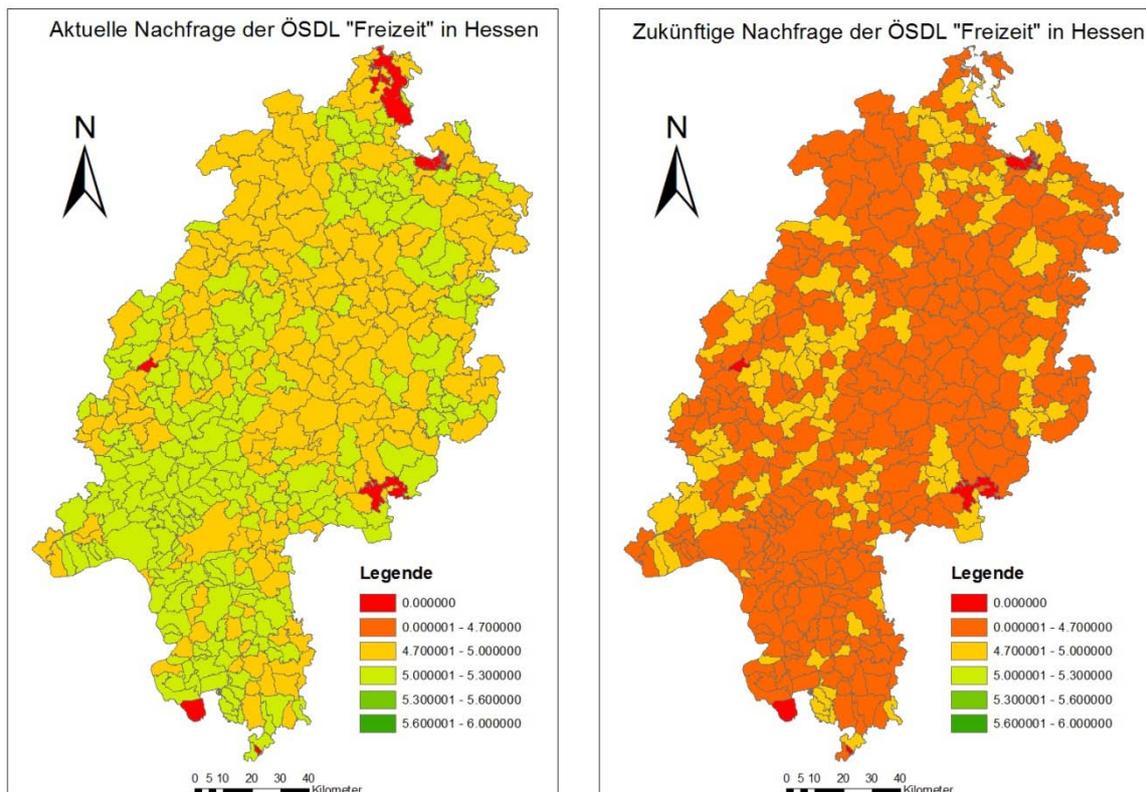
Zum anderen zeigt sich dennoch, dass es bei der Wichtigkeit der ÖSDL, wenn direkt nach den einzelnen Leistungen gefragt wurde, viele als wichtig bis sehr wichtig eingestuft wurden und dabei auch keine Unterscheidung zwischen Sichtbaren und nicht Sichtbaren gemacht wurde.

Nach der ersten zusammenfassenden Analyse, wurde die Darstellung der Nachfrage nach ÖSDL auf Gemeindeebene erstellt. Hierzu wurde basierend auf den Erkenntnissen über die Wichtigkeit von ÖSDL der befragten Personen aus den Fragebogen, die Nachfrage entwickelt. Durch Kombination der Ergebnisse mit Sinus Milieus erhält jedes Milieu repräsentative Werte, die eine Aussage zur Wichtigkeit der einzelnen ÖSDL treffen. Sowohl Angebot als auch Nachfrage (Abbildungen 12 bis 14) werden auf Gemeindeebene dargestellt. Dazu mussten mittels einer GIS-Analyse, vorhandene Informationen über Art und Anzahl der Milieuzugehörigen in unterschiedlich großen Marktzellen, auf die jeweiligen Gemeinden aggregiert werden. So wurde jede Marktzelle mit einer der 426 Gemeinden in Hessen in Verbindung gebracht. Die zugehörigen Informationen, bestehend aus der Anzahl aus Ein- bis Fünf- bzw. Mehr-Personenhaushalte der zehn verschiedenen Milieus, wurden auf Personen umgerechnet, anschließend wurde die Summe dieser Personen pro Gemeinde gebildet. Das Ergebnis war die Gesamtanzahl der Personen in einer Gemeinde sowie die jeweilige Summe der Milieugehörigen einer Gemeinde. Dadurch ließ sich schließlich der Wert der Zugehörigkeit zu einem Milieu anteilig über die Gemeinde bestimmen. Durch Verrechnung der Milieuanteile einer Gemeinde mit den repräsentativen Werten der einzelnen Milieus aus der Befragung, erhielt so letztendlich jede Gemeinde einen charakteristischen Wert, der eine Aussage über die Wichtigkeit bzw. Wertigkeit der Gemeinde zur betrachteten Ökosystemdienstleistungen trifft.

Basierend auf diesem Verfahren lässt sich nun beispielweise die Nachfrage nach „Freizeit“ (Erholung), „Ästhetische Information“ (Ästhetik) und „Refugium-Funktion“ für heute sowie für die Zukunft auf Gemeindeebene darstellen (Abbildungen 12-14). Diese drei Ökosystemdienstleistungen wurden exemplarisch zur Darstellung ausgewählt, weil Sie einen sehr lokalen Bezug haben, was bspw. bei Nahrungsmitteln nicht der Fall ist. Hierzu ist anzumerken, dass die Wertung der Probanden zur Nachfrage nach den einzelnen Ökosystemdienstleistungen generell auf einem hohen Niveau lag. In den folgenden Abbildungen sind sechs Abstufungen gewählt worden. Alle Werte über 5.6 bedeuten eine sehr große Nachfrage, Werte von 4.7 bis 5.5 stellen immer noch eine hohe Nachfrage dar. Alle Werte unter 4.7 bis 0.001 stellen

eine mittlere Nachfrage dar. Bei den Regionen mit dem Wert 0 gibt es keine Nachfrage, da dort nur sehr wenige Menschen leben.

Die zukünftige Nachfrage liegt in den meisten Fällen leicht unter den Werten der aktuellen Nachfrage. Dies lässt sich damit erklären, dass die Probanden bedingt durch den längeren Zeithorizont für sich individuell betrachtet den verschiedenen ÖSDL eine geringere Bedeutung zumessen, etwa weil sie diese beispielsweise altersbedingt nicht mehr aktiv nutzen können.

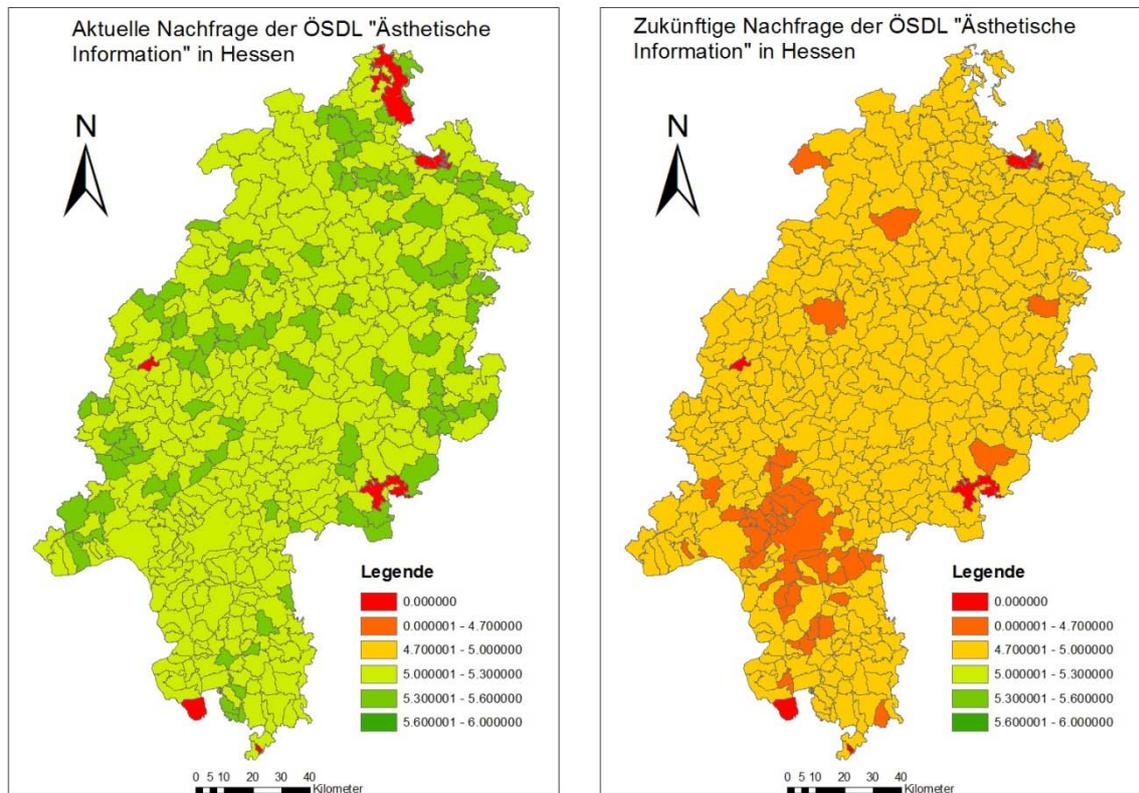


**Abbildung 12:** Nachfrage nach der ÖSDL Freizeit in Hessen heute (links) und in Zukunft (rechts).

Abbildung 12 zeigt links die heutige und rechts die zukünftige Nachfrage nach der Ökosystemdienstleistung Freizeit. Bei der aktuellen Nachfrage bewegen sich alle Gemeinden im Bereich einer hohen Nachfrage nach der Ökosystemdienstleistung Freizeit. Generell lässt sich feststellen, dass die Nachfrage in Süd- und Westhessen etwas höher ist als in Nord- und Osthessen. Dieser Verteilung kann als ein höherer Bedarf von Städtern nach Freizeitangeboten in der „Natur“ im Vergleich zu Menschen, die auf dem Land leben interpretiert werden.

Bei der zukünftigen Nachfrage nach der Ökosystemdienstleistung Freizeit zeigt sich zunächst eine allgemeine Verringerung der Werte. Dies liegt an der Bewertung von zukünftigen Entscheidungen, welche bereits beschreiben wurden. Allgemein lässt sich feststellen, dass die Nachfrage in Westhessen höher ist als in Nord-, Süd- und Osthessen. Bei den Einwohnern der

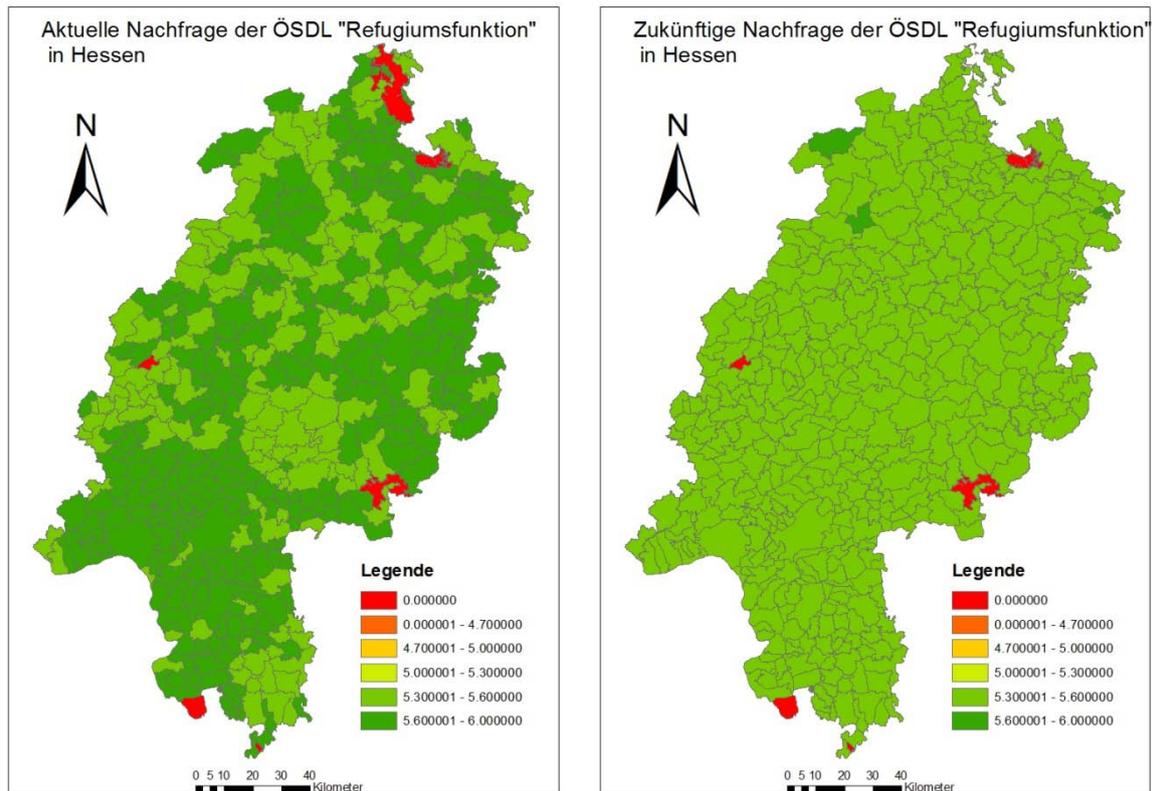
Gemeinden des Hochtaunus-Kreis, Main-Taunus-Kreis und Rheingau-Taunus-Kreis besteht die größte Nachfrage nach der ÖSDL Freizeit.



**Abbildung 13:** Nachfrage nach der ÖSDL Ästhetische Information heute (links) und in der Zukunft (rechts).

Abbildung 13 zeigt die Nachfrage nach der ÖSDL „Ästhetische Information“ heute (links) und in Zukunft (rechts). Bei Betrachtung der heutigen Nachfrage fällt auf, dass diese im Rhein-Main-Gebiet und in Südhessen niedriger ist. Rund um die Stadt Kassel besteht demgegenüber generell eine hohe Nachfrage. Des Weiteren gibt weitere Gemeinden in Ost-, Mittel- und Westhessen, in denen eine hohe Nachfrage herrscht, da die Menschen dort möglicherweise häufiger Zeit in der Natur verbringen und eintönige Landschaften weniger schätzen.

Bei Betrachtung der zukünftigen Nachfrage wird deutlich, dass diese ebenso wie in der Gegenwart gerade im Rhein-Main-Gebiet niedriger ist. In allen anderen Gemeinden zeigt sich nur eine geringe Veränderung zur gegenwärtigen Nachfrage nach der ÖSDL Ästhetische Information.



**Abbildung 14:** Nachfrage nach der Ökosystemdienstleistung Refugium-Funktion heute (links) und in Zukunft (rechts).

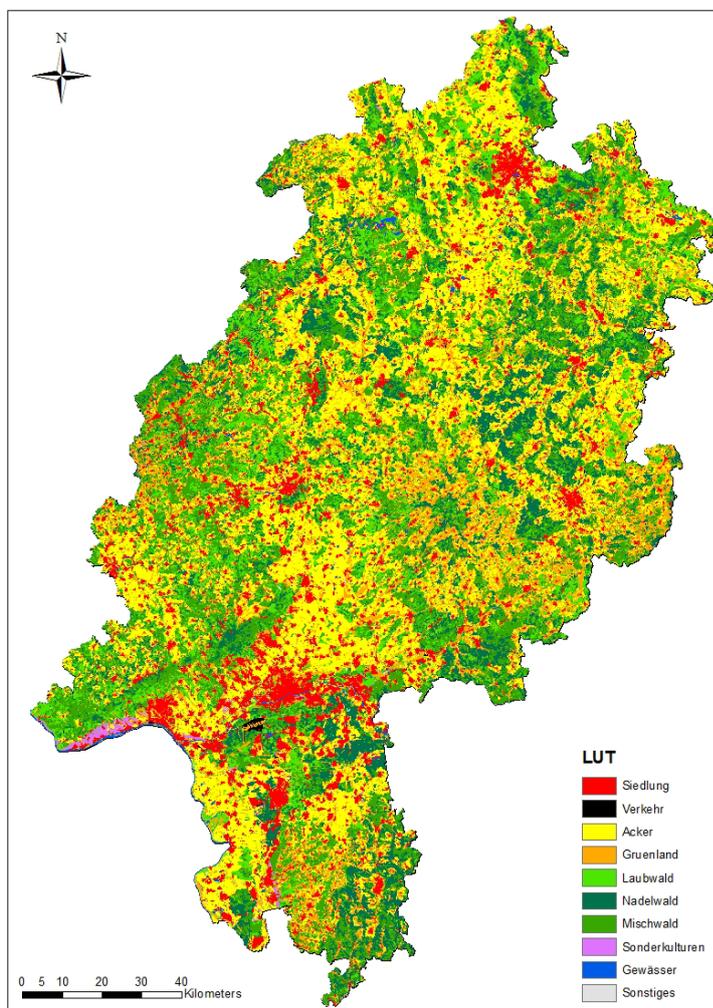
Die heutige Nachfrage nach der ÖSDL Refugium-Funktion in Hessens Gemeinden ist räumlich relativ heterogen verteilt (Abbildung 14 links). Gemeinden mit der höchsten Nachfrage befinden sich eher im Süden vor allem um Wiesbaden und Frankfurt, im Main-Taunus und Hochtaunuskreis. Ansonsten ist in eine sehr heterogene Verteilung von einer sehr hohen und hohen Nachfrage in Hessen erkennbar. Hier zeigt sich, dass gerade Gemeinden mit einem hohen Flächenanteil an naturnahen Ökosystemen eine vergleichsweise geringere Nachfrage aufweisen, da dort Tiere und Pflanzen einen natürlichen Lebensraum finden. Gerade in Städten ist die Nachfrage jedoch sehr hoch, da sich dort keine große Artenvielfalt bzw. auch nur vergleichsweise wenig Rückzugsmöglichkeit für Flora und Fauna befinden.

Die zukünftige Nachfrage nach der ÖSDL Refugium-Funktion in Hessens Gemeinden zeigt ein leicht verändertes Muster. In Nordhessen bleibt die Nachfrage in einigen Gemeinden sehr hoch, während alle anderen Gemeinden nur noch eine hohe Nachfrage haben. Auch hier besteht das Problem, dass die Menschen die Wichtigkeit der Ökosystemdienstleistung Refugiumsfunktion in Zukunft als etwas weniger wichtig einschätzen und dadurch ein Angleich zwischen Stadt und Land stattfindet.

