Optimierte Simulation von Landnutzungsänderungen im Kontext eines vermehrten Biomasseanbaus

Bildquelle: www.carbotech.info

Wettbewerbsbeitrag zum ALR-Hochschulpreis 2014 „Zukunftsfähige Land- und Regionalentwicklung in Niedersachsen“ der Niedersächsischen Akademie Ländlicher Raum e.V.

eingereicht von:
Johannes Hermes

OPTIMIERTE SIMULATION VON LANDNUTZUNGSÄNDERUNGEN IM KONTEXT EINES VERMEHRTEN BIOMASSEANBAUS

Wettbewerbsbeitrag zum ALR-Hochschulpreis 2014
„Zukunftsfähige Land- und Regionalentwicklung in Niedersachsen“ der Niedersächsischen Akademie Ländlicher Raum e.V.

eingereicht von Johannes Hermes, M. Sc.

Hannover, den 13. Oktober 2014

VORBEMERKUNG

Der vorliegende Beitrag ist eine überarbeitete und gekürzte Fassung der am 05. Februar 2014 am Institut für Umweltplanung, Fakultät für Architektur und Landschaft der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover zur Erlangung des akademischen Grades „Master of Science“ im Studiengang Umweltplanung eingereichten Abschlussarbeit „Optimierte Simulation von Landnutzungsänderungen im Kontext eines vermehrten Biomasseanbaus“ von Johannes Hermes.

Betreut wurde die Arbeit durch:

PD Dr. Sylvia Herrmann und Dr. Christian Albert

Institut für Umweltplanung der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover

INHALTSVERZEICHNIS

1 Einleitung 4
2 Methodik 5
2.1 Szenario-Entwicklung mit 100prosim 6
2.2 Modellierung von Landnutzungsänderungen mit CLUE-s 6
2.3 Optimierung der Simulation 8
3 Beschreibung des Fallstudiengebiets 9
4 Ergebnisse 11
4.1 Beschreibung der entwickelten Szenarien 11
4.2 Optimierung der Simulation 12
4.2.1 Methode zur Verortung zusätzlicher Biogasanlagen 12
4.2.2 Methode zur Erhaltung der Parzellenstruktur während der Simulation 13
4.2.3 Methode zur Berücksichtigung von Fruchtfolgen in der Simulation 14
4.3 Ergebnisse der Simulation 15
5 Diskussion 16
5.1 100prosim-Szenarien 16
5.2 Ansätze zur Optimierung der Simulation 16
5.3 Simulationsergebnisse 17
6 Ausblick und Fazit 18
Quellenverzeichnis 19
Anhang 20
Anhang I: Suchräume und Standorte der neuen Biogasanlagen 20
Anhang II: Ergebnis der Simulation von Szenario KSP-Hi 21
Anhang III: Ergebnis der Simulation von Szenario Nachhaltigkeit 22

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Vorgehensweise 5

Abbildung 2: Übersicht über den Informationsfluss im Modell CLUE-s (Quelle: VERBURG & VELDKAMP 2004: 79) 7

Abbildung 3: Übersichtskarte zur Flächennutzung im LK Hildesheim 10

Abbildung 5: Ziel-Energiemix Szenario Nachhaltigkeit (Ergebnisdarstellung aus 100prosim) 11

Abbildung 5: Ziel-Energiemix Szenario KSP-Hi (Ergebnisdarstellung aus 100prosim) 11

Abbildung 6: Ziel-Energiearten-Deckung beider Szenarien (Ergebnisdarstellung aus 100prosim; verändert) 12

Abbildung 7: Detaildarstellung zum Vergleich der Standorteigenschaften ohne und mit Parzellenbezug am Beispiel der Wassererosionsgefährdung 14

Abbildung 8: Umwandlungsmatrix zur Berücksichtigung von Fruchtfolgen 15

Abbildung 9: Unterstützung von Zielfindungs- und Entscheidungsprozessen durch 100prosim und CLUE-s 18

1 EINLEITUNG

Im Rahmen der Energiewende hat in Deutschland der Anbau von Biomasse für die energetische Nutzung, insbesondere in Form von Biogas, in den letzten Jahren stark zugenommen. Diese Entwicklung ist vielerorts mit deutlichen Veränderungen der Agrarstruktur und der landwirtschaftlichen Flächennutzung verbunden, was nachweißlich mit Auswirkungen auf Natur und Landschaft verbunden ist. Diese Auswirkungen betreffen zum Beispiel Arten und Lebensräume, das Landschaftsbild, die Nahrungsmittelproduktion und weitere Landschaftsfunktionen. Mit den Diskussionen um „Teller oder Tank“ und die „Vermaisung“ der Landschaft stehen vor allem die Auswirkungen auf die Nahrungsmittelproduktion bzw. die Marktpreise für agrarischer Rohstoffe sowie auf das Landschaftsbild auch stark im Fokus der Öffentlichkeit. Auswirkungen auf Arten und Lebensräume sowie andere Landschaftsfunktionen bleiben dagegen im Hintergrund.

Indes sind die Ziele des Ausbaus erneuerbarer Energien nach wie vor hoch. So plant die Metropolregion Hannover Brauschweig Göttingen Wolfsburg, in der auch das Untersuchungsgebiet Landkreis Hildesheim liegt, die Energieversorgung bis zum Jahr 2050 komplett auf erneuerbare Energieträger umzustellen. Mögliche Auswirkungen auf Natur und Landschaft sowie das hohe Konfliktpotential eines solch starken Ausbaus sind zwar bekannt, werden bei Planungen bisher jedoch kaum berücksichtigt.

Eine Möglichkeit, die Folgen eines vermehrten Biomasseanbaus frühzeitig abzuschätzen und dies in Zielfindungs- und Entscheidungsprozesse einfließen zu lassen, bietet die Szenariotechnik. „Dabei werden alternative zukünftige Entwicklungen (Szenarien) angenommen sowie deren potenzielle Auswirkungen auf den Landnutzungswandel abgeschätzt und mögliche ökologische, gesellschaftliche und wirtschaftliche Konsequenzen kalkuliert. Ziel dieses Ansatzes ist es, trotz der hohen Komplexität und der Unvorhersehbarkeit zukünftiger Landschaftsentwicklungen möglichst „robuste“ Entscheidungen zu ermöglichen“ (ALBERT 2009: 3). Um der hohen Komplexität insbesondere bei der räumlichen Simulation von Landnutzungsänderungen Rechnung zu tragen, können dabei Modelle eingesetzt werden. „Sie dienen der Vereinfachung der Wirklichkeit für eine systematische Betrachtung komplexer Zusammenhänge“ (FRITSCH 2002: 20). Die räumlich konkrete Simulation von Landnutzungsänderungen ist einerseits besonders wichtig für die Folgenabschätzung, bietet aber andererseits, insbesondere was die Simulation von Änderungen der Fruchtartenverteilung angeht, einige spezifische Herausforderungen.

Ziel der Arbeit ist daher die Optimierung der räumlich konkreten Simulation von Landnutzungsänderungen für den spezifischen Kontext eines vermehrten Biomasseanbaus. Konkret sollen die Optimierungen durch Anpassungen der Modellierungssoftware CLUE-s an die spezifischen Herausforderungen sowie durch die Koppelung mit dem Szenario-Werkzeug 100prosim erreicht und am Beispiel des Landkreis (LK) Hildesheim erprobt werden.

2 METHODIK

Das methodische Vorgehen untergliedert sich in drei Schritte (Abbildung 1). Zunächst werden für das Fallstudiengebiet LK Hildesheim zwei Szenarien des Ausbaus erneuerbarer Energien entwickelt. Dazu wird das Szenario-Werkzeug 100prosim verwendet, das speziell für die Erarbeitung von Szenarien einer postfossilen Energieversorgung in Szenario-Workshops im Rahmen von Zielfindungs- und Entscheidungsprozesse entwickelt wurde. Da für die vorliegende Arbeit kein solcher Workshop durchgeführt werden konnte, richten sich die Annahmen für die Szenarien zum einen nach dem Klimaschutzprogramm des LK Hildesheim, das bereits dem Ziel einer hundertprozentigen Deckung des Energiebedarfs aus erneuerbaren Quellen gewidmet ist, und zum anderen nach den dokumentierten Empfehlungen und der Experteneinschätzung von Herrn Schmidt-Kanefendt, dem Entwickler von 100prosim, der aus seiner Arbeit zu diesem Thema sowie der Durchführung zahlreicher Szenario-Workshops über ein umfassendes Wissen in diesem Bereich verfügt.

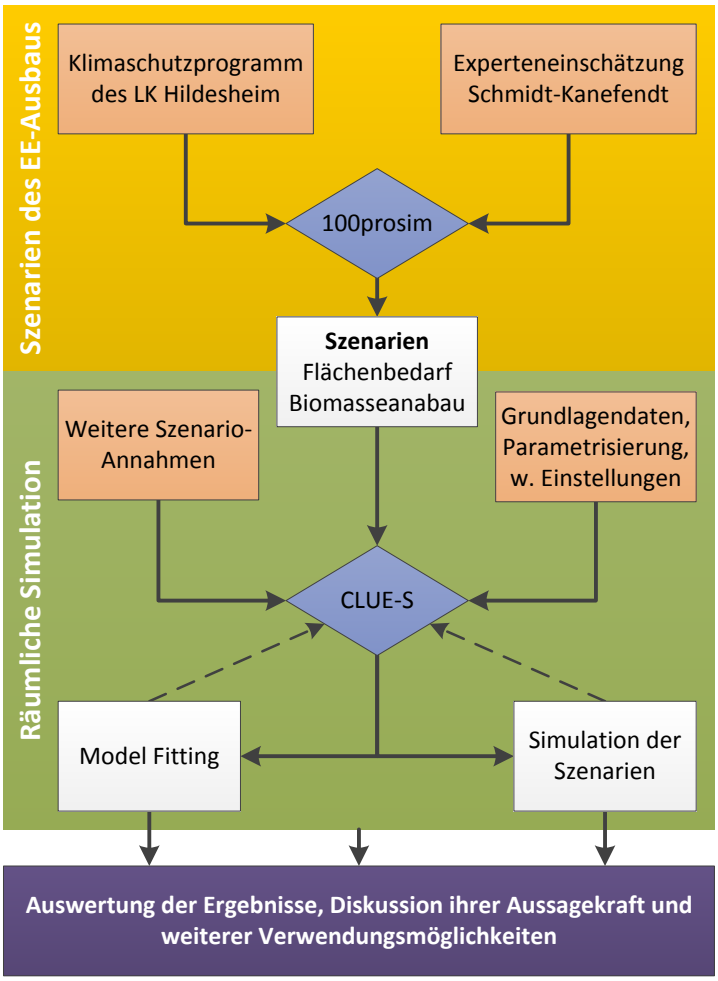


Abbildung 1: Vorgehensweise

Im zweiten Schritt wird der in den Szenarien angenommene Flächenbedarf für den Biomasseanbau mit der Software CLUE-s über einen Zeitraum von 25 Jahren räumlich simuliert. Neben den für die Arbeit mit CLUE-s üblicherweise notwendigen Grundlagendaten, der Parametrisierung sowie verschiedener weiterer Einstellung, ist es notwendig einige weitere Szenario-Annahmen zu treffen, um eine Kompatibilität der Modelle 100prosim und CLUE-s herzustellen und so die Koppelung zu ermöglichen. Neben der Simulation der Szenarien wird zusätzlich ein ‚Model Fitting' durchgeführt, bei dem der Status quo der Landnutzungsverteilung als Szenario verwendet und von einem früheren Zeitpunkt aus Simuliert wird. Der Vergleich der Ergebnisse des ‚Model Fitting' mit der realen Landnutzungsverteilung gibt Aufschluss über die Verlässlichkeit bzw. realitätsnähe der Simulation. Die Ergebnisse des ‚Model Fitting' sowie

der Szenario-Simulation werden immer wieder Analysiert und dienen als Grundlage für weitere Anpassungen in den Einstellungen von CLUE-s. Auf diesem Wege kann die Simulation immer weiter optimiert werden, bis ein zufriedenstellendes Simulationsergebnis erreicht wird.

Abschließend werden die Ergebnisse ausgewertet und ihre Aussagekraft wird diskutiert. Dabei werden auch die verschiedenen Zwischenergebnisse noch einmal herangezogen. Um die Ergebnisse in einen größeren Kontext zu setzten, werden Beispiele für Verwendungsmöglichkeiten sowie darauf aufbauende Analysen kurz erläutert.

2.1 Szenario-Entwicklung mit 100prosim

100prosim ist ein Excel-basiertes Energieproduktions- und –bedarfsmodell, das einen flächenbasierten und Zielorientierten Ansatz verwendet (vgl. Schmidt-Kanefendt 2013). Die Energieproduktion wird dabei anhand der zur Verfügung stehenden Fläche kalkuliert. Das Ziel ist immer die Deckung des Energiebedarfs zu 100% aus erneuerbaren Quellen bis zu einem vorbestimmten Zeitpunkt und in einem definierten Raum. Die Einstellungsmöglichkeiten bzw. Szenario-Annahmen betreffen folgende Faktoren:

- Flächenbedarf der einzelnen Energieträger (Wind- und Solarenergie, Biomasse, Wasserkraft, Geothermie) in den Szenarien,
- Energieproduktion pro Flächeneinheit,
- Anteilige Produktion verschiedener Arten von Energie (Strom, Brennstoff für Prozesswärme, Kraftstoff und Niedertemperaturwärme (Heizung)),
- Aufteilung der Energie(arten) auf verschiedene Verbrauchssektoren (Haushalte, Industrie und Gewerbe, Verkehr und Stromspeicherung inkl. Speicherverluste) und
- Bedarfsreduktion der einzelnen Sektoren durch verschiedene Maßnahmen.

Durch Justierung der einzelnen Faktoren können in Diskussionsrunden mit Experten, Entscheidungsträgern und Stakeholdern Szenarien der Energieversorgung erstellt werden. Die Darstellung erfolgt dabei immer im Vergleich mit dem Status quo. Als Grundlage für die Kalkulation und Diskussion können raumspezifische Potentialanalysen eingepflegt werden.

2.2 Modellierung von Landnutzungsänderungen mit CLUE-s

CLUE-s ist ein Modell zur jährlichen, räumlich präzisen Simulation von Landnutzungsänderungen auf einem regionalen Maßstab. Die Simulation basiert dabei auf empirischen Untersuchungen der Eignung eines Standortes für eine Landnutzung, kombiniert mit der dynamischen Simulation von Konkurrenzen zwischen Landnutzungen und der Interaktion zwischen der räumlichen und zeitlichen Dynamik von Landnutzungssystemen (vgl. Verburg et al. 2002 & Verburg 2010). Die für die Simulation (Allokationsprozess) erforderlichen Informationen gliedern sich in vier Bereiche. Den jährlichen Flächenbedarf

der einzelnen Landnutzungen, ausgewählte Standorteigenschaften, landnutzungsspezifische Umwandlungseinstellungen, sowie optional räumliche Informationen zu Restriktionen und raumplanerischen Vorgaben (vgl. Abbildung 2). Letztere wurden in der vorliegenden Arbeit jedoch nicht berücksichtigt.