## 4 Daten und Modelle zur Analyse von Ökosystemdienstleistungen

### 4.1 Räumlicher Analyserahmen und Daten zur Landnutzung

Ausgangspunkt für die modellbasierten Analysen der Indikatoren, die für die Bewertung von ÖSDL herangezogen werden (mit Ausnahme der Ernteerträge) bildet ein geographisches Raster mit der Zellgröße 250 x 250 m, welches das gesamte Landesgebiet von Hessen abdeckt (Abbildung 15). Jede Rasterzelle besitzt eine dominante Landbedeckung. Abgeleitet wurde das Raster mit Hilfe eines GIS aus dem ATKIS® Datensatz, der vom HLUG zur Verfügung gestellt wurde. Es werden 10 verschiedene Typen der Landbedeckung unterschieden: Siedlung, Verkehrsflächen, Ackerland, Grünland, Laubwald, Nadelwald, Mischwald, Sonderkulturen, Gewässer und Sonstige.



**Abbildung 15:** Landnutzung in Hessen (250 x 250 m Raster).

In einem zweiten Schritt werden für das Ackerland Informationen über den Anbau von Feldfrüchten generiert (Landnutzungsinformationen), indem mit dem LandSHIFT Modell die in den statistischen Daten vorgegebenen Flächen auf den Landbedeckungstyp Ackerland verteilt

werden (Abschnitt 5.4), wobei jeder Zelle ein Feldfruchttyp zugeordnet wurde. Da in den ATKIS Daten mehr Ackerland ausgewiesen ist als in der Anbaustatistik, wird der „Flächenüberhang“ in dieser Studie vereinfachend als Brachfläche klassifiziert.

## 4.2 Wetterdaten

Wetterdaten wurden für die Analyse der Auswirkungen des Klimawandels auf Ernteerträge und die Nährstoffretention verwendet. Im Rahmen des INKLIM-A Forschungsverbunds wurden verschiedene Klimaprojektionen für ein SRES A1B Szenario zur Verfügung gestellt. Diese umfassten BIAS-Korrigierte Ergebnisse von Simulationsläufen der dynamischen regionalen Klimamodelle COSMO-CLM und REMO sowie Berechnungen des statistischen Modells WETTREG. Für COSMO-CLM konnte dabei ein Lauf, angetrieben durch das globale Zirkulationsmodell ECHAM5 sowie ein Lauf angetrieben durch das HADCM3 Modell genutzt werden. Für REMO und WETTREG standen demgegenüber lediglich Läufe mit ECHAM5-Antrieb zur Verfügung. Mit WETTREG wurden insgesamt 10 Läufe durchgeführt, um die statistische Variabilität des Modellansatzes widerzuspiegeln. Für unsere Analysen wurden die Mittelwerte der WETTREG-Läufe verwendet. Die projizierten Wetterdaten standen für Hessen auf einem Raster mit der Auflösung  $0,2^\circ \times 0,2^\circ$  als Tageswerte zur Verfügung. Für die Ertragsmodellierung wurden die Zeitreihen 2031-2060 sowie 2071-2100 verwendet. Darüber hinaus lagen Wetterdaten für die Referenzperiode 1971-2000 vor.

## 4.3 Bodendaten

Ein weiterer wichtiger Faktor für die Simulation landwirtschaftlicher Erträge sind die Bodeneigenschaften. Als Datengrundlage wurde die digitale Bodenübersichtskarte von Hessen (Stand: 1997) mit der Auflösung 1:500.000, welche vom Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie zur Verfügung gestellt wurde, genutzt. In dieser Karte ist der Boden von Hessen in 42 Bodentypen unterteilt. Diese wurden mit dem Wetterdatenraster verschnitten und jeweils der flächenhaft dominante Bodentyp ermittelt. Da im DNDC Modell keine Datenbank dieser Bodentypen vorhanden ist, wurden die benötigten Eigenschaften für die unterschiedlichen Bodentypen zusammengetragen und so den Rasterzellen zugeteilt. Die für das DNDC Modell benötigten Bodeneigenschaften sind der organische Kohlenstoffgehalt, der Tonanteil, der pH Wert und die Dichte des Bodens (Tabelle A2). Eine Übersicht zu den Eigenschaften jedes Bodens ist in Tabelle A9 dargestellt.

#### 4.4 Simulation von Ernteerträgen

Zur Untersuchung möglicher Folgen des Klimawandels auf Ernteerträge in der hessischen Landwirtschaft wurde das prozessorientierte Agrarökosystemmodell DNDC genutzt (Li et al., 1997). Neben dem Pflanzenwachstum bildet das Modell Wasserflüsse sowie biogeochemische Stoffkreisläufe (Stickstoff und Kohlenstoff) ab. Außerdem ist es möglich, landwirtschaftliches Management u.a. durch die Festlegung von Düngegaben sowie Aussaat und Erntezeitpunkten zu definieren. Neben dem Management sind Klimadaten (Temperatur, Niederschlag, Einstrahlung, CO<sub>2</sub>-Konzentration) sowie Informationen über die Bodencharakteristiken die wichtigsten Eingabegrößen. Die zeitliche Auflösung des Modells beträgt einen Tag. Eine Übersicht über den Aufbau von DNDC findet sich in Anhang 2.

Ernteerträge wurden für das aktuelle Klima sowie die verschiedenen Modellergebnisse (siehe 4.2) für die Gegenwart (1981-2010) und die Zukunft für Weizen, Kartoffeln (Nahrung) sowie Silagemais und Raps (Tierfutter, energetische Nutzung) gerechnet. Hierbei wurden jeweils die mittleren Erträge für die 30-jährigen Zeitreihen 1981-2010, 2036-2065 sowie 2071-2100 analysiert. Die Simulationsstudie wurde auf den für das Projekt zur Verfügung gestellten 0,2° Klimazellen durchgeführt. Für jede Klimazelle wurde basierend auf der Bodenkarte Hessen der dominante Bodentyp identifiziert und im Modell mit den entsprechenden Parameterwerten abgebildet. Zur Auswertung der Simulationsergebnisse wurden diese auf Ebene von Landkreisen aggregiert. Hierzu wurde mit einem GIS die räumliche Überlappung von Klimazellen mit den Landkreisen bestimmt und dann der mittlere Ertrag dieser Klimazellen dem jeweiligen Landkreis zugeordnet.

Wichtig für den Ertrag landwirtschaftlicher Systeme ist auch, in welcher Form die landwirtschaftlich genutzte Fläche bewirtschaftet wird. Im DNDC Modell können Annahmen über Düngung sowie Aussaat- und Erntezeitpunkte getroffen werden. Eine Bewässerung der Pflanzen wird in der Studie nicht simuliert.

Für die Informationen zur Düngung wurde auf die Empfehlungen des Landesbetriebs Landwirtschaft Hessen zurückgegriffen. Für Mais wird eine Düngung von 200 kg N/ha in 2 Gaben geraten (Wehr, 2014). Bei Weizen sollte 220 kg N/ha gedüngt werden, verteilt auf eine Startgabe von 120 kg N/ha, eine Schoßgabe von 40 kg N/ha und eine Spätgabe von 60 kg N/ha (Hommel, 2014). Im DNDC Modell wird die Menge an Dünger pro Rasterzelle für die gesamte Saison eingegeben. Eine zeitliche Unterteilung der Düngung erfolgt nicht. Für diese Arbeit wird die Düngerausbringung je Feldfrucht für ganz Hessen als identisch angenommen.

Weitere Modellparameter beschreiben die Zeitpunkte für Aussaat und Ernte. Diese hängen stark von den Klimabedingungen und der Höhenlage des Anbaugebietes ab. Mais benötigt eine Keimtemperatur zwischen 8-10 °C. Diese Bedingung kann in der Zeitspanne von Mitte April bis Anfang Mai gegeben sein. Zu frühe Saattermine verzögern die Keimung und lückenhafte Bestände können die Folge sein (proplanta, 2014a). Die optimale Saatzeit für Winterweizen liegt zwischen dem 1. und 20. Oktober in den meisten Anbaugebieten. Eine verfrühte Aussaat führt meist zu einem höheren Krankheitsbefall. Die Minimumtemperatur zur Keimung beträgt 3-4 °C. Der Winterweizen benötigt eine Reifezeit von 280 - 350 Tagen. Somit fällt die Ernte auf den Hochsommer (proplanta, 2014c).

Die Zeitpunkte für Aussaat und Ernte liegen in einem Spektrum von etwa einem Monat. Das Modell verlangt allerdings diese Daten auf den Tag genau. Für die Simulation wurde der Mittelwert dieses Zeitintervalls gewählt. Es können für jede Zelle einzeln die Aussaat- und Erntetermine für jede Feldfrucht eingegeben werden. In dieser Studie wurden allerdings für ganz Hessen die gleichen Zeiten für Aussaat und Ernte je Feldfrucht angenommen. Weiterhin wurde für den Zeitraum 2031-2061 der Erntezeitpunkt für Winterweizen um 15 Tage, für den Zeitraum 2071-2100 um 30 Tage nach vorne gelegt. Testläufe mit dem Modell hatten gezeigt, dass eine Beibehaltung der Erntetermine zu einer drastischen Überschätzung der Ernteerträge führt, da insbesondere die späten Entwicklungsstadien Samenreife und Absterben des Winterweizens nicht korrekt im Modell abgebildet zu sein scheinen.

## 4.5 Berechnung der Kohlenstoffspeicherung und Nährstoffretention

Zur Bestimmung der Indikatoren biologische Kohlenstoffspeicherung und Nährstoffretention wurde das Werkzeug InVEST verwendet (Nelson et al., 2009). Hierbei handelt es sich um ein Plugin für das Geographische Informationssystem ArcGIS, das in diesem Rahmen unterschiedliche Modellansätze und Bewertungsmethoden für ÖSDL zur Verfügung stellt. Für die Analysen wurden zwei Module aus InVEST genutzt:

### Kohlenstoffspeicherung

Das InVEST Modul zur Kohlenstoffspeicherung (Tallis, 2012) beschreibt die Kohlenstoffgehalte der in Abschnitt 5.1. identifizierten verschiedene Landbedeckungs- bzw. Landnutzungstypen zu einem bestimmten Zeitpunkt, wobei zwischen den Speichern oberirdischer- und unterirdischer Biomasse, toter organischer Materie und Bodenkohlenstoff unterschieden wird (empirischer Modellansatz). Grundlage für das Modell Modul ist die in Abschnitt 4.1 vorgestellte ATKIS-basierte Landbedeckungskarte im Rasterformat. Das Modell überträgt die Kohlenstoffgehalte auf die einzelnen Zellen und erzeugt so Rasterkarten für jeden Kohlenstoffpool und die gesamte gespeicherte Kohlenstoffmenge. Das Modell stellt außerdem die Möglichkeit bereit, neben einer aktuellen auch eine zukünftige Landnutzungskarte zu verwenden, womit die Berechnung der Netto-Kohlenstoffänderung über die Zeit (beispielsweise in den Landnutzungsszenarien) möglich wird.

**Tabelle 3:** Kohlenstoffgehalte der unterschiedlichen Landbedeckungs-/Landnutzungstypen [t/ha].

	<b>Oberirdische Biomasse</b>	<b>Unterirdische Biomasse</b>	<b>Boden</b>	<b>Tote Biomasse</b>	<b>Gesamt</b>
Siedlung	7,15	2,00	16,37	1,87	27,39
Ackerland	2,25	1,35	71,06	0,33	74,99
Grünland	3,24	9,83	86,87	0,28	100,22
Laubwald	91,8	24,7	106,41	16,43	239,34
Nadelwald	69,21	18,64	96,26	18,36	202,47
Mischwald	81,86	22,04	101,94	17,28	223,12
Kurzumtrieb	35,53	5,34	63,03	2,75	106,65
Sonstiges	9,39	3,60	10,86	2,29	26,14
Ackerland ökologischer Landbau	2,08	1,25	71,94	0,25	75,52
Grünland ökologischer Landbau	3,09	9,4	87,53	0,21	100,23

Tabelle 3 zeigt die für die Analyse verwendeten Kohlenstoffgehalte. Die Ermittlung erfolgte anhand einer umfangreichen Literaturanalyse (Tabelle A10). Für die Nutzung im ökologischen Landbau wurden für die beiden ökologischen Nutzungsformen mit dem größten Flächenanteil, Ackerland und Grünland, eigene Kohlenstoffgehalte ermittelt, um dem geringeren Ertrag, bei teilweise gesteigerter Kohlenstoffspeicherung im Boden Rechnung zu tragen. Für die Nutzung in InVEST wurden für die Landnutzungstypen „ökologisches Ackerland“ und „ökologisches Grünland“ gewichtete Landnutzungstypen erstellt. Diese ergeben sich aus den Kohlenstoffgehalten der ökologischen und konventionellen Landnutzung gewichtet mit ihrem tatsächlichen oder im Szenario angenommenen Anteil am gesamten Ackerland bzw. Grünland. Auch die Landnutzungstypen Siedlung, Mischwald und Sonstiges wurden aus gewichteten Anteilen anderer Landnutzungstypen berechnet.

### Nährstoffretention

Das InVEST Modul zur Nährstoffretention bearbeitet bei der Berechnung der zurückgehaltenen Nährstoffe drei Komponenten: Wateryield, Nutrient-Retention und Economic Valuation (Tallis et al., 2012). Für das Projekt werden nur die ersten beiden Komponenten benutzt. Als Grundlage wird als erster Schritt mit der Wateryield-Komponente das jährliche durchschnittliche Wasserdargebot pro Zelle berechnet. Diese Komponente basiert auf dem jährlichen durchschnittlichen Niederschlag und der Budyko-Kurve (Zhang et al., 2001). Zur Berechnung des Wasserdargebots ( $Y_{xj}$ ) wird der Niederschlag ( $P_x$ ) pro Zelle betrachtet und die jährliche tatsächliche Evapotranspiration ( $AET_{xj}/P_x$ ) abgezogen. Diese Rechnung ist in der folgenden Gleichung dargestellt:

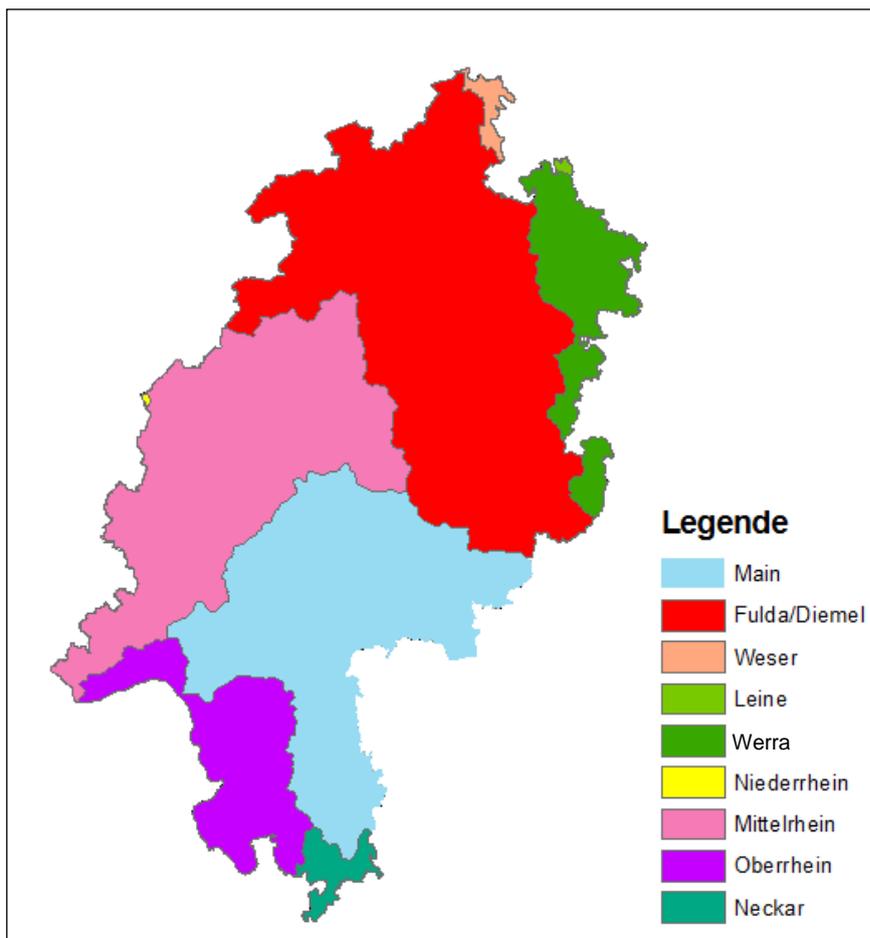
$$Y_{xj} = \left(1 - \frac{AET_{xj}}{P_x}\right) * P_x$$

Die tatsächliche Evapotranspiration ist eine Approximation der Budyko-Kurve, die von Zhang et al. (2001) entwickelt wurde. Zhang und Kollegen beschreiben dabei die tatsächliche Evapotranspiration als Funktion folgender Faktoren: pflanzenverfügbarer Wassergehalt des Bodens ( $AWC_x$ ), potenzielle Evapotranspiration ( $ET_{0x}$ ), Evapotranspirationskoeffizienten der Vegetation ( $k_{xj}$ ), Zhang-Konstante ( $Z$ ). Diesen Zusammenhang zeigen die folgenden Gleichungen:

$$\frac{AET_{xj}}{P_x} = \frac{1+w_x*R_{xj}}{1+w_x*R_{xj}+\frac{1}{R_{xj}}} \text{ mit } w_x = Z * \frac{AWC_x}{P_x} \text{ und } R_{xj} = \frac{k_{xj}*ET_{0x}}{P_x}$$

Der zweite Schritt ist die Berechnung der zurückgehaltenen Nährstoffe pro Zelle mit der Nutrient-Retention-Komponente. Die vorliegende Studie konzentriert sich dabei auf Stickstoff

(N). Input für die Berechnung ist der Stickstoffexport durch die unterschiedlichen Landbedeckungs-/Landnutzungstypen. Wichtige Einflussgrößen sind die Ausbringung von Düngemitteln sowie die atmosphärische Deposition von Stickstoff. Für letztgenannte Größe wurde in Anlehnung an Pfadenhauer (1991) ein Wert von 15 kg N pro Hektar und Jahr angenommen. Basierend auf Exportkoeffizienten wird dann die Stickstoffmenge abgeschätzt, die pro Zelle exportiert wird. Diese Exportkoeffizienten wurden in einer Literaturstudie ermittelt (Tabelle A11). Unter Einbeziehung der exportierten Nährstoffe pro Zelle lässt sich abschätzen, welche Nährstoffmenge durch die stromabwärts liegenden Zellen zurückgehalten wird. Für diese Berechnung nutzt die Nutrient-Retention-Komponente das Gefälle, das aus einem digitalen Höhenmodell abgeleitet wurde, um die Abflusspfade festzulegen. Außerdem geht in die Berechnung die Fähigkeit der Nährstoffrückhaltung der einzelnen Landnutzungstypen ein. Daraus wird die Nährstoffmenge, die von jeder Zelle zum Fließgewässer gelangt, berechnet und für jedes Teileinzugsgebiet aufsummiert (Abbildung 16).