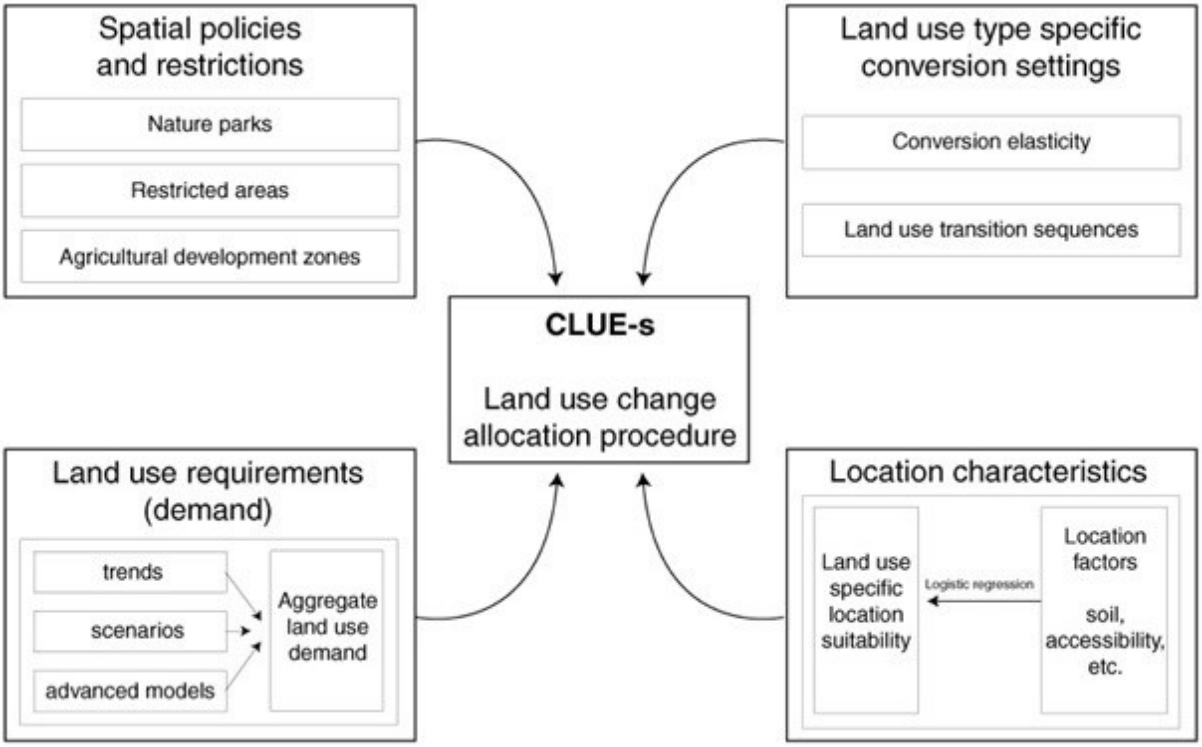


Abbildung 2: Übersicht über den Informationsfluss im Modell CLUE-s (Quelle: VERBURG & VELDKAMP 2004: 79)

Die Schnittstelle mit 100prosim ist der Flächenbedarf für den Biomasseanbau. Für die Integration in CLUE-s muss der festgelegte Zielzustand jedoch zunächst in jährliche Entwicklungsschritte überführt werden. Außerdem muss die Klassifikation der Fruchtarten stärker ausdifferenziert werden als dies in 100prosim geschieht. Als Orientierung dienen dabei aktuelle Tendenzen der Fruchtartenentwicklung aus der Agrarstatistik (LSKN 2010 & STATISTISCHE ÄMTER DES BUNDES UND DER LÄNDER 2014a & b sowie Annahmen aus dem Klimaschutzprogramm des LK Hildesheim (LANDKREIS HILDESHEIM 2012).

Um die Standorteignung zu ermitteln wird mittels logistischer Regressionsanalyse der Zusammenhang zwischen der Landnutzungsverteilung im Status quo und verschiedenen Standorteigenschaft ermittelt. Die in dieser Arbeit verwendeten Standorteigenschaften sind:

- das Standortbezogene natürliche ackerbauliche Ertragspotential,
- die potentielle Nitratauswaschungsgefährdung,
- die potentielle Wassererosionsgefährdung
- die Hangneigung
  sowie als Indikator für die Hof-Feld- bzw. Feld-Markt-Entfernung
- die Entfernung zu Straßen,

- die Entfernung zu Siedlungen,
- die Entfernung zu Industrie- und Gewerbestandorten und
- die Entfernung zu Biogasanlagen.

Aus den Standorteigenschaften und den Ergebnissen der Regressionsanalyse werden von CLUE-s Wahrscheinlichkeitskarten berechnet, die die Eignung eines Standortes für eine bestimmte Fruchtart repräsentieren.

Die landnutzungsspezifischen Umwandlungseinstellungen bestehen aus einem Umwandlungswiderstand und vorgegebenen Entwicklungspfaden für die Landnutzungen. Der Umwandlungswiderstand gibt an, wie wahrscheinlich die Umwandlung einer Landnutzung in eine andere ist, sofern die Umwandlung in der betroffenen Rasterzelle nicht zwingend erforderlich ist. Die Entwicklungspfade geben an, welche Landnutzung an einem Standort auf welche andere folgen darf und wie viele Jahre die Landnutzungen mindestens oder höchstens an einem Standort verortet bleiben müssen bzw. dürfen. Die Umwandlungseinstellungen bestimmen die räumliche und zeitliche Dynamik der Allokation.

Beim Allokationsprozess wählt CLUE-s für jede Rasterzelle zunächst die Landnutzung mit der höchsten Präferenz aus. Diese ergibt sich aus den Wahrscheinlichkeitskarten, den Umwandlungswiderständen und einer Iterationsvariablen. Dann wird geprüft, ob die vorgenommenen Umwandlungen entsprechend der Restriktionen und Entwicklungspfade erlaubt sind. Danach wird die erzeugte Landnutzungsverteilung auf Übereinstimmung mit dem Bedarf für das jeweilige Jahr geprüft. Fällt eine der Prüfungen negativ aus, wird die Iterationsvariable für einzelne Landnutzungen verändert und der Allokationsprozess beginnt mit geänderten Präferenzen erneut, bis beide Prüfungen positiv ausfallen. Dieser Prozess wird für jedes Jahr einzeln durchlaufen und die entsprechenden Verteilungskarten werden als Ergebnis ausgegeben. Nähere Details zu den Parametern und zum Allokationsprozess geben VERBURG et al. (2002), VERBURG & VELDKAMP (2004) und VERBURG (2010).

2.3 OPTIMIERUNG DER SIMULATION

Die Koppelung des Szenario-Werkzeugs 100prosim mit dem Landnutzungs-Simulator CLUE-s stellt bereits den ersten Aspekt der Optimierung dar. Auf diesem Weg können einerseits die in 100prosim getroffenen Annahmen in räumlich präzise Veränderungen der Landnutzung überführt werden. Andererseits sind die mit CLUE-s simulierten Szenarien, dank der bilanziellen Betrachtung des gesamten Energiesystems (Produktion, Aufteilung, Verbrauch) in 100prosim, robuster als wenn bloß Annahmen zur Entwicklung der Biomasseproduktion getroffen oder vergangene Entwicklungen extrapoliert werden. Ein besonderes Augenmerk ist bei der Koppelung auf die Kompatibilität der Modelle zu richten. In der vorliegenden Arbeit wird diese wie oben bereits beschrieben hergestellt.

Als weitere Aspekte werden drei Methoden entwickelt um den Simulationsprozess zu optimieren. Die erste Methode betrifft die Verortung neuer Biogasanlagen im Untersuchungsgebiet. Die Notwendigkeit neuer Biogasanlagen ergibt sich aus dem steigenden Bedarf. Die Notwendigkeit ihrer Verortung im Raum ergibt sich aus dem hohen Einfluss, den die Standorte auf die Verteilung der Maisflächen im Raum haben.

Desweiteren wird eine Methode entwickelt, um die Struktur der landwirtschaftlichen Parzellen im Untersuchungsgebiet während der Simulation zu erhalten. Dies ist notwendig, da Rasterzellen keine Information über die Zusammengehörigkeit mit benachbarten Zellen tragen und die Parzellenstruktur in rasterbasierten Modellen daher i.d.R. verloren geht. Bisher wird daher die Rasterzellengröße so angepasst, dass sie einen Kompromiss aus räumlicher Präzision und Erhaltung der Struktur bildet, was mit der entwickelten Methode vermieden werden soll.

Eine spezifische Herausforderung bei der Simulation von Veränderungen der Fruchtartenverteilung auf Ackerflächen ist deren hohe räumliche und zeitliche Dynamik. Anders als statische Landnutzungstypen wie Acker, Grünland, Wald und Siedlung o.Ä. können die meisten Fruchtarten nicht oder nur wenige Jahre in Folge auf derselben Fläche angebaut werden. Die Berücksichtigung solcher Fruchtfolgen ist jedoch für einige Bewertungsverfahren sehr wichtig, da sich gegenüber der Bewertung lediglich des Zustandes in einem einzelnen Jahr deutliche Unterschiede ergeben können. Es wird daher eine Methode entwickelt um Fruchtfolgen im Simulationsprozess berücksichtigen zu können.

3 Beschreibung des Fallstudiengebiets

Grund für die Auswahl des Niedersächsischen Landkreises Hildesheim als Fallstudiengebiet ist die Datenverfügbarkeit. Für die Arbeit mit CLUE-s sind räumliche explizite Daten zur Landnutzungsverteilung vom mindestens dem Ausgangsjahr der Simulation essentiell. Für den gegebenen Kontext muss dies die Fruchtartenverteilung sein. Räumlich explizite Daten zur Fruchtartenverteilung werden in Deutschland zwar im InVeKoS-Datensatz (Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem) erfasst, stehen aus datenschutzrechtlichen Gründen jedoch i.d.R. nicht für Analysen zur Verfügung. Im Falle des LK Hildesheim wurden diese Daten jedoch in anonymisierter Form bereitgestellt. Auch die Verfügbarkeit von weiteren Daten für die Standorteigenschaften war gewährleistet.

Charakterisiert ist die Landwirtschaft im LK Hildesheim durch eine ausgeprägte Dominanz des Ackerbaus gegenüber der Grünlandbewirtschaftung (vgl. Abbildung 3). Bei den Fruchtarten stehen auf den sehr produktiven Böden insbesondere der Bördelandschaft im Norden des LK vor allem Weizen- und Zuckerrübenanbau im Vordergrund.

Die Biogasproduktion und der damit verbundene Anbau von Mais als Substrat für die Biogasproduktion spielen bisher nur eine untergeordnete Rolle, sowohl was die dafür in

Anspruch genommen Flächenanteil als den Anteil an der Energieproduktion angeht. Hier wird vom LK noch ein deutliches Entwicklungspotential gesehen, das laut dem Klimaschutzprogramm bis 2050 ausgeschöpft werden soll (LANDKREIS HILDESHEIM 2012).