**Abbildung 16:** Teileinzugsgebiete zur Berechnung der Stickstoffretention.

## 4.6 Landschaftskapazität

Für die Bewertung der ÖSDL Refugium-Funktion, Ästhetik-Information und Freizeit wurde ein Ansatz entwickelt, der auf dem in Abschnitt 2.4. beschriebenen Konzept der Landschaftskapazität von Burckhard et al. (2009) aufbaut. Diese Kapazität beschreibt, inwieweit ein Landnutzungstyp in der Lage ist, eine bestimmte ÖSDL bereitzustellen. Die Evaluation erfolgt in der Regel über die Vergabe von Bewertungspunkten durch Experten. Im Rahmen dieses Projekts wurde dieses Verfahren verfeinert, indem mit dem Analytic Hierarchy Process (AHP) eine konsistente Methode zur Erstellung einer Priorisierung (bzw. eines Ranking) der Landnutzungstypen hinsichtlich ihrer Kapazität zur Bereitstellung von ÖSDL verwendet wird (Saaty, 1990). Abbildung 17 stellt die Rechenschritte schematisch dar. Im ersten Schritt wird für die ausgewählte ÖSDL innerhalb der Evaluationsmatrix ein paarweiser Vergleich über alle in 4.1 spezifizierten Landnutzungstypen ( $a_1 \dots a_n$ ), hinsichtlich ihrer Kapazität diese ÖSDL bereitzustellen vorgenommen. Die jeweilige Bewertung erfolgt auf einer Skala von 1 bis 9. Vergleicht man beispielsweise die Landnutzungstypen  $a_1$  und  $a_2$ , bedeutet der Wert  $a_{12} = 1$ , dass beide Landnutzungstypen die gleiche Kapazität aufweisen, während der Wert  $a_{12} = 9$  aussagt, dass  $a_1$  eine wesentlich größere Kapazität als  $a_2$  besitzt. Wird die Kapazität von  $a_1$  wesentlich geringer als von  $a_2$  eingeschätzt, wird der Kehrwert in die Matrix eingetragen (in diesem Falle also  $a_{12} = 1/9$ ).

	Evaluationsmatrix				Normalisierung				$r_i$	Gewicht $w$
	$a_1$	$a_2$	...	$a_n$	$a_1$	$a_2$	...	$a_n$		
$a_1$	$a_{11} = 1$	$a_{12}$	...	$a_{1n}$	$a_{11}/c_1$	$a_{12}/c_2$	...	$a_{1n}/c_n$	$r_1$	$w_1 = r_1/n$
$a_2$	$a_{21} = 1/a_{12}$	1	...	$a_{2n}$	$a_{21}/c_1$	$a_{22}/c_2$	...	$a_{2n}/c_n$	$r_2$	$w_2 = r_2/n$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$a_n$	$a_{n1} = 1/a_{1n}$	$a_{n2}$	...	$a_{nn} = 1$	$a_{n1}/c_1$	$a_{n2}/c_2$	...	$a_{nn}/c_n$	$r_n$	$w_n = r_n/n$
$c_i$	$c_1 = \sum_{i=1}^n a_{i1}$	$c_2 = \sum_{i=1}^n a_{i2}$	...	$c_n$	1	1	...	1	$n$	1

**Abbildung 17:** Schematische Vorgehensweise der Bewertungsmethode für Hessen: (1) Paarweiser Vergleich der Landnutzungstypen hinsichtlich ihrer Kapazität zur Bereitstellung einer betrachteten ÖSDL in der Evaluationsmatrix; (2) Normalisierung der Ergebnisse und Berechnung der Gewichte/Prioritäten der einzelnen Landnutzungstypen als Grundlage für ihr Ranking (nach Meixner und Haas, 2002).

Im zweiten Schritt werden dann die Gewichte/Prioritäten der einzelnen Landnutzungstypen abgeleitet. Dies geschieht über die Berechnung der Eigenvektoren der Evaluationsmatrix. Dazu werden zunächst die Spaltensummen ( $c_i$ ) der Evaluationsmatrix ermittelt und auf 1 normiert, indem man jeden Paarvergleichswert durch die Spaltensumme dividiert (Matrix Normalisierung). Aus der normalisierten Matrix werden anschließend die Zeilensummen ( $r_i$ )

berechnet und dann durch die Anzahl der Elemente dividiert. Ergebnis ist das Gewicht/Priorität  $w$  der einzelnen Landnutzungstypen. Auf Grundlage dieser Werte kann dann das Ranking der Landnutzungstypen erstellt werden. Zur räumlichen Analyse werden die Bewertungsergebnisse über ein GIS direkt den Zellen mit den jeweiligen Landnutzungstypen zugewiesen. In einem Folgeschritt werden dann die Bewertungen der Zellen, die in einer Gemeinde liegen flächenanteilig addiert und der so berechnete Gesamtwert der jeweiligen Gemeinde zugewiesen. Der oben beschriebene paarweise Vergleich wurde in Form einer Befragung von 18 Wissenschaftlern und Studierenden (Umweltingenieurwesen und Nachhaltiges Wirtschaften) durchgeführt. Aus den individuellen Gewichten/Prioritäten wurde dann für jeden Landnutzungstyp das arithmetische Mittel berechnet. Die Ergebnisse dieser Bewertung sind in Tabelle 4 dargestellt. Siedlung und Verkehrsflächen haben jeweils die geringste Kapazität zur Bereitstellung der betrachteten ÖSDL. Die höchsten Prioritäten für Freizeit und Refugium-Funktion wird Mischwald zugewiesen, während für die Ästhetik-Information Wasser die größte Bedeutung besitzt.

**Tabelle 4:** Bewertung der Landnutzungstypen hinsichtlich ihrer Kapazität zur Bereitstellung der ÖSDL Refugium-Funktion, Ästhetik Information und Freizeit.

<b>Landbedeckung</b>	<b>Refugium-Funktion</b>	<b>Ästhetik-Information</b>	<b>Freizeit</b>
Siedlung	0,025	0,030	0,053
Verkehr	0,015	0,015	0,015
Acker	0,050	0,063	0,040
Grünland	0,093	0,115	0,113
Laubwald	0,183	0,145	0,155
Nadelwald	0,153	0,148	0,133
Mischwald	0,238	0,190	0,223
Sonderkulturen	0,060	0,083	0,065
Wasser	0,153	0,208	0,190
Sonstiges	0,030	0,010	0,015
<b>Summe</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

## 4.7 Simulation von Landnutzungsänderungen

Das Landnutzungsmodell LandSHIFT<sup>6</sup> dient zur räumlichen und zeitlichen Simulation von Landnutzungsänderungen bedingt durch den Anbau von Nahrungs- und Energiepflanzen, Grünlandnutzung und Siedlungsentwicklung. Eine detaillierte Beschreibung findet sich in Schaldach et al. (2011) und Alcamo et al. (2011). Für das vorliegende Projekt wurde eine Modellversion für Hessen entwickelt. Das Modell arbeitet auf dem in Abschnitt 4.1 beschriebenen Analyseraster mit einer Zellgröße von 250 x 250 m. Jede Rasterzelle besitzt einen dominanten Landnutzungstyp sowie Informationen über ihre naturräumlichen Eigenschaften (z.B. Topographie, Klima und Bodeneigenschaften), Siedlungsfläche und Verkehrsinfrastruktur. Auf Basis dieser Daten errechnet das Modell die wahrscheinlichste Landnutzung für jede Rasterzelle. Die Modellergebnisse sind Rasterkarten, welche für die spezifizierten Szenarien die entsprechenden Landnutzungsänderungen darstellen.

Das Modell besteht aus zwei Modulen. Das Modul „Umwelt“ bildet biophysikalische und hydrologische Prozesse ab. Berücksichtigt werden dabei biophysikalische Bedingungen wie unterschiedliche Bodenqualitäten, Klimabedingungen und Ertragspotenziale. In der für dieses Projekt genutzten Modellversion besteht das Modul aus einer Datenbank (Lookup-Table) in der die mit DNDC berechneten Ernteerträge für den Zeitraum 1991-2000 hinterlegt sind. Diese Informationen werden den jeweiligen Rasterzellen zugeordnet. Demgegenüber steht das Modul „Landnutzung“. Es simuliert Landnutzungsentscheidungen im Rahmen unterschiedlicher menschlicher Aktivitäten (in der beschriebenen Version Anbau von Feldfrüchten) und die daraus entstehende räumliche- und zeitliche Dynamik von Landnutzungsänderungen. In jedem Simulationsschritt führt eine Aktivität zwei grundlegende Arbeitsschritte durch. In Arbeitsschritt 1 erfolgt in Form einer multikriteriellen Analyse (MCA) (Eastman et al., 1995) eine Standortbewertung für alle Rasterzellen:

$$\psi_k = \underbrace{\sum_{i=1}^n w_i p_{i,k}}_{\text{Eignung}} \times \underbrace{\prod_{j=1}^m c_{j,k}}_{\text{Beschränkungen}} \quad , \text{mit } \sum_i w_i = 1, \text{ und } p_{i,k}, c_{j,k} \in [0,1]$$

Der Präferenzwert  $\psi$  einer Zelle  $k$  gibt Auskunft über die relative Güte dieser Zelle für eine bestimmte Aktivität. Die Werte liegen zwischen 0 (schlechteste) und 1 (beste). Der Präferenzwert setzt sich aus zwei Anteilen zusammen. Die Eignung ist die gewichtete Summe von Faktoren, die zur Güte einer Zelle beitragen (z.B. naturräumliche Gegebenheiten, mögliche Ernteerträge oder geographische Lagebeziehungen). Diese Faktoren werden zwischen 0 und 1

<sup>6</sup> Land Simulation to Harmonize and Integrate Freshwater availability and the Terrestrial environment

normiert (Geneletti, 2004). Mit dem Gewichtungsfaktor  $w_i$  wird der Einfluss der einzelnen Faktoren  $p_{i,k}$  am Gesamtwert bestimmt. Die Summe aller  $w_i$  muss 1 ergeben. Über Beschränkungen  $c_j$  können zusätzliche Nebenbedingungen einer Zelle definiert werden, z.B. können über diesen Mechanismus Naturschutzgebiete von einer Nutzung ausgeschlossen werden. Arbeitsschritt 2 umfasst die räumliche Allokation der für Hessen vorgegebenen Produktionsmengen verschiedener Feldfrüchte auf die am besten bewerteten Zellen. Diese Daten werden für die berechneten Szenarien entsprechend vorgegeben. Der Ertrag und die daraus abgeleitete zellspezifische Produktionsmenge für landwirtschaftlich genutzte Zellen werden auf Basis der im Modul „Umwelt“ erzeugten Daten bestimmt.

## 5 Analyse der aktuellen Ökosystemdienstleistungen in Hessen

### 5.1 Ernährung und Bioenergie

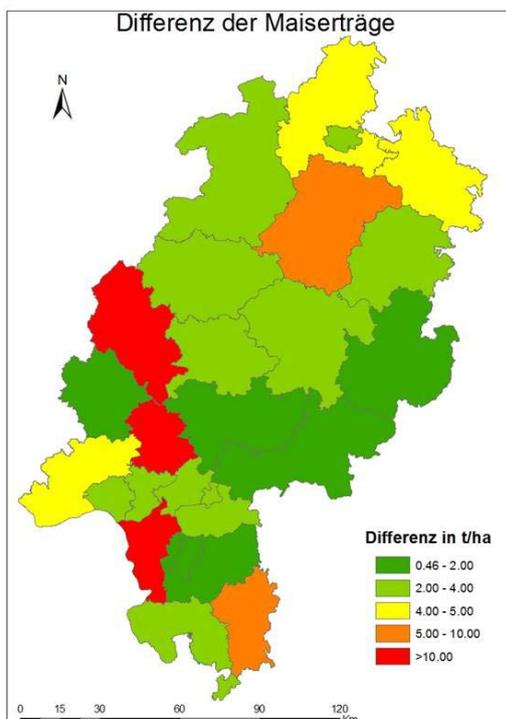
Als Indikator für die Bewertung der ÖSDL Ernährung und Bioenergie werden Ernteerträge für verschiedene Feldfrüchte in Hessen herangezogen, die für die Nahrungsmittelversorgung (Weizen, Kartoffel) sowie für die Bereitstellung von Biomasse u.a. für die energetische Nutzung (Raps, Silagemais) momentan eine wichtige Rolle spielen. Der Fokus liegt hier auf der Analyse der Auswirkungen des Klimawandels auf die Ernteerträge. Die entsprechenden Simulationsergebnisse des Ertragsmodells DNDC werden entsprechend in Kapitel 6 besprochen. An dieser Stelle wird auf die exemplarische Modellvalidierung anhand von statistischen Daten eingegangen.

**Tabelle 5:** Vergleich der statistischen und simulierten Erträge für Mais in Hessen.

Mittlere Ernteerträge von 1987 bis 2010		Mais gemessen (t/ha)	Mais berechnet (t/ha)	Abweichung (%)
411000	Darmstadt, Kreisfreie Stadt	47.32	47.91	1,25
412000	Frankfurt am Main, Kreisfreie Stadt	47.04	49.28	4,76
413000	Offenbach am Main, Kreisfreie Stadt	47.22	43.86	-7,11
414000	Wiesbaden, Kreisfreie Stadt	47.39	50.77	7,13
431001	Bergstraße, Landkreis	47.47	43.8	-7,73
432000	Darmstadt-Dieburg, Landkreis	51.82	50.06	-3,39
433000	Groß Gerau, Landkreis	47.8	34.89	-27
434000	Hochtaunuskreis	45.51	57.43	26
435000	Main Kinzig Kreis	46.01	45.21	-1,7
436000	Main Taunus Kreis	48	52	8,3
437000	Odenwaldkreis	42.24	51.79	22,6
438000	Offenbach, Landkreis	47.39	44.92	-5,2
439000	Rheingau Taunus Kreis	46.71	50.92	9
440000	Wetteraukreis	51.34	49.57	-3,44
531000	Gießen, Landkreis	46.84	50.61	8
532000	Lahn Dill Kreis	44.32	55.2	24,5
533000	Limburg Weilburg, Landkreis	47.43	46.97	-0,96
534000	Marburg Biedenkopf, Landkreis	49.12	51.36	4,56
535000	Vogelsbergkreis	49	45.11	-7,94
611000	Kassel, Kreisfreie Stadt	48.33	50.74	4,98
631000	Fulda, Landkreis	47.84	46.67	-2,44
632000	Hersfeld Rotenburg, Landkreis	46.87	43.98	-6,17
633000	Kassel, Landkreis	50.74	46.33	-8,69
634000	Schwalm Eder Kreis	50.4	42.16	-16,34
635000	Waldeck Frankenberg, Landkreis	49.7	52.35	5,33
636000	Werra Meißner Kreis	50.12	45.28	-9,65
	<b>Mittelwert</b>	<b>47.845</b>	<b>48.045</b>	<b>0,73</b>

Die statistisch erfassten Daten zu Ernteerträgen auf Landkreisebene wurden dem Projekt vom Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen zur Verfügung gestellt. Basierend auf diesen Werten konnte für jeden Landkreis und jede vorhandene Feldfrucht der mittlere Ertrag über 24 Jahre ermittelt werden (Die Daten waren von 1987 bis 2010 digital verfügbar). Diese Daten konnten dann mit den simulierten und auf Kreisebene aggregierten Ernteerträgen verglichen werden.

In Tabelle 5 sind die Daten für Silagemais dargestellt. Insgesamt zeigt sich, dass gerade in der Region Nordhessen ein sehr homogener Ertrag um ca. 50 t/ha erwirtschaftet wird. Die östlichen Landkreise von Hessen um Fulda liegen bei ca. 46 t/ha und haben dabei eine ähnliche Größenordnung wie die südwestlichen Landkreise. Über alle Landkreise betrachtet ergibt sich ein durchschnittlicher Ertrag von ca. 47,85 t/ha. In 21 von 26 Landkreisen bzw. kreisfreien Städten weichen die simulierten Erträge um weniger als +/- 10% von den statistischen Daten ab. Die größten Abweichungen liegen im Hochtaunuskreis in dem der Ertrag um 26% überschätzt wird sowie Kreis Groß-Gerau, in dem der Ertrag um ~16% unterschätzt wird. Auf Landesebene weicht der simulierte Mittelwert um weniger als eine Tonne vom statistischen Wert ab (0,73%). Die starken Unterschiede in einigen Regionen lassen sich u. A. damit erklären, dass in den Simulationen für alle Kreise ein einheitliches landwirtschaftliches Management (z.B. Düngegaben, Saatzeitpunkte und Erntezeitpunkte) angenommen wurde. Regionale Spezifika werden somit nur unzureichend wiedergegeben.



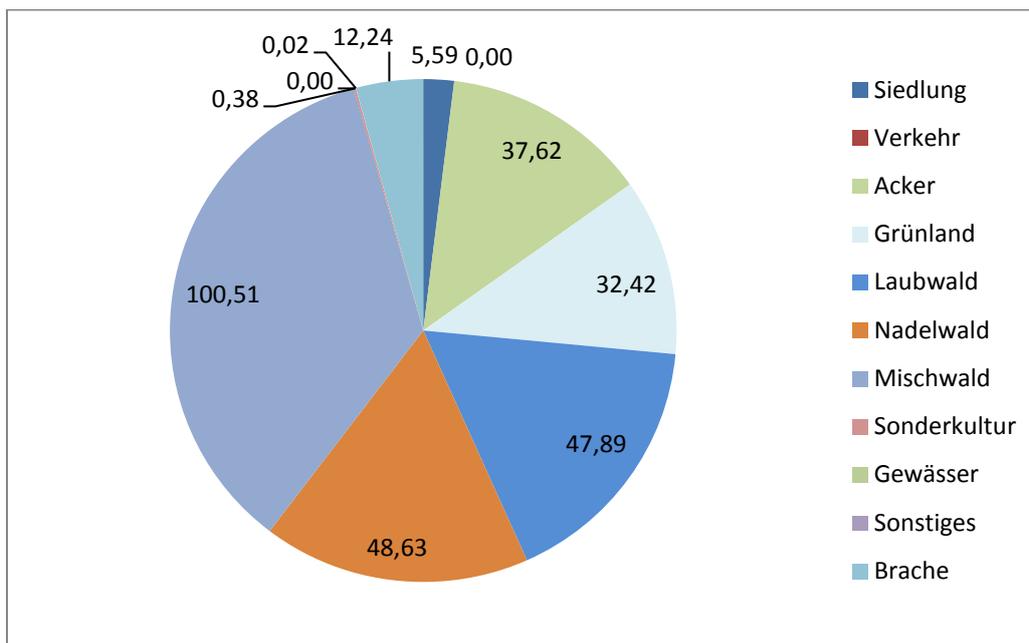
**Abbildung 18:** Differenz zwischen simulierten Erträgen und statistischen Ertragsdaten für Silagemais auf Landkreisebene.