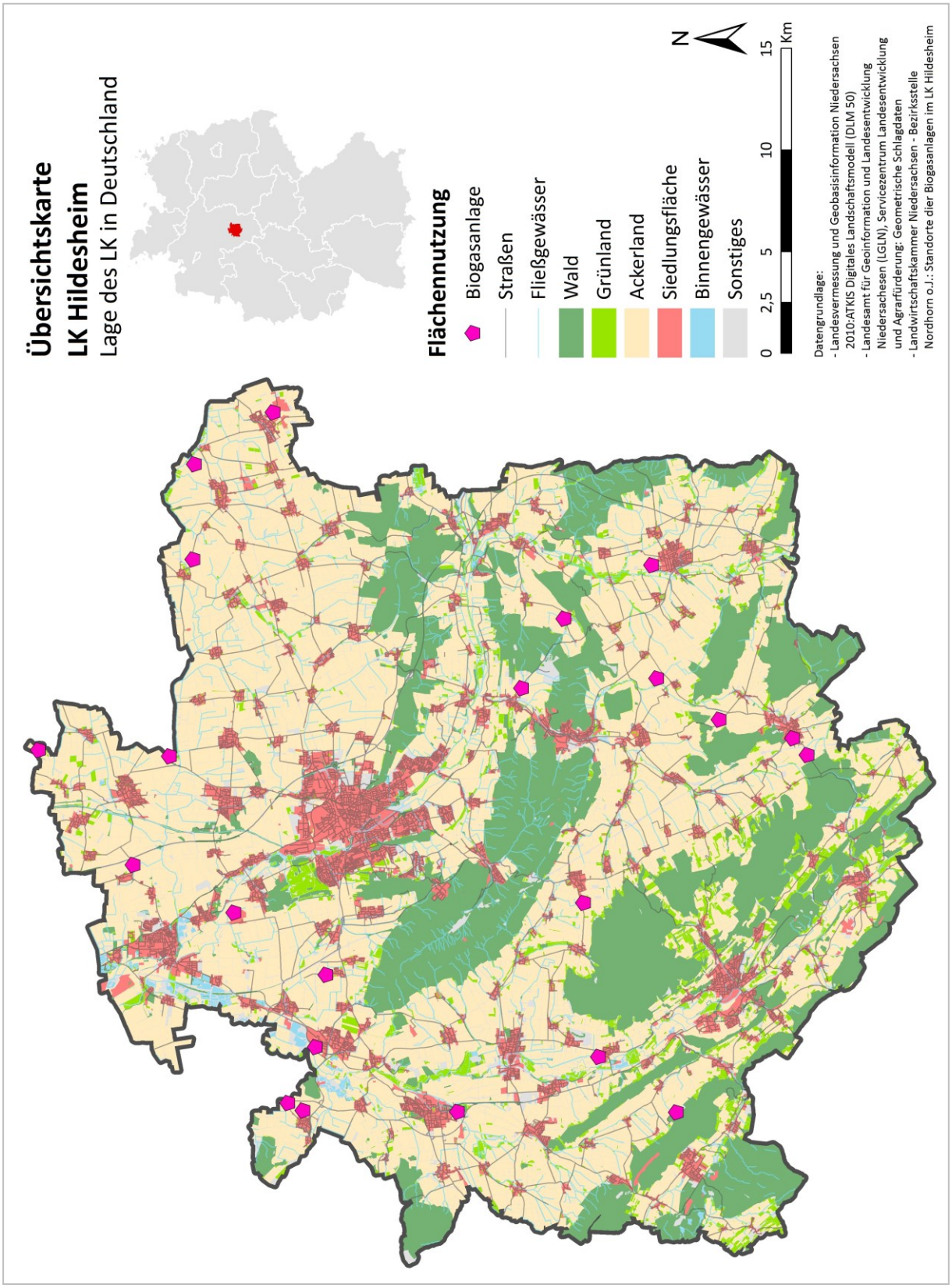


Abbildung 3: Übersichtskarte zur Flächennutzung im LK Hildesheim

4 Ergebnisse

4.1 Beschreibung der entwickelten Szenarien

Im Rahmen dieser Arbeit wurden zwei Szenarien in 100prosim eingegeben. Das erste orientiert sich wie bereits gesagt am Klimaschutzprogramm des Landkreis Hildesheim (2012) (Szenario KSP-Hi) und greift dessen Ziele auf. Insbesondere sollen die als noch hoch eingeschätzten Potentiale für den Biomasseanbau auf Kosten der Getreideproduktion (insbesondere Futtergetreide) ausgeschöpft werden. Das zweite Szenario ist gemäß der Empfehlungen von Schmidt-Kanefendt (2013) stärker auf Nachhaltigkeit ausgerichtet (Szenario Nachhaltigkeit), unterscheidet sich jedoch in Bezug auf die Flächenanteile lediglich beim Anbau von Biomasse zur energetischen Nutzung, der auch als einziger räumlich simuliert wird. Diesem wird weniger Fläche zugesprochen und es wird zusätzlich von Mais auf Wildpflanzenmischungen (WPM) als Biogassubstrat umgestiegen. Der Anteil der Energiepflanzen am Ziel-Energiemix ist im Nachhaltigkeitsszenario daher deutlich geringer

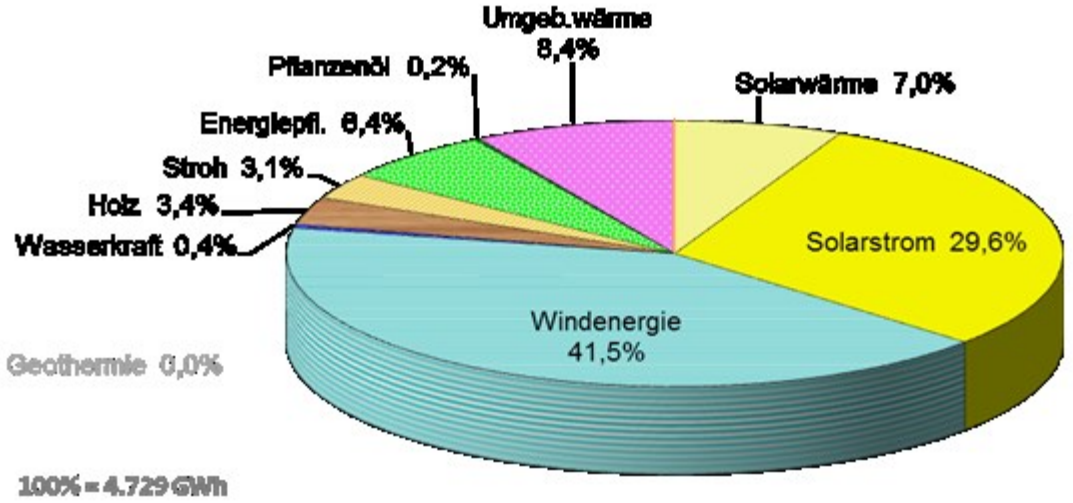


Abbildung 5: Ziel-Energiemix Szenario Nachhaltigkeit (Ergebnisdarstellung aus 100prosim)

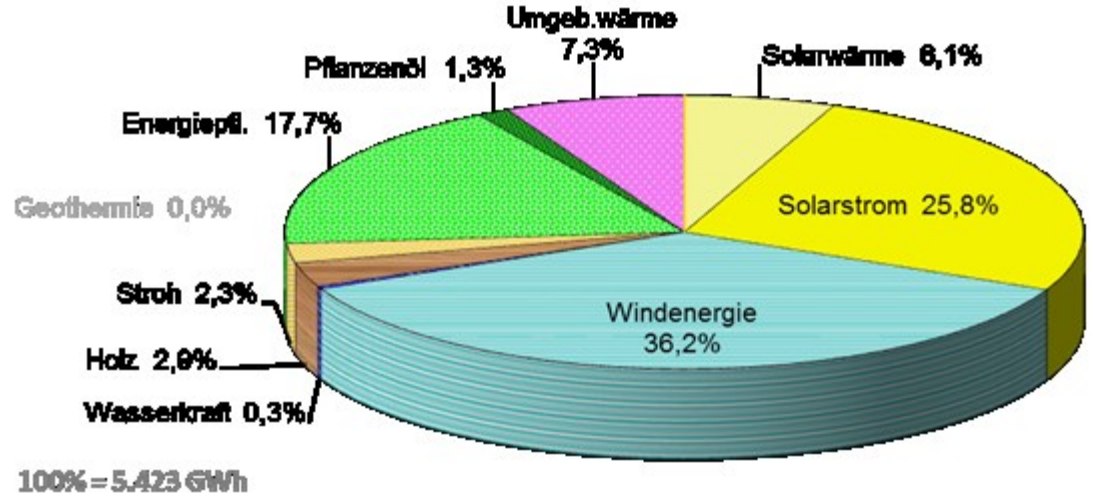


Abbildung 5: Ziel-Energiemix Szenario KSP-Hi (Ergebnisdarstellung aus 100prosim)

als im Szenario KSP-Hi (vgl. Abbildung 5 und Abbildung 5). Die zwischen den Szenarien unterschiedlichen Anteile bei den anderen Energieträgern ergeben sich aus der insgesamt deutlich geringeren Energieproduktion im Nachhaltigkeitsszenario.

Die produzierte Energie wird im Nachhaltigkeitsszenario etwas anders auf die verschiedenen Energiearten und Verbrauchssektoren aufgeteilt und durch stärkere Energieeinsparungen aufgefangen. Insbesondere geschieht dies durch einen deutlich höheren Anteil der Elektromobilität im Verkehrssektor. Im Nachhaltigkeitsszenario wird durch die deutlich Steigerung der Elektromobilität ein Bedarf von nur noch 30% des heutigen Bedarfsniveaus erreicht, im Szenario KSP-Hi sind es dagegen noch 54%. Der dadurch geringere Gesamt-Bedarf kann somit, wie im Szenario KSP-Hi, gedeckt werden.

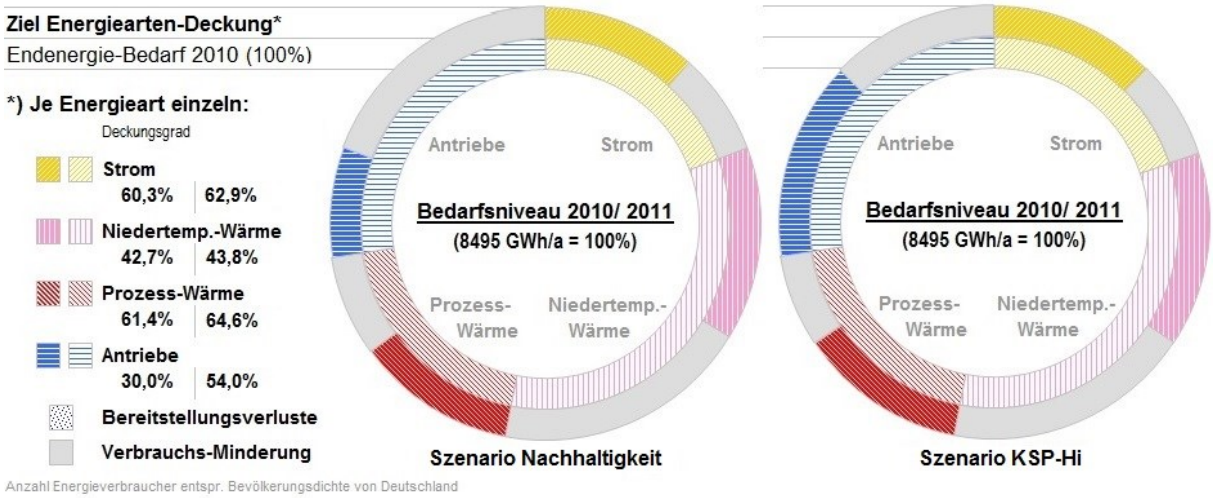


Abbildung 6: Ziel-Energiearten-Deckung beider Szenarien (Ergebnisdarstellung aus 100prosim; verändert)