Abbildung 18 zeigt die Differenz zwischen simulierten und statistischen Erträgen für Silagemais als Karte. Für die anderen simulierten Feldfrüchte konnte eine ähnliche Modellgüte erreicht werden.

## 5.2 CO<sub>2</sub>-Regulation

Mit dem Modell InVest wird die C-Speicherung für jede Zelle basierend auf den pro ha Werten der Landnutzungstypen (Tabelle A10) berechnet. Die Zellen werden dann aggregiert auf Kreis- bzw. Landesebene. Im zweiten Schritt wird untersucht, wie sich die C-Speicher in den Landnutzungsszenarien verändern (Kap. 6.4).

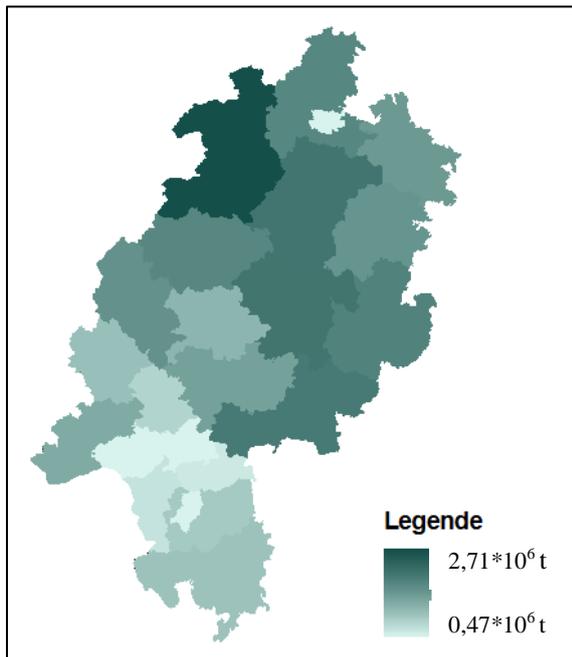
Die gesamte biologisch gespeicherte Kohlenstoffmenge in Hessen beträgt  $285,3 \cdot 10^6$  t. Dies umfasst sowohl den in der Vegetation als auch den im Boden vorhandenen Kohlenstoff. Abbildung 19 zeigt die Speichergrößen für die einzelnen Landbedeckungstypen, aufsummiert über alle Zellen des jeweiligen Typs in der Basiskarte.



**Abbildung 19:** Kohlenstoffspeicherung in den verschiedenen Landbedeckungstypen [ $10^6$  t].

Den größten Anteil macht Mischwald mit  $100,5 \cdot 10^6$  t aus. Wald insgesamt speichert mit  $197 \cdot 10^6$  t mehr als zwei Drittel des gesamten Kohlenstoffs in Hessen. Ackerland und Grünland folgen mit  $37,62$  bzw.  $32,42 \cdot 10^6$  t. Brachflächen speichern  $12,24 \cdot 10^6$  t. Die Kohlenstoffspeicherung auf der Siedlungsfläche ist durch den Anteil von Grünflächen innerhalb von Städten und Dörfern zu erklären.

Demzufolge zeigt die Karte in Abbildung 20 die größten Kohlenstoffspeicher in den nordhessischen Landkreisen, die über einen hohen Waldanteil verfügen.



**Abbildung 20:** Biologische Kohlenstoffspeicherung auf Landkreisebene.

### 5.3 Nährstoffregulation

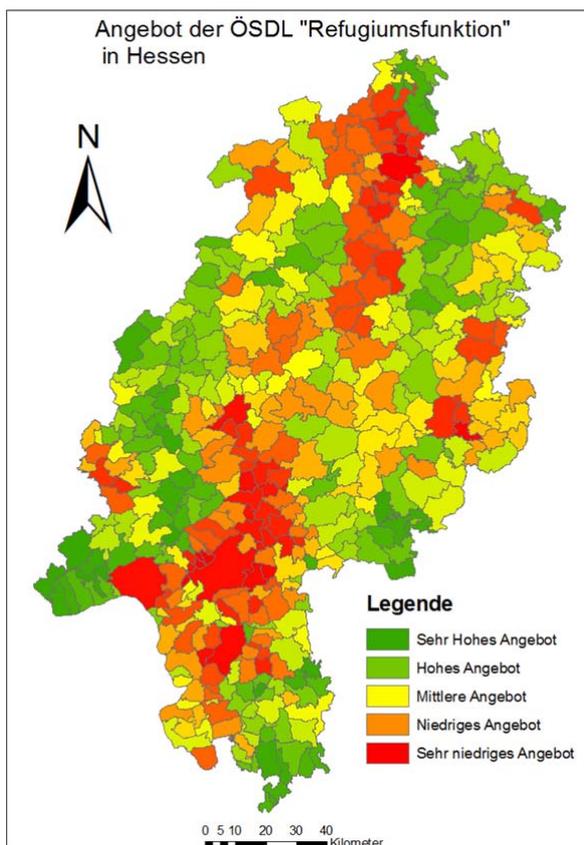
Die im Jahr durch Landbedeckung/Landnutzung aus dem Bodenkörper exportierte Stickstoffmenge variiert in den Teileinzugsgebieten (siehe Abb. 16) zwischen 25,56 kg/ha (Main) und 21,86 kg/ha (Fulda/Diemel), in Abhängigkeit der jeweiligen Anteile von Acker- und Grünlandfläche (Tabelle 6). Dabei wird basierend auf Literaturwerten jedem Landnutzungstyp ein Wert zugewiesen (siehe Kapitel 4.5). Die höchsten Retentionsraten können mit 5,06 kg/ha im Teileinzugsgebiet Neckar erreicht werden. Dies entspricht einer Rückhaltung von 21,61% des exportierten Stickstoffs. Die geringste Rückhaltung findet sich mit 15,06% im Teileinzugsgebiet Fulda/Diemel. Aufgrund ihres geringen Flächenanteils in Hessen sind die Teileinzugsgebiete Niederrhein und Leine in diesen Betrachtungen nicht mit berücksichtigt.

**Tabelle 6:** Retention von Stickstoff auf Ebene der Teileinzugsgebiete. Die Teileinzugsgebiete Leine und Niederrhein liegen fast vollständig außerhalb Hessens.

	<b>N-Retention [kg/ha]</b>	<b>N-Export [kg/ha]</b>	<b>N-Retention [%]</b>
Main	3,97	25,56	15,52
Fulda/Diemel	3,29	21,86	15,06
Weser	4,89	24,44	20,04
Leine	2,51	13,33	18,86
Werra	3,77	22,24	16,95
Niederrhein	7,07	21,93	32,22
Mittelrhein	3,99	23,79	16,77
Oberrhein	3,39	25,03	13,55
Neckar	5,06	23,41	21,61
Gesamt	4,21	22,40	18,96

## 5.4 Refugium-Funktion

Für die Betrachtung der Ökosystemdienstleistung Refugium-Funktion lässt sich feststellen, dass das niedrigste Angebot in den Gemeinden rund um die Metropole Frankfurt sowie in den Gemeinden des Landkreises Kassels und Schwalm-Eder-Kreis (bedingt durch den hohen Anteil an landwirtschaftlicher Fläche) vorhanden ist (Abbildung 21). Zudem stellen alle größeren Städte Hessens (Frankfurt, Wiesbaden, Darmstadt, Offenbach, Darmstadt, Fulda, Kassel) ein sehr niedriges Angebot an Lebensraum für wildlebende Pflanzen und Tiere bereit. Positiv ist dieses Angebot in den Gemeinden vor allem an den grenznahen Gebieten Hessens zu bewerten, da dort häufig große Waldflächen zu finden sind. Im westlichen Teil des Bundeslandes, im Rheingau-Taunus-Kreis oder Lahn-Dill-Kreis, und im östlichen Teil, im Werra-Meißner-Kreis oder Main-Kinzig-Kreis sowie in der südlichen Spitze Hessens, im Odenwaldkreis, herrscht ein hohes Angebot, welches durch einen hohen Anteil naturnaher Wälder und Wiesen entsteht.

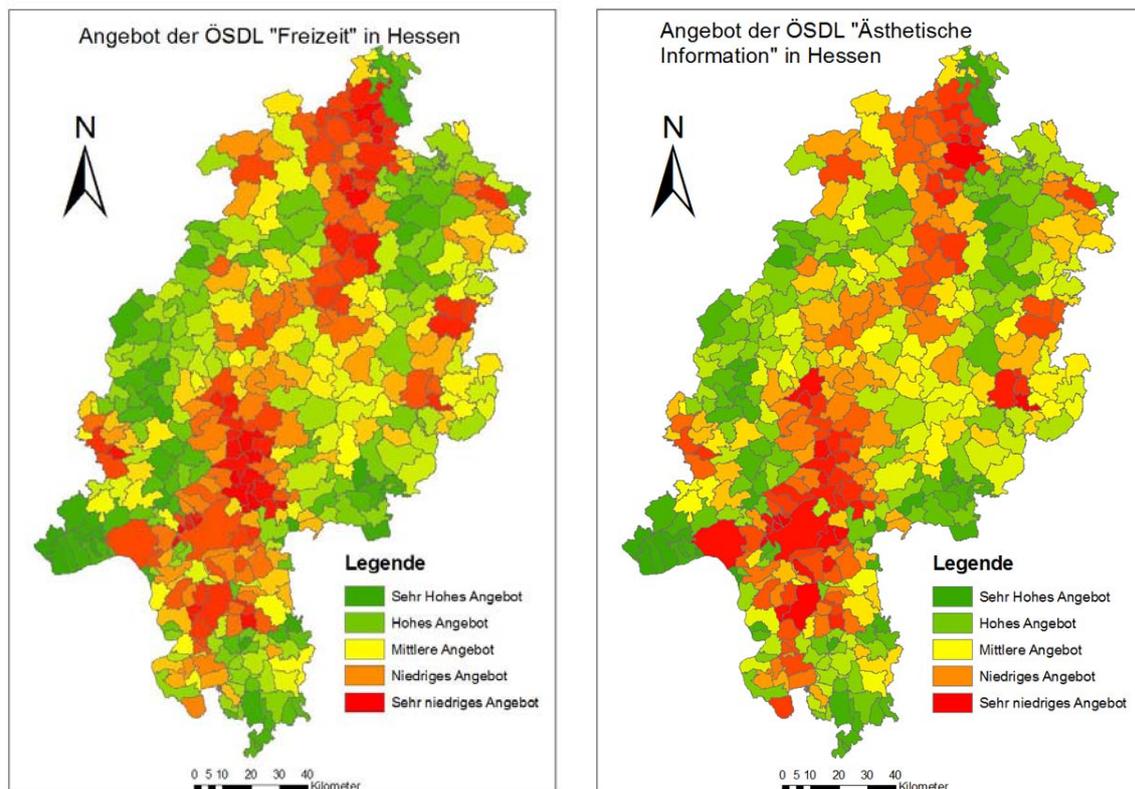


**Abbildung 21:** Angebot der Ökosystemdienstleistungen Refugium-Funktion in Hessen

Insgesamt zeigt sich, dass naturähnliche bzw. naturbelassene Flächen, wie Wälder, Wiesen und auch Brachflächen ein deutlich höheres Angebot darstellen, als anthropogen genutzte Flächen, wie Agrarfläche und Siedlung.

## 5.5 Ästhetische Information und Freizeit

Das Angebot der Ökosystemdienstleistung Freizeit ist besonders hoch in den Landkreisen Lahn-Dill-Kreis, Rheingau-Taunus-Kreis sowie Main-Kinzig Kreis (Abbildung 22, links). Im Wetteraukreis, im Rhein-Main-Gebiet und in Nordhessen, vor allem im Landkreis Kassel als auch im Schwalm-Eder-Kreis besteht nur ein sehr geringes Angebot der ÖSDL Freizeit. Generell fällt auf, dass sich die Gemeinden mit einem niedrigen Angebot auf einem Streifen befinden, der die Mitte Hessens von Nord nach Süd durchzieht und vor allem in den städtischen Großräumen sehr deutlich auftritt. Eine Erklärung für die ländlichen Räume findet sich in dem Vorhandensein von landwirtschaftlich genutzten Flächen entlang den Autobahnen A5 und A7 sowie in Regionen wie der der Wetterau (siehe auch Abbildung 27).

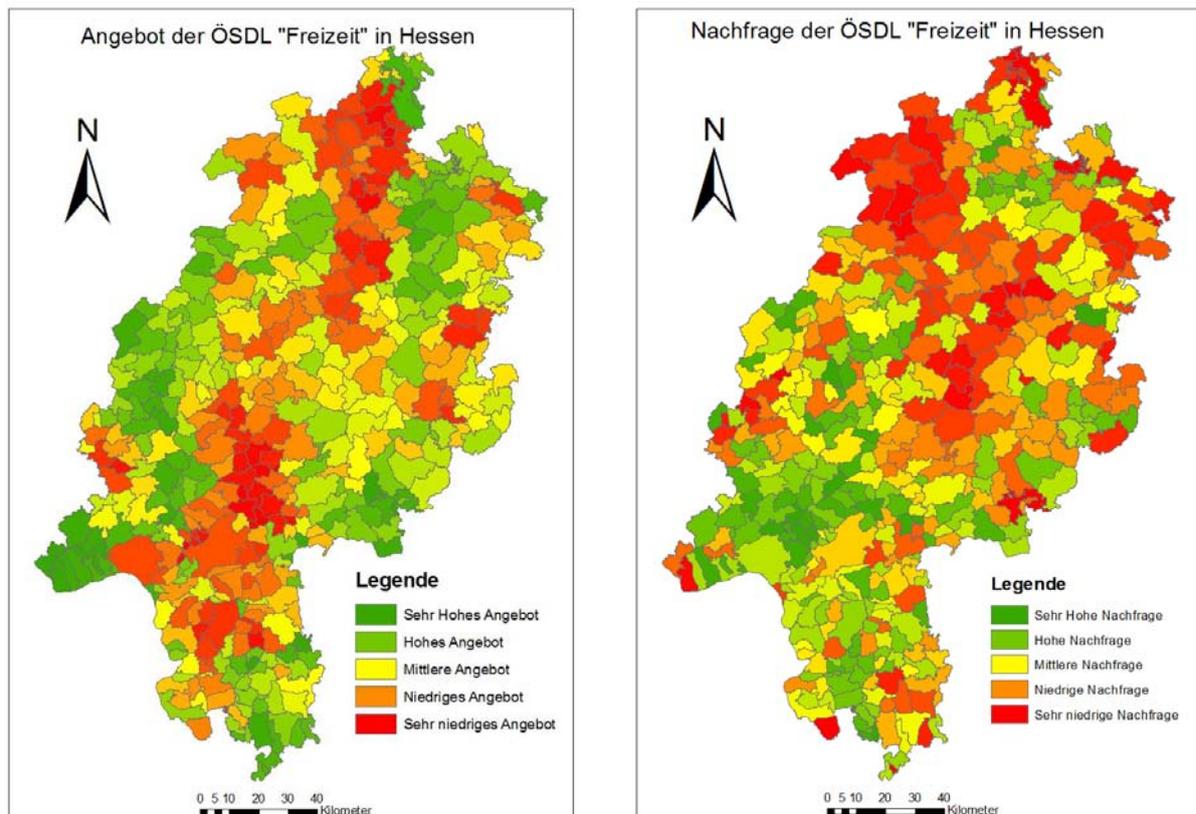


**Abbildung 22:** Angebot der Ökosystemdienstleistungen Freizeit (links) und Ästhetische Information (rechts)

Das berechnete Angebot der ÖSDL „Ästhetische Information“ ist besonders im mittleren Teil Südhessens, rund um die Städte Frankfurt, Offenbach, Darmstadt, Wiesbaden, sowie rund um den Landkreis Kassel niedrig (Abbildung 22, rechts). Daneben gibt es noch vereinzelt Gemeinden in denen ein ähnlich niedriges Angebot zu beobachten ist, beispielsweise Fulda. Zu den westlichen und östlichen Landesgrenzen hin ist das vorhandene Angebot höher, z.B. in Gemeinden des Main-Kinzig-Kreises oder des Lahn-Dill-Kreises, was durch ein deutlich höheres Vorhandensein von Wäldern, Wiesen und naturnahen Flächen erklärt werden kann.

## 5.6 Gegenüberstellung von Angebot und Nachfrage von ÖSDL

In den vorigen Kapiteln wurden das Angebot und die Nachfrage nach Ökosystemdienstleistungen bisher mit unterschiedlichen Methoden getrennt voneinander analysiert. An dieser Stelle findet darauf aufbauend exemplarisch für die ÖSDL „Freizeit“ eine räumliche Gegenüberstellung von Angebot und Nachfrage statt, um die Unterschiede zu verdeutlichen und anschließend Anregungen zur Nutzung dieser Daten zu geben.



**Abbildung 23:** Angebot (links) und Nachfrage (rechts) der ÖSDL Freizeit in Hessen.

Abbildung 23 zeigt noch einmal die Karten für Angebot und Nachfrage der Ökosystemdienstleistung Freizeit. Im Folgenden soll exemplarisch die Situation im Rhein-Main Gebiet betrachtet werden (Abbildung 24).



**Abbildung 24:** Angebot und Nachfrage der ÖSDL Freizeit in der Region Frankfurt

Das durch die Landnutzung bedingte geringe Angebot der ÖSDL Freizeit in den städtischen Gebieten steht einer teils sehr hohen Nachfrage seitens der Bevölkerung in der gesamten Region gegenüber. Auch nördlich von Frankfurt steht ein, bedingt durch die intensive landwirtschaftliche Nutzung, geringes Angebot einer hohen Nachfrage gegenüber. Die Gemeinden mit einem hohen Angebot der ÖSDL Freizeit liegen außerhalb der Metropolregion Rhein-Main. Insgesamt lässt sich daher eine starke räumliche Disparität zwischen Angebot und Nachfrage feststellen.

Die aus den räumlichen Daten gewonnenen Informationen können einen wertvollen Beitrag zur Entwicklung von Konzepten zur Zusammenführung von Angebot und Nachfrage leisten. Ein möglicher Ansatz ist hier die Verbesserung des Angebots der ÖSDL Freizeit in Gemeinden mit hoher Nachfrage und geringem bestehenden Angebot. Die kann beispielsweise durch die Neuanlage bzw. den Ausbau bestehender Parks oder Naherholungsgebiete erfolgen.

Darüber hinaus bieten die Ergebnisse jedoch auch die Möglichkeit, alternative Lösungskonzepte zu erarbeiten, die unter Umständen einfacher und kostengünstiger zu verwirklichen sind. So gibt es Regionen und Gemeinden, in denen trotz eines hohen Angebotes der ÖSDL Freizeit, eine hohe Nachfrage herrscht. Das bedeutet, dass möglicherweise die hier wohnenden Personen sich mehr Anregungen oder Ideen zur Nutzung der vorhandenen Freizeitmöglichkeiten wünschen. Hier könnten mit relativ einfachen Mitteln Wege gefunden werden, um das Bewusstsein und die Wahrnehmung für bereits vorhandene Ökosystemdienstleistungen zu steigern und alleine dadurch die Nachfrage zu decken. Jedoch muss die Nachfrage stets im Zusammenhang mit der Millieuzusammensetzung der jeweiligen Gemeinde betrachtet werden. Da das Angebot im Zusammenhang mit den jeweiligen Landnutzung einer Gemeinde steht, kann sich die Nachfrage für zwei Gemeinden mit einem ähnlichen Angebot aber unterschiedlicher Zusammensetzung der sozialen Millieus ganz

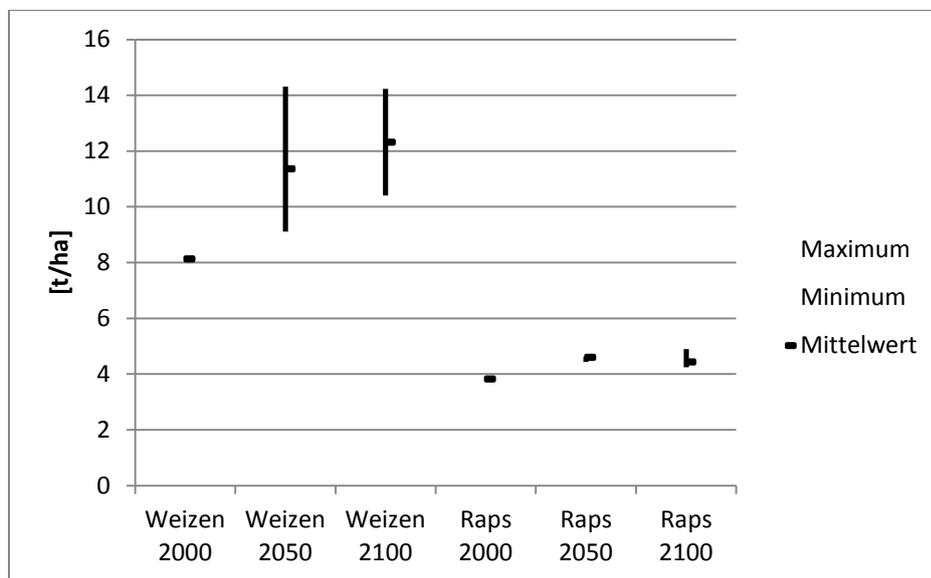
anders darstellen.

Zudem grenzen vielfach Gemeinden mit hoher Nachfrage an Gemeinden mit hohem Angebot. So können Bürger über die Angebote in der Region besser informiert werden und der Zugang zu diesen könnte durch gezielte Ausrichtung des öffentlichen Nahverkehrs verbessert werden. Der Rhein-Main-Verkehrsbund bietet beispielsweise unter der Rubrik „XtraTour“ Broschüren über Freizeitziele in verschiedenen Bereichen, wie „besonders grüne Ausflugsziele in der Region“ oder „Wasserziele“ an. Dort sind verschiedene Ziele mit einer kurzen Beschreibung sowie die Erreichbarkeit mit den öffentlichen Verkehrsmitteln aufgeführt. Die Wahrnehmung eines bestimmten Angebots kann zusätzlich durch günstige Preise für Bus- und Bahnfahrten (evtl. auch durch die Gemeinden) gefördert werden.

## 6 Entwicklung von Ökosystemdienstleistungen unter Globalem Wandel

### 6.1 Ernährung und Bioenergie

Die Ergebnisse der DNDC Simulationsläufe (siehe Abschnitt 4.4) für den Basiszeitraum 2000 (Mittelwert über 1981 - 2010) und die Zeitscheiben 2050 (Mittelwert über 2036 - 2065) und 2100 (Mittelwert über 2071 - 2100) für die unterschiedlichen Klimarealisierungen, aggregiert auf Landkreisebene, finden sich in Anhang 6 (Tabellen A12 – A15). Die Abbildungen 25 und 26 fassen diese Ergebnisse zusammen und zeigen die Spannbreiten zwischen den Simulationsergebnissen der verschiedenen Klimarealisierungen. Aufgetragen sind jeweils die Mittelwerte über die hessischen Landkreise für die 2050 und 2100 Zeitscheiben. Als Referenz ist zusätzlich der berechnete Mittelwert für den Basiszeitraum 2000 dargestellt.

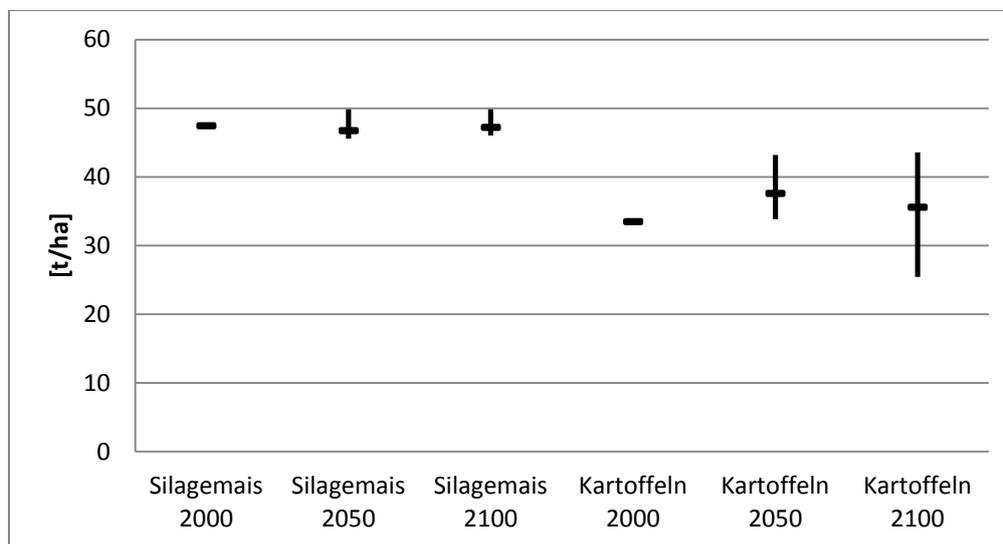


**Abbildung 25:** Simulierte Ernteerträge für Weizen und Raps in Hessen [t/ha] für den Basiszeitraum 2000 sowie für die Zeitscheiben 2050 und 2100. Die schwarzen Rechtecke geben den Mittelwert über die verwendeten Klimarealisierungen an, die Linien die jeweilige Spannbreite zwischen dem niedrigsten und größten Simulationsergebnis.

Für Winterweizen zeigt sich, dass unter Klimawandel im Vergleich zum Wert für das Jahr 2000 Ertragssteigerungen um im Mittel 40% (2050) bis 52% (2100) erreicht werden können. Die Spannbreite zwischen den einzelnen Klimasimulationen liegt dabei in der Zeitscheibe 2050 zwischen +12% (WETTREG) und +76% (HCLM) sowie in der Zeitscheibe 2100 zwischen +28% (WETTREG) und +75% (REMO). Die Ertragszuwächse für Raps fallen für die Zeitscheibe 2050 mit +11% (WETTREG) und +21% (REMO) sowie für die Zeitscheibe 2100 mit +16% (WETTREG) und +28% (REMO) deutlich geringer aus. Die jeweiligen Mittelwerte liegen bei +17% (2050) und +21% (2100). Aus Tabelle A12 und A15 wird ferner deutlich, dass die höchsten klimabedingten Ertragszuwächse tendenziell eher in den nordhessischen

Landkreisen zu finden sind.

In Abbildung 25 sind die Ergebnisse für Silagemais und Kartoffeln dargestellt. Die Erträge für Silagemais unter Klimawandel nehmen bis zum Zeitraum 2050 im Mittel um -2% ab. Die größten Abnahmen betragen jeweils -4% bei den CLM Simulationen während die größte Zunahme mit +5% mit den Ergebnissen der REMO-Simulationen berechnet wird. Für die Zeitscheibe 2100 findet sich eine mittlere Abnahme um -1% mit einer Spannbreite zwischen -3% wieder jeweils bei Verwendung der CLM Simulationen sowie +5% bei Verwendung der REMO Simulationen. Auch hier wird aus Tabellen A13 und A14 deutlich, dass die nordhessischen Landkreise eher durch Ertragszuwächse gekennzeichnet sind während die Landkreise in Südhessen tendenziell eher abnehmende Ernteerträge aufweisen.



**Abbildung 26:** Simulierte Ernteerträge für Silagemais und Kartoffeln [t/ha] in Hessen für den Basiszeitraum 2000 sowie für die Zeitscheiben 2050 und 2100. Die schwarzen Rechtecke geben den Mittelwert über die verwendeten Klimarealisierungen an, die Linien die jeweilige Spannbreite zwischen dem niedrigsten und größten Simulationsergebnis.

Die Erträge für Kartoffeln steigen im Mittel um +12% bis zum Zeitraum 2050 bzw. +7% im Zeitraum 2100. Die Spannbreite zwischen den Kartoffel-Erträgen für die verschiedenen Klimasimulationen im Zeitraum 2050 ist deutlich größer als für Silagemais. Unter HCLM wird lediglich eine Ertragssteigerung von +1% erreicht, während unter REMO eine Steigerung von +30% berechnet wird. In der Zeitscheibe 2100 divergieren die Simulationsergebnisse noch stärker. Mit den Simulationsergebnissen von WETTREG werden Ertragseinbußen von -24% simuliert, während die Ergebnisse von REMO eine Ertragssteigerung von +30% ermöglichen. Die Mittelwerte liegen bei +12% für 2050 und +7% für 2100. Ertragsverluste werden fast ausschließlich für die Landkreise in Südhessen simuliert.

Insgesamt zeigen die Simulationsergebnisse, dass gerade Winterweizen von den veränderten

Klimabedingungen profitieren kann (mittlere Ertragssteigerung 52% in der Zeitscheibe 2100, siehe Tabelle A15). Dieses Ergebnis bestätigt damit die Analyse von Semenov und Shewry (2011), die ähnliche Tendenzen für verschiedene europäische Standorte aufzeigen. Danach profitieren Wintergetreide von einer früheren Reife, sodass die in Tendenz geringeren Niederschläge im Sommer keine negativen Auswirkungen nach sich ziehen. Für Silagemais zeigt sich demgegenüber ein anderes Bild. Da die Pflanzenentwicklung sich durch die Sommermonate zieht, ist mit einem größeren negativen Einfluss von Hitze- und Wasserstress zu rechnen, die sich negativ auf die Erträge auswirken können.

Sehr deutlich zeigt sich bei den Simulationsergebnissen (siehe Tabellen A12 - A15) der Trend, dass die Landkreise in Südhessen stärker von etwaigen Ernteeinbrüchen betroffen sind bzw. geringe Ertragszuwächse aufweisen als die Landkreise in Nordhessen.

Die Simulationsergebnisse unterscheiden sich teilweise drastisch zwischen den unterschiedlichen Klimasimulationen. Auf Landesebene zeigt sich dies überaus deutlich für Winterweizen und Kartoffeln (Tabellen A13 und A15). Während für Winterweizen für alle Klimasimulationen steigende Erträge berechnet werden, ist das Signal für Kartoffeln gerade für die Zeitscheibe 2100 widersprüchlich. Auf Kreisebene finden sich teilweise noch größere Spannbreiten als im Mittel über ganz Hessen. So werden bei Raps für den Zeitraum 2100 im Rhein-Taunus-Kreis mit den WETTREG Simulationsergebnissen Ertragseinbußen von -60% und im Gegensatz dazu bei Verwendung der REMO Simulationsergebnisse Ertragssteigerungen von +20% berechnet.

## 6.2 Landnutzungsszenarien

Neben dem anthropogenen Klimawandel ist die Veränderung der Landnutzung ein zentraler Treiber für das Angebot von Ökosystemdienstleistungen einer Region. Um mögliche Auswirkungen des künftigen Landnutzungswandels auf ÖSDL in Hessen abschätzen zu können, wurden im Rahmen des Projekts Landnutzungsszenarien entwickelt, die ein breites Spektrum möglicher Entwicklungen abdecken. Aufgrund seiner Flächenrelevanz konzentrieren sich die Szenarien auf die Entwicklung der Produktion von Feldfrüchten im Ackerbau. Jedes Szenario besteht aus einer qualitativen Beschreibung der zukünftigen Entwicklungen sowie einer quantitativen Beschreibung der aus diesen hervorgehenden wichtigsten treibenden Größen (z.B. Produktion von Feldfrüchten) und den damit einhergehenden Landnutzungsänderungen. Letztgenannte werden mit dem Landnutzungsmodell LandSHIFT simuliert und als Rasterkarte zur Verfügung gestellt. Die spezifizierten Szenarien haben dabei keine explizite zeitliche Komponente (beispielsweise Laufzeit bis zum Jahr x), sondern stellen vielmehr eine Bandbreite hypothetischer künftiger Landnutzungsstrategien dar. Ausgehend von diesen Karten erfolgt dann eine Analyse der Auswirkungen auf die Ökosystemdienstleistungen CO<sub>2</sub>-Regulation, Nährstoffregulation, Refugium-Funktion sowie Ästhetische Information und Freizeit. Im Folgenden werden die Grundannahmen der vier Szenarien vorgestellt.

### **Szenario 1: Business-As-Usual (BAU)**

Das BAU-Szenario geht davon aus, dass die aktuelle Produktion von Feldfrüchten und auch die erzielten mittleren Erträge konstant bleiben. Diese Annahme reflektiert dabei im Wesentlichen die Entwicklung in den letzten 10 Jahren. In der Basiskarte (Abb. 27, links) findet sich eine Differenz zwischen der in ATKIS ausgewiesenen Ackerfläche sowie den in der amtlichen Statistik ausgewiesenen Anbauflächen (Brachflächen). Für das BAU-Szenario werden nun verschiedene Annahmen bezüglich der Nutzung dieses „Flächenüberhangs“ angestellt und in Bezug auf die ÖSDL CO<sub>2</sub>-Regulierung bewertet (siehe Abschnitt 6.4). Diese Nutzungsformen umfassen (1) das Belassen des „Flächenüberhangs“ als Grünbrache, (2) die Nutzung als Kurzumtrieb-Plantagen zur Erzeugung von Biomasse zur energetischen und stofflichen Nutzung (Strohm et al., 2012) sowie (3) die Aufforstung als Mischwald.

### **Szenario 2: Ausbau der Biomasseproduktion (Bioenergie-Szenario)**

Die Bundesrepublik Deutschland hat sich im Rahmen ihrer Bioökonomiestrategie zum Ziel gesetzt, die Nutzung von Biomasse zur energetischen und stofflichen Nutzung zu forcieren (Thrän et al., 2015). Für das Biomasse-Szenario wurde daher angenommen, dass die Entwicklung und der Ausbau von erneuerbaren Energien und Biokraftstoffen noch stärker als bisher

gefördert werden. Dabei findet sowohl eine Steigerung der Produktion [in Tonnen] der Energiepflanzen Silagemais (Biogas, Strom/Wärme) und Raps (Biodiesel, Kraftstoff) als auch anderer Feldfrüchte zur Nahrungsbereitstellung statt. Die mittleren Ernteerträge werden wiederum als konstant angenommen. Als Datengrundlage zur Quantifizierung wurden die Szenarien des BMWI-Projekts Meilensteine 2030 zugrunde gelegt (Thrän et al., 2015), in denen Ausbaupfade von Bioenergie vor dem Hintergrund der Entwicklung einer nachhaltigen deutschen Bioenergiestrategie untersucht wurden.

### **Szenario 3: Ausbau des ökologischen Landbaus**

Dieses Szenario greift den Trend einer zunehmenden Präferenz für regional bzw. ökologisch zertifizierte Lebensmittel, insbesondere bei kaufkräftigen Konsumentengruppen auf (HMWVL, 2013). Grundannahme ist, dass durch individuelle Entscheidungen der Bevölkerung (Ernährung, Konsum) ein starker Anstieg der Nachfrage nach regional ökologisch erzeugten Produkten stattfindet. Im Zuge dessen erfolgt eine Steigerung der durch ökologischen Landbau generierten landwirtschaftlichen Produktion auf 25% der Gesamtproduktion. Weiterhin geht das Szenario davon aus, dass die Pro-Hektar-Produktivität von ökologisch bewirtschafteten Flächen im Mittel um 20% unter dem Ertrag von herkömmlich bewirtschafteten Flächen liegt. Als Datengrundlage zur Quantifizierung wurden die statistischen Daten des HSL und eine Literaturrecherche zur Ausweitung, Ertragsberechnung und generellen Annahmen zum Ökologischen Landbau herangezogen (Ponti et al. 2012, Zeitschrift für amtliche Statistik 2008). Analog zum BAU Szenario werden auch hier 4 verschiedene Annahmen bezüglich der Nutzung dieses „Flächenüberhangs“ angestellt und in Bezug auf die ÖSDL CO<sub>2</sub>-Regulierung bewertet (siehe Abschnitt 6.4).

Die in den Szenarien getroffenen Annahmen zur Agrarproduktion, die als Eingabedaten für LandSHIFT genutzt wurden, sind in Anhang 4 aufgeführt.

### 6.3 Simulationsergebnisse

Eine Übersicht über die mit dem LandSHIFT Modell berechneten Landnutzungsänderungen ist in Tabelle 7 dargestellt. Beim BAU-Szenario ist eine leichte Umverteilung der bestehenden Ackerflächen hin zu ertragreicheren Flächen zu beobachten, sodass die Brachflächen von 1397 km<sup>2</sup> auf 1448 km<sup>2</sup> leicht zunehmen. Für diese Flächen wird dann alternativ das Belassen der Fläche, Grünlandnutzung, KUP und Aufforstung mit Mischwald angenommen (siehe 6.2) und hinsichtlich der entstehenden Auswirkungen auf das Angebot von ÖSDL analysiert.