4.2 Optimierung der Simulation

4.2.1 Methode zur Verortung zusätzlicher Biogasanlagen

Für die Verortung zusätzlicher Biogasanlagen wird die grundlegende Methodik des Modellrahmens CLUE-s an die Spezifika dieser Aufgabe angepasst und manuell durchgeführt. Das bedeutet, dass neue Standorte ausgewählt werden, indem zunächst die Standort- bzw. Nachbarschaftseigenschaften der bestehenden Anlagen analysiert und dann neue Standorte mit ähnlichen Eigenschaften ausgewählt werden. Die verwendeten Standorteigenschaften sind dieselben wie für die Simulation der Landnutzungsänderungen, abgesehen von der Distanz zu Straßen und Biogasanlagen sowie der Hangneigung. Zusätzlich wird stattdessen der Flächeninhalt der Ackerflächen berücksichtigt. Diese Standorteigenschaften werden im Untersuchungsgebiet zunächst auf 1x1 km Rasterzellen aggregiert, indem der Flächeninhalt der Ackerflächen aufsummiert und die anderen Eigenschaften pro Zelle gemittelt werden. Da für die Biogasanlagen aber weniger der Standort selbst, als dessen Umfeld oder Einzugsgebiet relevant ist, wird dann eine Nachbarschaftsanalyse für eine 5x5 Rasterzellen

große Nachbarschaft durchgeführt, bei der wiederum die Summe der Flächeninhalte und die Mittelwerte der anderen Eigenschaften gebildet werden. Durch dieses Vorgehen beinhaltet dann jede Zelle die Werte der Eigenschaften ihrer Nachbarschaft. Von Rasterzellen in denen bereits eine Biogasanlage verortet ist, werden dann die Mittelwerte der Nachbarschaftseigenschaften sowie deren Standardabweichung gebildet, um die mittleren Nachbarschaftsanforderungen der Biogasanlagen im Status quo zu ermitteln. Für die Verortung neuer Biogasanlagen werden dann zunächst jene Zellen ausgewählt, deren Nachbarschaftseigenschaften innerhalb der Standardabweichung um den berechneten Mittelwert der Nachbarschaftsanforderungen liegen, die bisher keine Biogasanlage enthalten und die nicht in Naturschutzgebieten, Trinkwassergewinnungsgebieten oder anderen geschützten Gebieten liegen. Um Akkumulation von und Konkurrenz zwischen Biogasanlagen zu vermeiden, werden von den ermittelten Zellen mit geeigneter Nachbarschaft jene ausgewählt, die möglichst weit von bestehenden (oder neu verorteten) Anlagen entfernt sind. In den so ermittelten 1x1 km großen Suchräumen werden abschließend mithilfe von Satellitenbildern geeignete Standorte gefunden. Kriterien für die Suche sind, dass die neuen Anlagen in der Nähe von landwirtschaftlichen Betrieben oder großen Mastanlagen und außerhalb von Siedlungen oder Wäldern verortet werden sollen. Mit dieser Methode wurde im LK Hildesheim eine tatsächlich bereits existierende, aber noch nicht im zur Verfügung gestellten Datensatz enthaltene Biogasanlage gefunden. Drei weitere neue Standorte wurden ausgewählt (Anhang I). Für die Parametrisierung der Simulation wurden die neuen Anlagen zeitlich gestaffelt hinzugefügt, so dass sich der Standortparameter ‚Entfernung zur nächsten Biogasanlagen' im Verlauf der Simulation verändert, was eine zusätzliche Dynamik erzeugt.

4.2.2 Methode zur Erhaltung der Parzellenstruktur während der Simulation

Der Grund für die Auflösung der Parzellenstruktur während der Simulation ist, neben der fehlenden Informationen einer Rasterzelle über ihre Zusammengehörigkeit mit benachbarten Zellen, die von der Parzellenstruktur abweichende räumliche Abgrenzung von Bewertungsstufen, Flächenkategorien oder Entfernungen in den Karten der Standorteigenschaften (vgl. Abbildung 7, links). Das hat zur Folge, dass die Rasterzellen in einer Parzelle während des Allokationsprozesses unterschiedliche Präferenzen zugewiesen bekommen, da diese ja u. A. auf den Standorteigenschaften beruhen. Somit wird die Parzellenstruktur durch die Verortung unterschiedlicher Fruchtarten auf den Rasterzellen einer Parzelle aufgelöst. Dies ist der Ansatzpunkt für die Methode zur Erhaltung der Parzellenstruktur. Sie kann erhalten werden, indem die Karten der Standorteigenschaften nicht direkt in CLUE-s eingepflegt werden, sondern zunächst für jede Parzelle der Mittelwert der jeweiligen Standorteigenschaft gebildet wird. Pflegt man die so erzeugte Karte parzellenspezifischer Standorteigenschaften (Abbildung 7, rechts) ein, so erhält jede

Rasterzelle einer Parzelle während des Allokationsprozesses eine identische Präferenz für eine bestimmte Landnutzung. Der Effekt des Parzellenbezuges wird durch die Aggregation verschiedener Standorteigenschaften bei der Berechnung der Wahrscheinlichkeitskarten noch verstärkt. Nicht nur dass dann nachwievor alle Rasterzellen einer Parzelle identische Werte haben, meist unterscheidet sich dieser Wert sogar von denen aller anderen Parzellen.