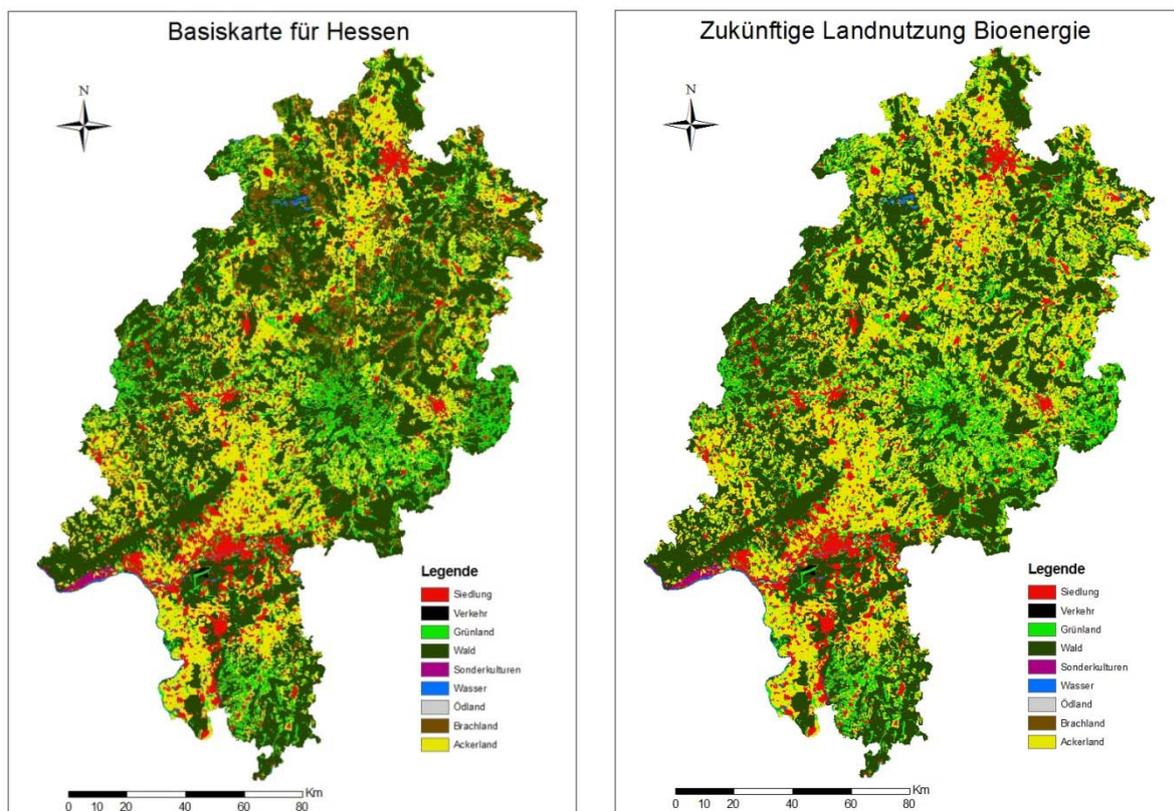
**Tabelle 7:** Mit LandSHIFT simulierte Landnutzungsänderungen.

Landnutzungstyp	Basiskarte [km <sup>2</sup> ]	BAU [km <sup>2</sup> ]	Bioenergie [km <sup>2</sup> ]	Ökolandbau [km <sup>2</sup> ]
<b>Siedlung</b>	2149.44	2149.44	2149.44	2149.44
<b>Verkehr</b>	17.94	17.94	17.94	17.94
<b>Ackerland (Summe)</b>	5083.25	5032.3	6490.06	5274.38
<i>Sonstige Feldfrüchte</i>	<i>511.06</i>	<i>511.44</i>	<i>508.5</i>	<i>518.13</i>
<i>Sonstiges Getreide</i>	<i>1876.56</i>	<i>1859.44</i>	<i>2380.25</i>	<i>1959.25</i>
<i>Mais</i>	<i>86.94</i>	<i>86.94</i>	<i>108.25</i>	<i>101.06</i>
<i>Raps</i>	<i>680.75</i>	<i>680.69</i>	<i>1196.38</i>	<i>702.69</i>
<i>Hülsenfrüchte</i>	<i>50.38</i>	<i>50.31</i>	<i>45.94</i>	<i>59</i>
<i>Kartoffeln und Rüben</i>	<i>252.56</i>	<i>249.69</i>	<i>324.93</i>	<i>254.38</i>
<i>Weizen</i>	<i>1625</i>	<i>1593.8</i>	<i>1925.81</i>	<i>1679.88</i>
<b>Grünland</b>	3307.75	3307.75	3302.63	3307.75
<b>Laubwald</b>	2020.5	2020.5	2019.25	2020.5
<b>Nadelwald</b>	2419.31	2419.31	2417.75	2419.31
<b>Mischwald</b>	4548.06	4548.06	4545.88	4548.06
<b>Sonderkulturen</b>	67.5	67.5	67.5	67.5
<b>Wasser</b>	99.13	99.13	99.13	99.13
<b>Sonstiges</b>	6.44	6.44	6.44	6.44
<b>Brachland</b>	1396.69	1447.63	0	1205.56
<b>Summe</b>	<b>21116</b>	<b>21116</b>	<b>21116</b>	<b>21116</b>

Das Bioenergie-Szenario ist durch einen Anstieg der Ackerfläche von 5083 km<sup>2</sup> im Basisjahr auf 6490 km<sup>2</sup> gekennzeichnet. Insbesondere die Anbaufläche von Raps für die Produktion von Biokraftstoffen sowie von Getreide und Weizen u.a. für den Export steigen dabei stark an. Um die im Szenario vorgegebene Produktion zu decken, wird in geringem Umfang Grünland umgebrochen und in Ackerland konvertiert.

Das Ökolandbau-Szenario ist ebenfalls durch eine Ausweitung der Ackerfläche charakterisiert. Dieser fällt allerdings weitaus geringer aus als im Bioenergie-Szenario und führt zu einer Verringerung der Brachfläche bis auf 1206 km<sup>2</sup>. Die simulierte Flächenausdehnung ist Ergebnis der Erhöhung des Anteils der mit Mitteln des Ökolandbaus produzierten Feldfrüchte in Kombination mit den damit einhergehenden verringerten mittleren Ernteerträgen.

In Abbildung 27 sind die von LandSHIFT generierte Basiskarte, auf Grundlage der ATKIS-Daten, sowie exemplarisch die simulierte Karte für das Bioenergieszenario dargestellt. Auffällig ist hier, dass die gesamte Brachfläche in Ackerfläche konvertiert wurde (siehe oben).



**Abbildung 27:** Basiskarte für Hessen (links) und mit LandSHIFT berechnete zukünftige Landnutzung für das Bioenergieszenario (rechts). Die Feldfrüchte sind in der Klasse Ackerland zusammenfasst. Nicht genutztes Ackerland wird als Brachfläche dargestellt.

## 6.4 Auswirkungen auf CO<sub>2</sub>-Regulation

Auf Bundeslandebene verändert sich die Gesamtmenge des in Biomasse und im Boden gespeicherten Kohlenstoffs zwischen der Basiskarte sowie den BAU und Ökolandbau Szenarien nur unwesentlich (Tabelle 8). So führt die Umwandlung von Brachfläche in Ackerland im Ökolandbauszenario netto zu keiner wesentlichen Veränderung des C-Speichers. Im Bioenergieszenario, das durch ein gewisses Maß an Grünlandumbruch gekennzeichnet ist, verringert sich der Kohlenstoffspeicher um 0,7% auf  $283,29 \cdot 10^6$  t.

**Tabelle 8:** Biologische Kohlenstoffspeicherung durch Landnutzung unter den Szenarien [ $10^6$  t].

Szenario	Basis	BAU	Bioenergie	Ökolandbau
Siedlung	5,59	5,59	5,59	5,59
Verkehr	0,00	0,00	0,00	0,00
Acker	37,62	37,24	48,03	39,03
Grünland	32,42	32,42	32,37	32,75
Laubwald	47,89	47,89	47,86	47,89
Nadelwald	48,63	48,63	48,60	48,63
Mischwald	100,51	100,51	100,46	100,51
Sonderkultur	0,38	0,38	0,38	0,38
Gewässer	0,00	0,00	0,00	0,00
Sonstiges	0,02	0,02	0,02	0,02
Brache	12,24	12,68	0,00	10,56
<b>Summe</b>	<b>285,28</b>	<b>285,35</b>	<b>283,29</b>	<b>285,35</b>

Tabelle 9 zeigt die Auswirkungen der unterschiedlichen Nutzungen von Brachflächen im BAU und Ökolandbauszenario auf die Kohlenstoffspeicherung. Hier lassen sich deutliche Unterschiede erkennen. So vergrößern sich die Speicher jeweils um ~14,4% (Grünland), ~21,8% (KUP) bzw. um ~155% (Mischwald), wobei die absoluten Werte unter BAU höher ausfallen als unter dem Ökolandbau-Szenario. Dies lässt sich damit erklären, dass unter BAU bedingt durch die geringere Ausdehnung der Ackerfläche eine größere Brachfläche verfügbar ist, die gezielt als Kohlenstoffspeicher (Grünland, KUP, Mischwald) genutzt werden kann.

Für die ÖSDL CO<sub>2</sub>-Regulation lässt sich aus diesen Ergebnissen ableiten, dass das Bioenergieszenario die geringsten Möglichkeiten für eine Erhöhung der biologischen Kohlenstoff-

speicherung bietet. Aufgrund des nicht mehr vorhandenen Flächenüberhangs, gibt es keine Möglichkeit, durch gezielte Managementmaßnahmen auf diesen Punkt einzuwirken. Eine Optimierung der Kohlenstoffspeicherung auch im konventionellen Ackerbau beispielsweise durch konservierende Bodenbearbeitung wurde im Rahmen der Studie nicht betrachtet, kann aber zu einer deutlichen Erhöhung des Kohlenstoffspeichers auf den Ackerflächen beitragen.

Bei den BAU und Ökolandbauszenarien hingegen kann durch die Alternativnutzungen des Flächenüberhangs zusätzlicher Kohlenstoff in Vegetation und Boden gespeichert werden (Tabelle 9). Der größte Effekt lässt sich durch die Aufforstung der Flächen erreichen ( $26,90 \cdot 10^6$  t Ökolandbau;  $32,30 \cdot 10^6$  t BAU), während sich die Nutzungen als Grünland und KUP jeweils nur marginal voneinander unterscheiden. Hier liegt der Bereich zwischen  $12,08 \cdot 10^6$  t (Ökolandbau-Grünland) und  $15,44 \cdot 10^6$  t (BAU-KUP).

**Tabelle 9:** Biologische Kohlenstoffspeicherung für alternative Nutzung des Flächenüberhangs [ $10^6$  t].

	<b>C-Speicherung Flächenüberhang</b>	<b>C-Speicherung Gesamt</b>
Ökolandbau-Brache	10,56	285,35
Ökolandbau-Grünland	12,08	286,87
Ökolandbau-KUP	12,86	287,64
Ökolandbau-Mischwald	26,90	301,68
BAU-Brache	12,68	285,35
BAU-Grünland	14,51	287,17
BAU-KUP	15,44	288,10
BAU-Mischwald	32,30	304,96

## 6.5 Auswirkungen auf Nährstoffregulation

Die resultierende Stickstoffretention für die drei Landnutzungsszenarien wurde für die Klimarealisation mit dem WETTREG Modell gerechnet. Im Folgenden werden dabei drei Modellausgaben auf Ebene der modellierten Teileinzugsgebiete genauer analysiert. (1) Der aus der Landwirtschaft in den Szenarien generierte mittlere Stickstoffexport pro Hektar, (2) die jährliche mittlere Stickstoffretention durch Landbedeckung pro Hektar sowie (3) der Anteil dieser Retention am Stickstoffexport. In den vorigen Abschnitten wurde gezeigt, dass die Hauptunterschiede zwischen den Landnutzungsszenarien in der Ausdehnung der Ackerfläche sowie in den mittleren Ernteerträgen zu finden sind. In Tabelle A11 (im Anhang) wird ferner gezeigt, dass die Stickstoffexporte pro Hektar bewirtschafteter Fläche im ökologischen Landbau (22,83 kg) deutlich unter denen im konventionellen Landbau liegen (35,65 kg) und damit von der einzelnen Fläche ein entsprechend geringeres Gefährdungspotential für den N-Eintrag ins Grundwasser und in Oberflächengewässer ausgeht. Die Ergebnisse der mit InVEST durchgeführten Berechnungen sind in Tabelle 10 dargestellt.

Unter dem BAU-Szenario beträgt der mittlere Stickstoffexport über alle betrachteten Teileinzugsgebiete 22,64 kg/ha. Dieser setzt sich hauptsächlich aus den Einträgen der Acker- und Weideflächen eines jeden Teileinzugsgebiets zusammen. Von diesem Eintrag wird 4,31 kg/ha über die Landbedeckung zurückgehalten (Retention). Dies entspricht einem Prozentsatz von 18,96%. Unter dem Bioenergieszenario steigt der Stickstoffexport pro Hektar erwartungsgemäß auf 26,06 kg, bedingt durch die vollständige Konversion der Brachfläche in Ackerland. Die berechnete jährliche Retention liegt mit 4,36 kg/ha leicht über dem Wert des BAU-Szenarios. Allerdings kann dabei insgesamt nur ein geringerer Anteil des exportierten Stickstoffs zurückgehalten werden (17,28%). Die ÖSDL Nährstoffretention wird durch die höhere Stickstoffbelastung unter dem Bioenergieszenario also stärker in Anspruch genommen als unter dem BAU-Szenario. Gleichzeitig ist eine geringere „Wirksamkeit“ festzustellen, da ein geringerer Prozentsatz des exportierten Stickstoffs zurückgehalten wird.

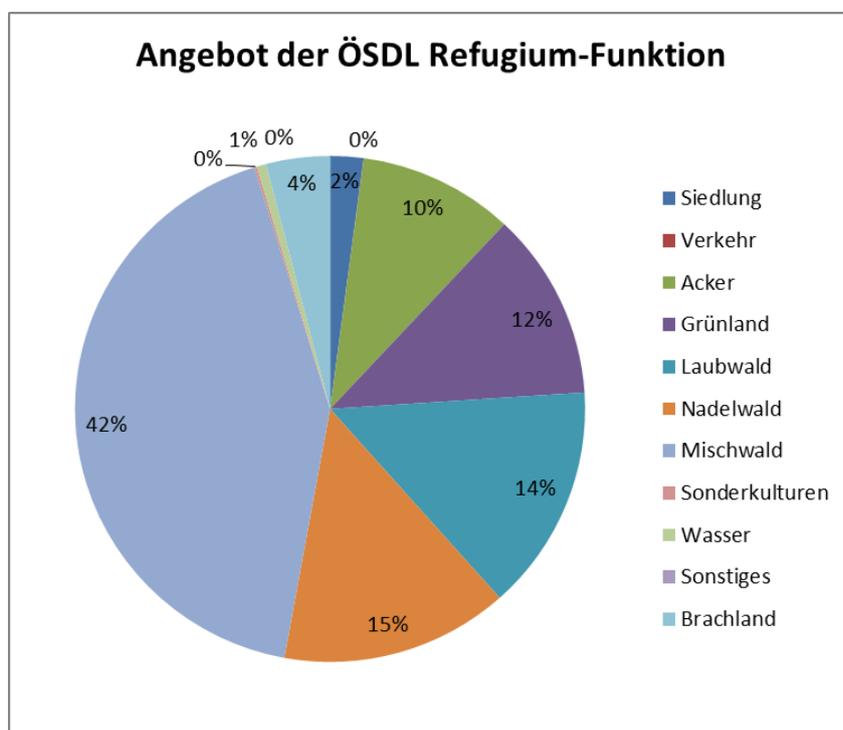
Schwieriger zu interpretieren sind die Ergebnisse für das Ökolandbau-Szenario. Hier liegt der mittlere Stickstoffeintrag pro ha (der Einzugsgebietsfläche) mit 24,13 kg ebenfalls höher als unter dem BAU-Szenario. Auch dies lässt sich mit der Konversion eines Teils der Brachflächen (Flächenüberhang) in Ackerland erklären. Die N-Retention liegt im Mittel bei 4,34 kg/ha (18,21%). Im Gegensatz zum Bioenergie-Szenario, in dem der pro Hektar N-Export in nahezu allen Teileinzugsgebieten über den Werten des BAU-Szenarios liegt, finden sich höhere Werte beim Ökolandbau-Szenario in den Teileinzugsgebieten der Fulda/Diemel sowie der Leine.

**Tabelle 10:** Nährstoffretention auf Ebene der Teileinzugsgebiete in den Szenarien.

	BAU			Ökolandbau			Bioenergie		
	N-Ret [kg/ha]	N-Export [kg/ha]	N-Ret [%]	N-Ret [kg/ha]	N-Export [kg/ha]	N-Ret [%]	N-Ret [kg/ha]	N-Export [kg/ha]	N-Ret [%]
Main	4,04	25,56	15,53	4,17	25,16	16,56	4,15	26,49	15,66
Fulda/Diemel	3,37	21,68	15,06	3,59	24,34	14,74	3,60	26,92	13,39
Weser	4,96	24,58	20,04	4,59	23,43	19,57	4,58	24,18	18,94
Leine	2,81	15,64	18,86	3,54	27,85	12,72	3,61	34,96	10,32
Werra	3,87	22,18	16,95	3,65	23,96	15,22	3,64	26,47	13,76
Niederrhein	7,15	21,93	32,23	7,24	22,48	32,23	7,33	22,52	32,54
Mittelrhein	4,05	23,73	16,77	4,07	23,77	17,11	4,08	25,27	16,15
Oberrhein	3,46	25,03	13,55	3,19	22,92	13,93	3,16	23,99	13,16
Neckar	5,12	23,39	21,61	5,07	23,26	21,79	5,12	23,75	21,58
<b>Mittel</b>	<b>4,31</b>	<b>22,64</b>	<b>18,96</b>	<b>4,34</b>	<b>24,13</b>	<b>18,21</b>	<b>4,36</b>	<b>26,06</b>	<b>17,28</b>

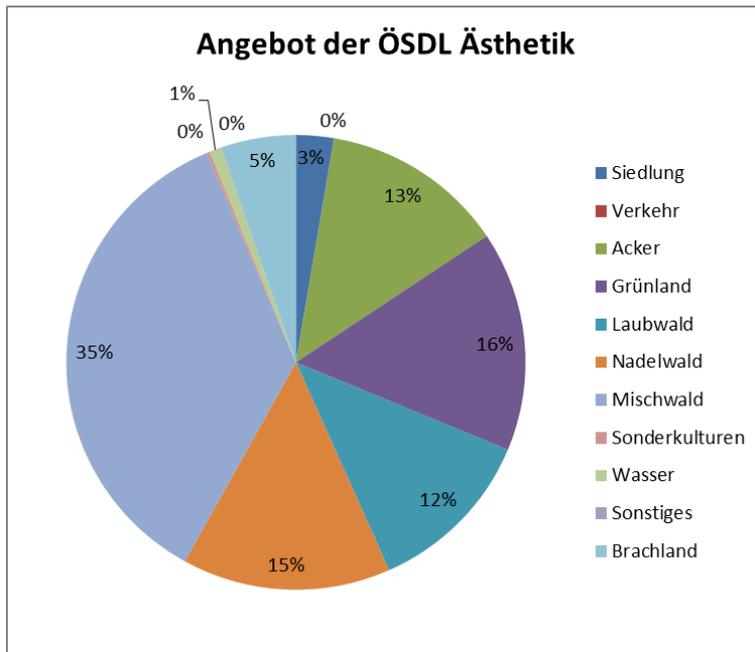
## 6.6 Auswirkungen auf Refugium-Funktion, Ästhetische-Information und Freizeit

Um die Auswirkungen der Landnutzungsszenarien auf das Angebot der ÖSDL Refugium-Funktion, Ästhetische-Information und Freizeit besser illustrieren zu können, sollen an dieser Stelle die Analyseergebnisse des Ist-Zustands aus Kapitel 5 zunächst in anderer Form für das gesamte Bundesland Hessen dargestellt werden. Im Folgenden wird zunächst der jeweilige Anteil, den die unterschiedlichen Landbedeckungstypen am Angebot der genannten ÖSDL in Jahr 2000 haben berechnet und dargestellt. Der Hauptunterschied im räumlichen Landnutzungsmuster zwischen den Szenarien besteht im Umfang und in der Nutzung der Brachflächen. Im zweiten Schritt der Analyse wird daher untersucht, inwieweit die Veränderung des Angebots an den drei hier betrachteten ÖSDL durch diese Größen bestimmt wird.



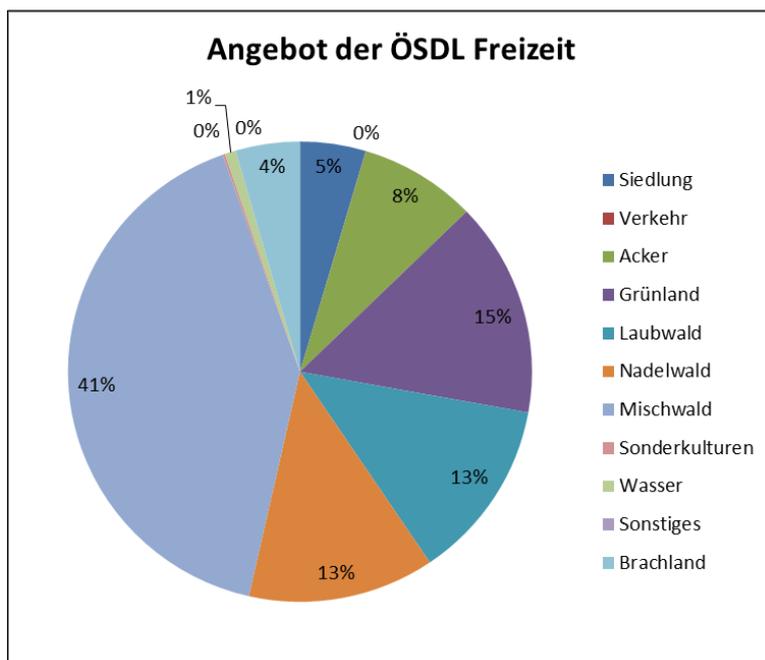
**Abbildung 28:** Anteil der einzelnen Landbedeckungstypen an der Bereitstellung der ÖSDL Refugium-Funktion im Basisjahr 2000.

Abbildung 28 zeigt den Beitrag der verschiedenen Landbedeckungstypen der Basiskarte an der Bereitstellung der ÖSDL Refugium-Funktion. Den größten Stellenwert haben die unterschiedlichen Waldtypen mit zusammen > 71% (Laubwald 14 %, Nadelwald 15 % und Mischwald 42 %). Grünland erreicht mit einem Anteil von 12% ebenfalls eine hohe Wichtigkeit für das Angebot, gefolgt von der Ackerfläche mit 10%. Siedlung, Verkehr, Sonderkulturen, Wasser und sonstige Flächen leisten keinen bzw. nur einen minimalen Beitrag zum Angebot. Mit 4% spielt Brachland nur eine untergeordnete Rolle.



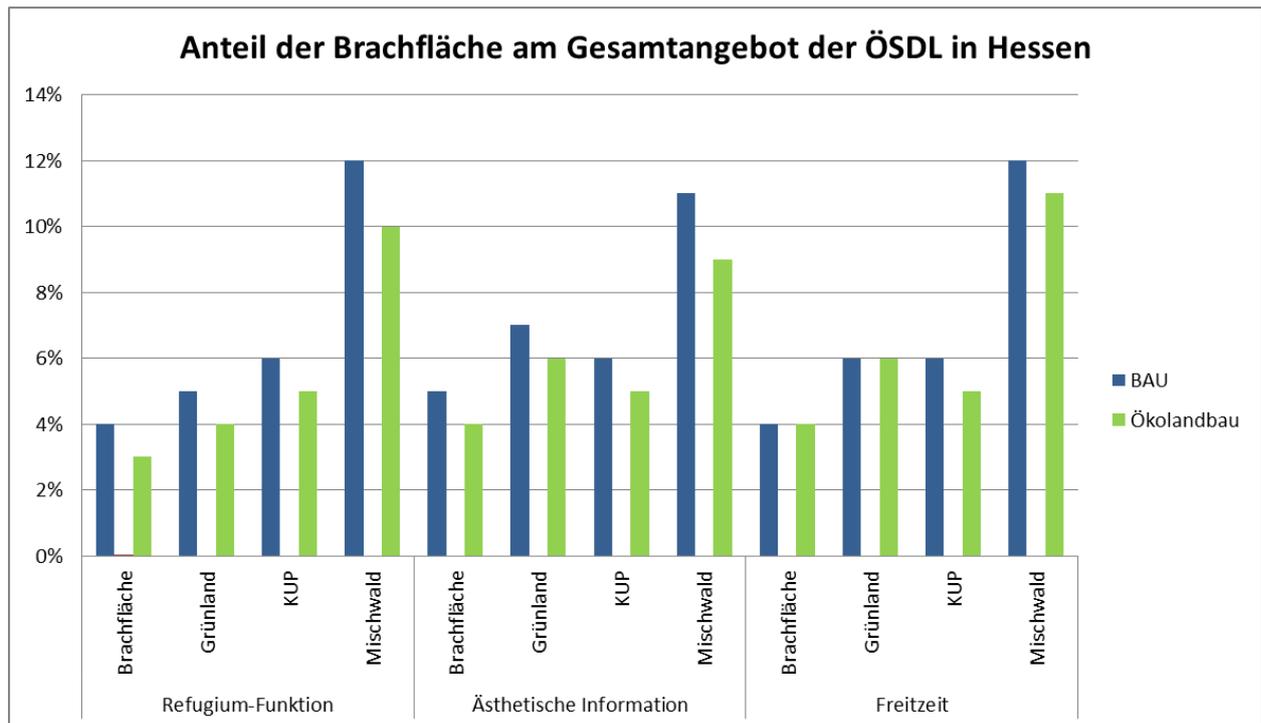
**Abbildung 29:** Anteil der einzelnen Landbedeckungstypen an der Bereitstellung der ÖSDL Ästhetik-Information im Basisjahr 2000.

Für das Angebot der ÖSDL Ästhetik-Information für Hessen hat Wald in Summe mit 62% die größte Bedeutung (Abbildung 29). Grünland erreicht mit einem Anteil von 16% ebenfalls eine hohe Wichtigkeit. Auch Agrarfläche stellt mit 13 Prozent eine ähnlich hohe Wichtigkeit, wie Grünland. Siedlung (3%), Verkehr, Sonderkulturen, Wasser (1%) und sonstige Flächen leisten auch hier keinen nennenswerten Beitrag zum Angebot. Mit 5% spielt Brachland nur eine untergeordnete Rolle für das Angebot an der ÖSDL Ästhetik-Information.



**Abbildung 30:** Anteil der einzelnen Landbedeckungstypen an der Bereitstellung der ÖSDL Freizeit im Basisjahr.

Für das Angebot der ÖSDL Freizeit zeigt sich ein ähnliches Bild (Abbildung 30) wie bei den beiden vorangegangenen ÖSDL. Wald trägt mit 67% besonders stark zum Angebot für Freizeitaktivitäten bei, gefolgt von Grünland mit 15%. Ackerland trägt 8% bei. Im Gegensatz zu den anderen ÖSDL hat Siedlung hier einen Wert von 5%, während Brachflächen bei 4% liegen.



**Abbildung 31:** Anteil der unterschiedlich genutzten Brachfläche (Belassen der Fläche, Grünland, KUP und Mischwald) an der Bereitstellung der ÖSDL Refugium-Funktion, Ästhetische-Information und Freizeit im BAU und Ökolandbau-Szenario.

In Abbildung 31 werden nun die unterschiedlichen Nutzungsmöglichkeiten der Brachfläche für Hessen dahingehend betrachtet, inwieweit sie zu einer Veränderung des Anteils zur Bereitstellung der verschiedenen ÖSDL beitragen. Untersucht wurden die beiden Szenarien BAU und Ökolandbau. Im Bioenergieszenario werden alle Brachflächen ackerbaulich genutzt. Bei diesem Gedankenexperiment wird dargestellt, wie groß die Brachfläche in den unterschiedlichen Szenarien wird und welche Effekte dadurch auf das Angebot der ÖSDL entstehen. Aus den Ergebnissen der Analyse wird zunächst deutlich, dass bei allen Alternativnutzungen (Grünland, KUP und Mischwald) eine Erhöhung des Angebots der drei betrachteten ÖSDL zu verzeichnen ist und dass gleichzeitig der Anteil der neu genutzten Brachfläche an diesem Angebot zunimmt. Besonders deutlich wird dies bei einer Aufforstung in Mischwald. Die Werte beim Ökolandbau Szenario liegen leicht unter den Werten für BAU, was durch die geringere absolute Brachfläche, die hier zur Verfügung steht zu erklären ist.

## 6.7 Auswirkungen der Szenarien auf Ökosystemdienstleistungen

Die Landnutzungsszenarien unterscheiden sich signifikant voneinander bezüglich des Angebots der verschiedenen ÖSDL. Das Angebot der ÖSDL Ernährung und Bioenergie ist im BAU und Ökolandbauszenario gleich, da sich nicht die Menge der Produktion sondern nur die Art wie Ackerbau betrieben wird voneinander unterscheidet. Unterschiede würden erst deutlich, wenn qualitative Aspekte bei den Nahrungsmitteln in die Betrachtung einfließen würden und den im Ökolandbau erzeugten Produkten eine höhere „Wertigkeit“ zugemessen werden würde. Demgegenüber steigt das Angebot der beiden ÖSDL Ernährung und Bioenergie im Bioenergie-Szenario deutlich an, u.a. als Reaktion auf die steigende inländische Nachfrage nach Biokraftstoffen sowie nach Nahrungsmitteln auf den Exportmärkten.

Dieses erhöhte Angebot im Bioenergieszenario bedeutet jedoch, dass das Angebot der anderen betrachteten Dienstleistungen eingeschränkt wird. Im Bereich der CO<sub>2</sub>-Regulierung schneidet das Bioenergieszenario durch die vollständige Umwandlung der Brachflächen in Ackerland im Vergleich zu den beiden anderen Szenarien mit Alternativnutzungen der Brachflächen (Grünland, KUP, Aufforstung) deutlich schlechter ab. Das gleiche gilt für das Angebot der Refugium-Funktion sowie der ÖSDL Ästhetik-Information und Freizeit. Durch die Nutzung der Überhangflächen zur landwirtschaftlichen Produktion fehlen hier die Spielräume zur gezielten Steigerung des Angebots dieser ÖSDL. Weiterhin ist das Bioenergieszenario durch höhere Stickstoffeinträge charakterisiert, wodurch die ÖSDL Nährstoffretention stärker in Anspruch genommen wird.

Ein Bereich der in dieser Studie nicht betrachtet wird, ist der Beitrag der einzelnen Szenarien zum Klimaschutz durch die Nutzung von Bioenergie. Hier konkurriert das Bioenergieszenario mit der Alternativnutzung als KUP unter den beiden anderen Szenarien. Aufgabe einer entsprechenden Analyse wäre die Gegenüberstellung des jeweils erreichten Beitrags zur CO<sub>2</sub>-Regulierung mit dem entsprechenden Potenzial zur Vermeidung von CO<sub>2</sub>-Emissionen durch die energetische Nutzung von Biomasse.

## 7 Schlussfolgerungen

In diesem Abschnitt sollen aufbauend auf den in den vorigen Kapiteln vorgestellten Analysen mögliche Anpassungsmaßnahmen und Ansätze zum Klimaschutz diskutiert werden. Diese zielen sowohl auf den Bereich Landnutzung/Landwirtschaft als auch auf eine Änderung des Bewusstseins hinsichtlich der Nutzung von Ökosystemdienstleistungen. Abschließend wird auf die Besonderheiten des interdisziplinären Forschungsansatzes innerhalb des Projekts eingegangen.

### 7.1 Wertschätzung von Ökosystemdienstleistungen

In Kapitel 3.1 konnte gezeigt werden, dass, obwohl der Begriff der „Ökosystemdienstleistung“ den befragten Probanden nahezu unbekannt war, eine hohe Wertschätzung der einzelnen Dienstleistungen zu verzeichnen ist. Hieraus leiten die Autoren ein großes Potenzial ab, dass das ÖSDL-Konzept dazu geeignet ist, die Bevölkerung künftig stärker für die Notwendigkeit des Klima- und Umweltschutzes sowie einer nachhaltigen Landnutzung zu sensibilisieren. Hierzu können im Bildungsbereich Programme entwickelt werden, die der Bevölkerung den vielfältigen Nutzen von Ökosystemen darstellen. Die Spannbreite möglicher Maßnahmen reicht von Informationstafeln in Naherholungsgebieten bis hin zu Lehrveranstaltungen und Informationsveranstaltungen in Schulen, privaten Bildungseinrichtungen und Universitäten. Gleichzeitig können die räumlichen Daten über die Wertschätzung von ÖSDL dabei helfen, über gezielte regionale Informationskampagnen die Akzeptanz von Maßnahmen etwa zum Klimaschutz zu erhöhen.

Darüber hinaus können die Ergebnisse der Befragung einen wertvollen Beitrag für die Planung von Maßnahmen zur gezielten Erhöhung des Angebots von Ökosystemdienstleistungen leisten, um der bestehenden Nachfrage gerecht zu werden. So könnte sich die Einrichtung neuer Naherholungsgebiete an der bestehenden Nachfrage nach den ÖSDL Freizeit und Ästhetik-Information orientieren bzw. Angebote im Bereich des öffentlichen Personennahverkehrs geschaffen werden, um diese Gebiete ohne Auto und damit klimafreundlicher zu erreichen. Mit dem Konzept der ÖSDL wird es möglich einfach aufzuzeigen, dass diese Angebote gleichzeitig Vorteile für den Klima- (CO<sub>2</sub>-Regulation) und Artenschutz (Refugium-Funktion) mit sich bringen.

## 7.2 Anpassung in der Landwirtschaft

Die Anpassung des landwirtschaftlichen Managements an veränderte Klimabedingungen ist ein viel thematisierter Bereich, der auch in der wissenschaftlichen Literatur ausgiebig behandelt wird. Es gibt eine Vielzahl von möglichen Anpassungsmaßnahmen, um negativen Folgen veränderter Temperatur- und Niederschlagsregime auf Ernteerträge entgegenzuwirken. Beispiele umfassen (BMEL 2015, UBA 2015):

- Anpassung der Aussattermine, Saatkichte, Reihenabstand und Fruchtfolge
- Anbau standortangepasster Sorten
- Anbau anderer Kulturen
- Anpassung der Pflanzenschutzmaßnahmen
- Anpassung der Bodenbearbeitung
- Optimierung der Bewässerung

Die Simulationsläufe mit dem Agrarökosystemmodell DNDC haben gezeigt, dass es innerhalb des betrachteten Klimaszenarios (SRES A1B) große Unsicherheiten bezüglich der Ausprägung des Klimawandels in Hessen und damit auch der Auswirkungen auf Ernteerträge gibt. So werden für Raps mit verschiedenen Klimamodellergebnissen auf Landkreisebene sowohl Ertragserhöhungen als auch -minderungen berechnet. Die Planung konkreter Anpassungsmaßnahmen auf Grundlage der erzeugten Modelldaten erscheint vor diesem Hintergrund als schwierig. Allerdings konnten einige Charakteristiken herausgearbeitet werden, die Hinweise auf die Ausrichtung von Anpassungsmaßnahmen geben.

So zeigte sich in den Simulationen, bis zum Jahr 2100 eine Angleichung der Erträge zwischen Süd- und Nordhessen. Während die Erträge in Südhessen tendenziell stagnieren oder sogar sinken, weisen die Ergebnisse auf Ertragssteigerungen im Norden hin. Da für jede Klimazelle alle Feldfrüchte gerechnet wurden, zeigt dies, dass die Eignung für einige Feldfrüchte in Südhessen in Zukunft schlechter wird (z.B. Mais). Diesem Trend könnte beispielsweise durch den Anbau besser angepasster Sorten oder Feldfrüchte entgegengewirkt werden. Auch eine Anpassung der Aussaat- und Erntetermine kann zu einer verbesserten Ertragssituation beitragen.

Neben der Angleichung der Ernteerträge von Süd- und Nordhessen zeigte sich gerade bei Winterweizen ein starker Effekt der veränderten Saisonalität von Temperatur und Niederschlag. Die verwendeten Klimaszenarien gehen bis zum Jahr 2100 von wärmeren und feuchteren Wintern aus. Dies führt gerade bei den Wintergetreidesorten, die bereits Ende Herbst

ausgesät werden, zu deutlichen Veränderungen. Die Simulationsergebnisse mit DNDC haben sehr deutlich gezeigt, dass sich das Pflanzenwachstum Ende dieses Jahrhunderts deutlich verfrüht, da die Pflanzen im Winter höhere Temperaturen (zwischen 3-4 Grad) und mehr Niederschlag zur Verfügung haben (Blümel et al: 2011). Durch diese Entwicklung ergeben sich zwei mögliche Anpassungsvarianten an den Klimawandel bis zum Jahr 2100. Zum einen können die Aussaat- und Erntetermine gerade im Bereich der Wintergetreidesorten angepasst werden. In den durchgeführten Simulationen wurde bis 2050 der Erntetermin 15 Tage früher, im Jahr 2100 30 Tage früher angesetzt, um optimale Erträge zu generieren. Diese Entwicklung führt zu der zweiten Anpassungsoption. Durch die früheren Erntetermine besteht die Möglichkeit eine zweite Feldfrucht im Jahr anzubauen, die zusätzlichen Ertrag erwirtschaften bzw. zur Fixierung von Stickstoff beitragen kann.