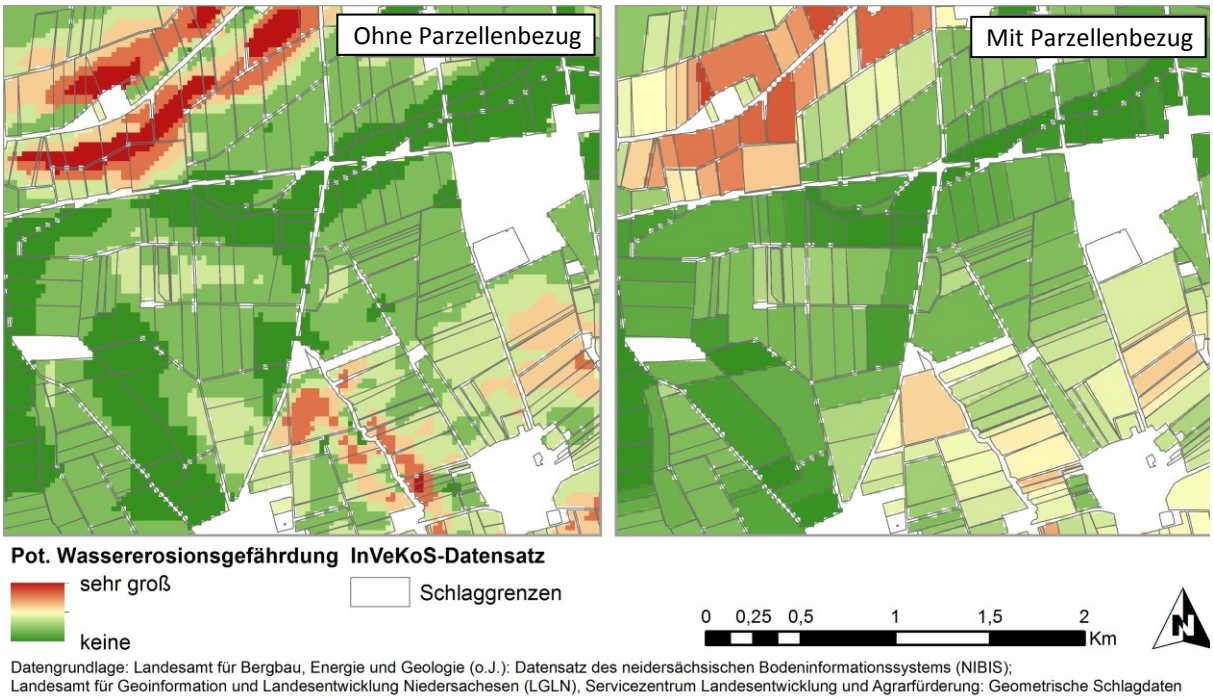


Abbildung 7: Detaildarstellung zum Vergleich der Standorteigenschaften ohne und mit Parzellenbezug am Beispiel der Wassererosionsgefährdung

Neben der Erhaltung der Parzellenstruktur ist ein positiver Nebeneffekt dieser Methode, dass die Simulation wesentlich schneller und stabiler abläuft, da CLUE-s die Landnutzungen basierend auf und in der Reihenfolge der Präferenzen verteilt und nun weniger Rasterzellen identische Werte haben als zuvor.

4.2.3 Methode zur Berücksichtigung von Fruchtfolgen in der Simulation

Um Fruchtfolgen in der Simulation berücksichtigen zu können, werden die Entwicklungspfade der einzelnen Fruchtarten entsprechend angepasst. Operationalisiert sind diese Entwicklungspfade mittels einer Umwandlungsmatrix (Abbildung 8). In dieser kann angegeben werden, in welche anderen Fruchtarten eine Fruchtart an einem Standort (einer Rasterzelle) umgewandelt werden darf und wie viele Jahre eine Fruchtart höchstens an einem Standort verortet bleiben darf oder mindestens verortet bleiben muss. Für die Einstellung der Entwicklungspfade kann sich nach den Verträglichkeiten der Fruchtarten untereinander und ihrer Selbstverträglichkeit sowie nach typischen Fruchtfolgen gerichtet werden. Ein Beispiel für schlechte Selbstverträglichkeit ist die Zuckerrübe, die i.d.R. nur alle drei bis vier Jahre auf einem Standort angebaut wird, da ansonsten mit Ertragseinbußen durch Schädlingsbefall gerechnet werden muss. Dieser langen Anbaupause kann mit den von CLUE-s gebotenen Einstellungsmöglichkeiten leider nicht gerecht werden, da nur bestimmt

Fruchtart aktuell \ Fruchtart Folgejahr	S-Weizen	W-Weizen	Gerste	Mais	Zuckerrübe	Ölfrüchte	Kartoffel	sonst. Getr.	WPM
S-Weizen	-4	1	1	1	1	1	1	1	1
W-Weizen	1	-4	1	1	1	1	1	1	1
Gerste	1	1	-2	1	1	1	1	1	1
Silomais	1	1	1	-3	1	1	1	1	1
Zuckerrübe	1	1	1	1	0	0	1	1	1
Ölfrüchte	1	1	1	1	0	0	1	1	1
Kartoffeln	1	1	1	1	1	1	0	1	1
sonst. Getr.	1	1	1	1	1	1	1	-4	1
WPM	5	5	5	5	5	5	5	5	1

1 = Umwandlung möglich
0 = Umwandlung nicht möglich
-n = Höchstverweildauer n Jahre
n = Mindestverweildauer n Jahre

Abbildung 8: Umwandlungsmatrix zur Berücksichtigung von Fruchtfolgen

werden kann, dass Zuckerrübe nicht zwei Jahre in Folge auf derselben Fläche verortet wird. Andere Fruchtarten wie Getreide oder Mais sind selbstverträglicher und bekommen daher eine Höchstverweildauer zugewiesen. Wieder Andere wie Zuckerrübe und Ölfrüchte werden typischerweise nicht auf einander folgend angebaut, was ebenfalls in der Umwandlungsmatrix eingestellt werden kann. Der Anbau von Wildpflanzenmischungen rechnet sich dagegen erst, wenn sie fünf Jahre lang nicht umgebrochen werden, weshalb hier eine Mindestverweildauer eingestellt wird.

Für die Umsetzung der Fruchtfolgen vom ersten Simulationsjahr an, muss zusätzlich eine Karte der Landnutzungshistorie für das erste Jahr erzeugt werden. Diese kann, falls vorhanden, aus den Verteilungskarten der Vorjahre erzeugt werden. Die besten Erfahrungen wurden jedoch mit normalverteilten Zufallszahlen zwischen 1 und 4 gemacht, die ebenfalls für alle Rasterzellen einer Parzelle identisch sein müssen. Für die weiteren Simulationsjahre wird die Historie dann von CLUE-s automatisch erzeugt.

4.3 Ergebnisse der Simulation

Die Ergebnisse der Simulation der beiden Szenarien (Anhang II und III) zeigen die Veränderungen der Fruchtartenverteilung in Schritten von fünf Jahren, im Vergleich zum Ausgangsjahr 2012. Da der Fokus dieses Beitrags auf den methodischen Entwicklungen zur Optimierung der Simulation liegt, werden sie hier nur kurz erläutert. Wesentlich Unterschiede zwischen den beiden Szenarien ergeben sich lediglich aus der insgesamt geringeren Anbaufläche für Mais bzw. WPM im Nachhaltigkeitsszenario, sowie aus der Einführung der WPM als neuer Fruchtart, die im Laufe der Jahre den Mais ersetzt. Es fällt auf, dass Mais und WPM in bestimmten Gebieten deutliche Cluster bilden. Dies ist i.d.R. dort der Fall, wo Biogasanlagen stehen oder neu verortet wurden (vgl. Anhang I), da die Entfernung zu diesen einen starken Einfluss auf die Verortung der Anbauflächen des Biogassubstrates (Mais/ WPM) hat. Zu sehen ist auch, dass sich um neu verortete Biogasanlagen innerhalb weniger Jahre neue Cluster bilden. Eine deutliche Clusterung zeigt ebenso die Anbaufläche für Sommerweizen im Norden des LK. Unterbrochen werden die

Cluster meist nur von der Zuckerrübe. Winterweizen, der den insgesamt größten Flächenanteil ausmacht, nimmt daher weite Teile der Flächen außerhalb der Cluster ein. Insgesamt entsteht während der Simulation ein weniger kleinteiliges Mosaik der Fruchtarten als im Status quo.