### **7.3 Anpassung im Bereich Landnutzung**

Mit den Landnutzungsszenarien wurden mögliche Entwicklungspfade für den ländlichen Raum in Hessen illustriert. Letztendlich wird es von der gesellschaftlichen und politischen Willensbildung sowie den ökonomischen Rahmenbedingungen abhängen, in welche Richtung sich die Landnutzung entwickeln soll. Zieht man die Ergebnisse der Ertragsmodellierung hinzu, scheinen alle Szenarien umsetzbar, da sich die Klimabedingungen unter den gegebenen Angaben nicht derart drastisch verändern, dass der Agrarsektor vollständig neu strukturiert werden müsste, um sich den veränderten Klimabedingungen anzupassen. Bei einigen Feldfrüchten ist sogar mit einer im Mittel höheren Produktion auf den Ackerflächen zu rechnen. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass keine Betrachtung der interannuellen Variabilität von Ernteerträgen vorgenommen wurde. Ein vermehrtes Auftreten beispielsweise von Trockenjahren kann sehr wohl die Notwendigkeit einer Anpassung im Bereich der Landwirtschaft größer werden lassen (z.B. Sortenanpassung und Schädlingsbekämpfung).

Die Landnutzungsszenarien unterscheiden sich in ihrem Portfolio von Ökosystemdienstleistungen deutlich voneinander. So ist beispielsweise im Hinblick auf das Angebot der ÖSDL Ästhetik-Information und Freizeit abzuwägen zwischen dem Anbau von Energiepflanzen (KUP, Raps, Mais) zum Klimaschutz oder der Konversion in Grünland zur Milch- oder Nutztierproduktion. Die Aufforstung von Flächen, die sich nicht in Nutzung befinden unterstützt dabei die ÖSDLs Ästhetik-Information, Freizeit und Refugium-Funktion, würde aber de-facto die Option einer erneuten Nutzung zur Pflanzenproduktion etwa unter veränderten ökonomischen Rahmenbedingungen erschweren.

#### **7.4 Interdisziplinärer Forschungsansatz**

Ziel des Projekts war durch die Kombination von umweltnaturwissenschaftlichen und umweltpsychologische Aspekten eine disziplinübergreifende Betrachtung von Ökosystemdienstleistungen in Hessen vorzunehmen. In diesem Rahmen konnten neue Erkenntnisse sowohl über das Angebot als auch über die Nachfrage nach ÖSDL generiert werden. Neben den neuen Erkenntnissen über den Wissensstand und die Wertschätzung von ÖSDL in der Bevölkerung konnte erstmals mit Hilfe der Abbildung auf die Sinus-Milieus eine räumliche Verortung der Nachfrage nach ausgewählten Dienstleistungen vorgenommen werden. Exemplarisch wurde aufgezeigt, inwieweit eine Gegenüberstellung zur Angebotsseite etwa für Planungsaufgaben genutzt werden kann. Ein wichtiger Aspekt der Forschungsarbeiten war das Finden einer „gemeinsamen Sprache“ zwischen den Fachdisziplinen, um die unterschiedlichen Zugänge zur Thematik des Vorhabens miteinander zu verknüpfen. Insgesamt sehen die Autoren im Konzept der Ökosystemdienstleistungen ein großes Potenzial zur Verknüpfung zwischen natur- und gesellschaftswissenschaftlichen Forschungsarbeiten zur Entwicklung eines besseren Verständnisses von Mensch-Umweltsystemen sowie zur Untersuchung der gesellschaftlichen Relevanz von Umweltveränderungen unter Bedingungen des globalen Wandels.

## **8 Ausblick sowie Forschungs- und Untersuchungsbedarf**

Das Projekt zielte auf die interdisziplinäre Betrachtung von Ökosystemdienstleistungen in Hessen. Die Ergebnisse geben Hinweise auf künftige Auswirkungen des globalen Wandels auf das Angebot dieser Dienstleistungen sowie über deren Wertschätzung in der Bevölkerung. Gerade die in der umweltpsychologischen Studie erhobenen Daten bieten einen Informationsfundus, der über die bereits durchgeführten Analysen hinaus verwertet werden kann. Beispiele umfassen eine weitergehende Untersuchung hinsichtlich der Akzeptanz von möglicherweise einschneidenden Maßnahmen zum Klimaschutz etwa im Bereich Individualverkehr oder bei der Nutzung von Biokraftstoffen. Auch in der Verknüpfung zwischen den ÖSDL Angebots- und Nachfragearten ergeben sich, wie schon angedeutet, interessante Möglichkeiten, diese Technik etwa im Kontext von Planungsverfahren für Flächennutzungen oder für die Gestaltung von Angeboten des öffentlichen Personennahverkehrs gezielt zu nutzen.

Die landschaftsökologische Analyse des Angebots konzentrierte sich in der vorliegenden Studie auf nur wenige ÖSDL. Hier besteht die Möglichkeit in einer weitergehenden Untersuchung weitere ÖSDL einzubinden. Ferner können die verwendeten Modelle für die CO<sub>2</sub>-Regulierung und Nährstoffregulierung weiter verfeinert werden. Bei der CO<sub>2</sub>-Speicherung wurde beispielsweise keine Betrachtung der Klimaauswirkungen auf die Biomasseproduktion und die Stoffumsätze von Wäldern vorgenommen. Ebenso können die generierten Daten als Ausgangspunkt für eine detailliertere Abwägung zwischen verschiedenen Klimaschutzmaßnahmen (Kohlenstoffspeicherung vs. Substitution von fossilen Energieträgern) etwa in Form einer Ökobilanz dienen. Letztendlich stellen sich auch bei der Untersuchung der Auswirkungen des Klimawandels auf Ernteerträge weiterhin zahlreiche offene Fragen. So konnten bereits innerhalb eines Szenarios (SRES A1B) große Unsicherheiten hinsichtlich dieser Auswirkungen festgestellt werden. Hier besteht noch erheblicher Forschungsbedarf hinsichtlich der Nutzung und Validität bestehender Ertragsmodelle zur Analyse nicht nur der mittleren Veränderungen sondern auch der interannuellen Variabilität von Ernteerträgen sowie der Abbildung von Anpassungsmaßnahmen im Bereich des landwirtschaftlichen Managements.

## 9 Referenzen

- Alcamo, J., Schaldach, R., Koch, J., Kölking, C., Lapola, D., & Priess, J. (2011): Evaluation of an integrated land use change model including a scenario analysis of land use change for continental Africa. *Environmental Modelling & Software*, 26(8), 1017-1027.
- Beck, S., Born, W., Dziock, S., u.a. (2006): Die Relevanz des Millennium Ecosystem Assessment für Deutschland. *UFZ-Bericht 2/2006*.
- Blümel, K. und Chmielewski, F. (2011): Aufbereitung der Klimamodelldaten, Bericht der Daten-AG, Humboldt-Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät
- Burkhard, B.; Kroll, F.; Müller F.; Windhorst, W. (2009): Landscape's capacities to
- Canadell, J.; Jackson, R. B.; Ehleringer, J. R.; Mooney, H. A.; Sala, O. E.; Schulze, E.-D. (1996): Maximum rooting depth of vegetation types at the global scale. *Oecologia*, 108, 583-595.
- Costanza, R.; d' Arge, R.; de Groot, R.; Farber, S.; Grasso, M.; Hannon, B.; Limburg, K.; Naeem, S.; O'Neil, R.; Paruelo, J.; Raskin, R.; Sutton, P.; van den Belt, J. (1997): The value of the world's ecosystem services and natural capital. *NATURE*, 387, 253-260.
- Daily, G. C. (1997): Introduction: What are ecosystem services? In: Daily, G. C. (ed): *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. 1-10. Island Press. Washington, DC.
- De Groot, R. (2006): Function-analysis and valuation as a tool to assess land use conflicts in planning for sustainable, multi-functional landscapes. *Landscape and Urban Planning* 75, 175-186.
- De Groot, R. S., Wilson, M. A., & Boumans, R. M. (2002): A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological economics*, 41(3), 393-408.
- De Groot, R.; Fisher, B.; Christie, M.; Aronson, J.; Braat, L.; Gowdy, J.; Haines-Young, R.; Maltby, E.; Neuville, A.; Polasky, S.; Portela, R.; Ring, I. (2010): Integrating the ecological and economic dimensions in biodiversity and ecosystem service valuation. In: Kumar, P. (ed.): *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: The Ecological and Economic Foundations*. Chapter 1, 9-40. Earthscan Ltd.
- DüV, Düngeverordnung (2012): Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen. Düngeverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 27. Februar 2007 (BGBl. I S. 221), die zuletzt durch Artikel 5 Absatz 36 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) geändert worden ist.
- Eastman J R, Jin W, Kyem P A K, Toledano J (1995): Raster Procedures for Multi-Criteria/Multi-Objective Decisions *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 61, 539-547.
- Flick, U. (Hrsg.) (1991) : *Handbuch der qualitativen Sozialforschung*. München: Psychologie Verlags Union.
- Foley, J.A., DeFries, R., Asner, G.P. et al. (2005): Global Consequences of Land Use. *Science* Vol. 309, 570-574.
- Froschauer, U und Lueger, M (1992) : *Das" qualitative Interview: zur Analyse sozialer Systeme*, WUV, Univ.-Verl.
- Geneletti, D. (2004): A GIS-based decision support system to identify nature conservation priorities in an alpine valley. *Land Use Policy*, 21(2), 149-160.

- Groeben, N; Wahl, D; Schlee, J; Scheele, B (1988) :. Das Forschungsprogramm Subjektive Theorien. Eine Einführung in die Psychologie des reflexiven Subjekts, Francke Verlag, Tübingen.
- Hermann, A.; Schleifer, S.; Wrбка, T. (2011): The Concept of Ecosystem Services Regarding Landscape Research: A Review. *Living Rev. Landscape Res.* 5, 1.
- Herrmanns, H. (1991) :. Narratives Interview. In: Flick (Hrsg.), *Handbuch der qualitativen Sozialforschung*. Flick, U (Hrsg.), München: Psychologie Verlags Union, S. 182-185.
- Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG) (2011): Umweltatlas. Die Flächennutzung 2010. Online: [http://atlas.umwelt.hessen.de/servlet/Frame/atlas/allg\\_dat/flaeche/flaechennutz\\_txt.htm](http://atlas.umwelt.hessen.de/servlet/Frame/atlas/allg_dat/flaeche/flaechennutz_txt.htm), 05.04.2013.
- Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG) (2013a): Umweltatlas. Das Klima von Hessen. Online: [http://atlas.umwelt.hessen.de/servlet/Frame/atlas/klima/einleitung\\_txt.htm](http://atlas.umwelt.hessen.de/servlet/Frame/atlas/klima/einleitung_txt.htm), 05.04.2013.
- Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG) (2013b): Umweltatlas. Jahresmitteltemperatur 1901 - 2010 als 30-Jahresmittel. Online: [http://atlas.umwelt.hessen.de/servlet/Frame/atlas/klima/temperatur/ani\\_d\\_1\\_1\\_2\\_1.htm](http://atlas.umwelt.hessen.de/servlet/Frame/atlas/klima/temperatur/ani_d_1_1_2_1.htm), 05.04.2013.
- Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG) (2013c): Umweltatlas. Jahressumme Niederschlag 1901 - 2010 als 30-Jahresmittel. Online: [http://atlas.umwelt.hessen.de/servlet/Frame/atlas/klima/niederschlag/ani\\_d\\_2\\_2\\_1\\_1.htm](http://atlas.umwelt.hessen.de/servlet/Frame/atlas/klima/niederschlag/ani_d_2_2_1_1.htm), 05.04.2013.
- Hessisches Statistisches Landesamt (2011) : Flächennutzung in Hessen 31.12.2009 nach Flächenarten, Wiesbaden. Online: <http://www.statistik-hessen.de/themenauswahl/bevoelkerungsgebiet/landesdaten/flaeche/flaechenarten/>, 07.10.11
- Hessisches Statistisches Landesamt (HSL) (2012a): Statistische Berichte. Flächenerhebung in Hessen zum 31.12.2011. Tatsächliche Nutzung. Kennziffer: C I 2 – j/11. Wiesbaden.
- Hessisches Statistisches Landesamt (HSL) (2012b): Nachhaltigkeitsstrategie Hessen – Ziele und Indikatoren, Fortschrittsbericht 2012. Wiesbaden.
- HMWVL, Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung (2013): Sozioökonomische Analyse im Hinblick auf EFRE, ESF und ELER in Hessen für die Förderperiode 2014 bis 2020 einschließlich Stärken-, Schwächen, Chancen, Risiken-Analyse, Wiesbaden.
- Hohl, J. (2000): Das qualitative Interview, *Journal of Public Health*, Springer Berlin / Heidelberg, S. 142-148
- Hopf, C. (1978) :. Die Pseudo-Exploration - Überlegungen zur Technik qualitativer Interviews in der Sozialforschung. In: *Zeitschrift für Soziologie* Jg. 7, Heft 2, 97-115.
- IEOS, Institute for the Study of Earth, Oceans and Space, University of New Hampshire (2012): User's Guide for the DNDC Model, (Version 9.5). Online: <http://www.dndc.sr.unh.edu/model/GuideDNDC95.pdf> (17.08.2015).
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2007): IPCC Fourth Assessment Report - Climate Change 2007 Synthesis Report. IPCC, Geneva, Switzerland. 104 S.
- Jacob, R. & Eirnbter, W. (2000): Allgemeine Bevölkerungsumfragen. Einführung in die Methoden der Umfrageforschung. München, Wien: Oldenbourg.
- Kampeng, L.; Zhishi, W. (2003): The value of the ecosystem services and method. *Journal of Geographical Sciences* 13, 3, 339-347.

- Lamnek, S. (1989): *Qualitative Sozialforschung. Band 2: Methoden und Techniken*, München: Psychologie Verlags Union.
- Li, C., Frohling, S., Crocker, G. J., Grace, P. R., Klír, J., Körchens, M., & Poulton, P. R. (1997). Simulating trends in soil organic carbon in long-term experiments using the DNDC model. *Geoderma*, 81(1), 45-60.
- Mayring, P. (1996): *Einführung in die qualitative Sozialforschung. Eine Anleitung zu qualitativem Denken*. München: Psychologie Verlags Union.
- Meixner, O., Haas R. (2002). *Computergestützte Entscheidungsfindung. Expert Choice und AHP - innovative Werkzeuge zur Lösung komplexer Probleme*. Frankfurt/Wien 2002.
- Merton, R.K.; Fiske, M.; Kendall P. (1956): *The Group Interview*, In: *The Focused Interview*, Glencoe, IL: The Free Press.
- Metzger, M.J., Rounsevell, M.D.A., Acosta-Michlik, L., Leemans, R., Schröter, D. (2006): The vulnerability of ecosystem services to land use change. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 114, 69-85.
- microm Micromarketing-Systeme und Consult GmbH (2014): microm Geo Milieus®, abrufbar auf: <http://www.microm-online.de/zielgruppe/strategische-zielgruppen/microm-geo-milieus/>, (16.10.2014).
- Millennium Ecosystem Assessment (MA) (2003): *Ecosystems and Human Well-being: A Framework for Assessment*. Island Press. Washington, Covelo, London.
- Nelson, E., Mendoza, G., Regetz, J., Polasky, S., Tallis, H., Cameron, D., ... & Shaw, M. (2009): Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and trade-offs at landscape scales. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7(1), 4-11.
- Pfadenhauer, J, Krüger, G.-M., Muehre, E. (1991): *Ökologisches Gutachten Donaumoos – Konzept zur künftigen Landschaftsentwicklung - (Kurzfassung)*. Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Schriftenreihe H 109, Bayreuther Verlags GmbH.
- Ponti, T; Rijk, B. und Ittersum, M. (2012): The crop yield gap between organic and conventional agriculture, *Agricultural Systems*, 108, 1-9.
- Porst, R. (2009): *Fragebogen: Ein Arbeitsbuch*, 2. Aufl., Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Ramanathan, R. (2001): A note on the use of the analytic hierarchy process for environmental impact assessment. *Journal of environmental management*, 63(1), 27-35.
- Rhein-Main-Verkehrsbund (2015): „XtraTour“. Online: <http://www.rmv.de/de/Freizeit/RMV-Angebote/44706/RMV-XtraTour.html>
- Saaty, T. L. (1990): How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process, *European Journal of Operational Research* 48 (1990) 9-26 North-Holland.
- Saaty, T. L. (1994): How to make a decision: the analytic hierarchy process. *Interfaces*, 24(6), 19-43.
- Saaty, T. L. (2000): *Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process (Vol. 6)*. Rws Publications.
- Schaldach, R., Alcamo, J., Koch, J., Kölking, C., Lapola, D.M., Schüngel, J., Priess, J.A. (2011): An integrated approach to modelling land use change on continental and global scales. *Environmental Modelling and Software*, 26: 1041-1051.

- Scheele, B., Groeben, N. (1988): Dialog-Konsens-Methoden zur Rekonstruktion subjektiver Theorien. Tübingen: Francke.
- Seidl, Roman (2009): Eine Multi-Agentensimulation der Wahrnehmung wasserbezogener Klimarisiken. Metropolis: Marburg.
- Sinus Sociovision GmbH (2009): Informationen zu den Sinus Milieus 2009, Heidelberg
- Strauss, A. L. (1991): Grundlagen qualitativer Sozialforschung. Datenanalyse und Theoriebildung in der empirischen soziologischen Forschung. München: Wilhelm Finck.
- Strohm, K.; Schweinle, J.; Liesebach, M.; Osterburg, B.; Rödl, A.; Baum, S.; Nieberg, H.; Bolte, A.; Walter, K. (2012): Kurzumtriebsplantagen aus ökologischer und ökonomischer Sicht. Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI). Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei. Arbeitsberichte aus der vTI-Agrarökonomie 06/2012. Braunschweig.
- Tallis, H.; Ricketts, T.; Guerry, A.; Wood, S.; Sharp, R. (2012): InVEST 2.4.4 User's Guide: Integrated Valuation of Environmental Services and Tradeoffs. A modeling suite developed by the Natural Capital Project to support environmental decision-making.
- Thrän, D., Pfeiffer, D. (Hrsg) (2015): Meilensteine 2030 - Elemente und Meilensteine für die Entwicklung einer tragfähigen und nachhaltigen Bioenergiestrategie. Schriftenreihe des Förderprogramms „Energetische Biomassenutzung“, Band 18.
- Vitousek, P.M., Mooney, H.A., Lubchenco, J., Melillo, J.M. (1997): Human domination of Earth's ecosystems, *Science* 277, 494–499.
- Weber, F. (1991). Subjektive Organisationstheorien. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.
- Zeitschrift für amtliche Statistik (2008): Ökologischer Landbau – im Land Brandenburg, Deutschland, Europa und weltweit, Berlin Brandenburg, Ausgabe 6/08.
- Zhang, L.; Dawes, W. R.; Walker, G. R. (2001): Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale. *Water Resources Research* Vol. 37, No. 3, 701-708.