5 Diskussion

5.1 100prosim-Szenarien

Die große Stärke des Szenario-Werkzeugs 100prosim liegt in der bilanziellen Betrachtung des Energiesystems. Durch sie ist es möglich die Steigerung der Produktion erneuerbarer Energien aus allen relevanten Quellen mit Maßnahmen zur Bedarfsminderung gegenzurechnen. Mit 100prosim kann so aufgezeigt werden, was notwendig ist um das Ziel einer postfossilen Energieversorgung zu erreichen. Nach einer kurzen Einarbeitungszeit ist die Handhabung zudem relativ einfach. Ein Nebeneffekt der Arbeit mit 100prosim ist, dass man einen guten Einblick in die verschiedenen Zusammenhänge innerhalb des Energiesystems erhält. Ein wesentlicher Kritikpunkt betrifft ökonomische Aspekte der Energiewende. Wird 100prosim in Szenario-Workshops mit Experten und Stakeholdern eingesetzt, können ökonomische Überlegungen während der Diskussion zwar Eingang in die Szenario-Entwicklung finden, sie sind jedoch kein integraler Bestandteil und die Ergebnisse aus 100prosim geben auch keinerlei Aussage dazu. Aspekte wie Kosten für den Ausbau erneuerbarer Energien und dazugehörigen Infrastrukturen, Förderung oder auch die Entwicklung von Strompreisen sind jedoch wesentlich Faktoren die es zu berücksichtigen gilt. Unter diesem Aspekt sind auch die Szenario-Annahmen kritisch zu hinterfragen. So wird eine Umstellung landwirtschaftlicher Betriebe vom Weizen- und Zuckerrübenanbau auf die Biomasseproduktion nur stattfinden, wenn entsprechende Anreize geschaffen werden oder dies aus anderen Gründen betriebsökonomisch sinnvoll ist.

5.2 Ansätze zur Optimierung der Simulation

Die Koppelung der Modelle 100prosim und CLUE-s ist für beide Modelle ein Gewinn. Die Ergebnisse aus 100prosim können auf diesem Weg in räumlich konkrete Veränderungen der Landschaft bzw. der Fruchtartenverteilung übertragen werden, was die Abschätzung möglicher Folgen gegenüber der ausschließlichen Betrachtung von sich ändernden Flächenanteilen erleichtert. Für die Arbeit mit CLUE-s ist die Verwendung vorgeschalteter Modelle zur Entwicklung von Szenarien grundsätzlich von Vorteil, da so robuste Annahmen für die Landnutzungsänderungen als Eingangsparameter verwendet werden können. Ein kritischer Punkt, dem bei der Koppelung besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden muss ist die Kompatibilität. Diese muss bei der Koppelung mit 100prosim zwar wie bereits

besprochen durch zusätzliche Szenario-Annahmen hergestellt werden, ist aber grundsätzlich möglich.

Bei der Simulation von Landnutzungsänderungen im Kontext eines vermehrten Biomasseanbaus spielen die Standorte von Biogasanlagen eine große Rolle, da sie die Verortung der Anbauflächen für das benötigte Substrat maßgeblich beeinflussen. Die vorgeschlagene Methode zur Verortung neuer Biogasanlagen bietet eine innovative Möglichkeit eine gut begründete Auswahl neuer Standorte zu treffen. Zu bedenken ist jedoch, dass diese sich lediglich auf räumliche Gegebenheiten stützt. Einzelbetriebliche Gegebenheiten und die Entscheidung eines Landwirts für oder gegen die Biogasproduktion bleiben unberücksichtigt. Dennoch trägt die methodische und begründete Verortung neuer Biogasanlagen maßgeblich zur Optimierung der Simulation bei.

Die Auflösung räumlicher Strukturen bei der Simulationen von Landnutzungsänderungen war bisher ein großes Manko rasterbasierter Modelle. Dies gilt insbesondere für lokale bis regionale Maßstäbe. Die aufgezeigte Methode ermöglicht es dagegen, trotz kleiner Rasterzellengrößen die Struktur von Parzellen während der Simulation zu erhalten. Die dadurch gewonnene räumliche Exaktheit steigert einerseits die Glaubwürdigkeit der Ergebnisse und ist andererseits besonders für auf den Simulationsergebnissen aufbauende Bewertungen wichtig, da einige von ihnen parzellengenaue Landnutzungsdaten benötigen, um verlässliche und präzise Ergebnisse erzeugen zu können. In einigen Situationen kann diese Genauigkeit jedoch auch von Nachteil sein, da die räumliche Genauigkeit auch eine inhaltliche Genauigkeit suggeriert. Daher ist stets zu kommunizieren, dass es sich bei Simulationsergebnissen nicht um zuverlässige Prognosen handelt, sondern sie stets nur Aussagen im Rahmen der expliziten Modelannahmen darstellen (FRITSCH 2002: 20).

Auch die Simulation von Fruchtfolgen ist für einige Bewertungsmethoden sehr wichtig. Insbesondere die Erosionsmodellierung ist ein Beispiel, bei dem es deutliche Unterschiede zwischen der Bewertung nur eines Jahres und der Bewertung mehrerer, auf einander folgender Jahre gibt. Bei der Modellierung von Nitratbelastungen oder Habitaten sind solche Unterschiede ebenfalls denkbar. Die beschriebenen Einstellungen für CLUE-s und die dahinter stehende Methode ermöglichen dies und stellen daher eine Optimierung insbesondere der Verwendbarkeit der Simulationsergebnisse für nachfolgende Analysen der Auswirkungen auf Landschaftsfunktionen dar.

5.3 SIMULATIONSERGEBNISSE

Die beschriebene Clusterung einzelner Fruchtarten in den Simulationsergebnissen ist in der abgebildeten Ausprägung gegenüber vorherigen Versuchen mit anderen Modelleinstellungen schon deutlich reduziert. Dennoch bleibt ein deutlicher Unterschied zu dem kleinräumigen Mosaik im Status quo. Der Grund hierfür ist, dass der LK Hildesheim

bezogen auf die verwendeten Standortparameter verhältnismäßig homogen ist. In anderen Untersuchungsgebieten oder mit anderen bzw. weiteren Standortparametern dürfte die Clusterung weiter reduziert werden können. Gleichzeitig muss aber auch bedacht werden, dass die Clusterung von Anbauflächen für Biogassubstrate durchaus Sinn ergibt. Dies ist auch in der Realität schon vielerorts zu beobachten, da bei wachsender Entfernung der Anbauflächen zu den Biogasanlagen die Transportkosten steigen und so ggf. die Rentabilität sinkt, auch wenn dies natürlich noch von weiteren Parametern wie Landpachtpreisen etc. abhängt. Hinzu kommt, dass die in den Szenarien angenommen Produktionsleistungen der Anlagen wesentlich höher sind als im Status quo, und daher auch der Flächenbedarf steigt, was zu der Clusterung führt.

6 Ausblick und Fazit

Die Simulationsergebnisse können als Diskussionsgrundlage in Zielfindungsprozessen und zur Entscheidungsunterstützung verwendet werden. Auch die Simulation weiterer Szenarien zum Beispiel mit zusätzlich raumplanerischen Vorgaben oder anderer Steuerungsoptionen ist möglich. Gleichfalls ist die Übertragung der verwendeten Methodik auf andere Untersuchungsgebiete möglich, sofern die benötigten Daten zur Verfügung stehen. Die Optimierungen für die Simulation mit CLUE-s, sind zudem auch auf andere Fragestellungen mit ähnlichen Anforderungen übertragbar. Für die Folgenabschätzung können die Simulationsergebnisse zudem als Eingangsgröße für verschiedene Verfahren der Landschaftsfunktionsanalyse verwendet werden (vgl. Abbildung 9). Die letztgenannten Schritte konnten im Rahmen der Arbeit nicht durchgeführt werden. Auch steht eine Evaluierung der Nützlichkeit der Ergebnisse, insbesondere der entwickelten Optimierung des Simulationsprozesses durch Experten und Praktiker oder durch einen Vergleich mit bisher üblichen Verfahren der Simulation und Folgenabschätzung noch aus.

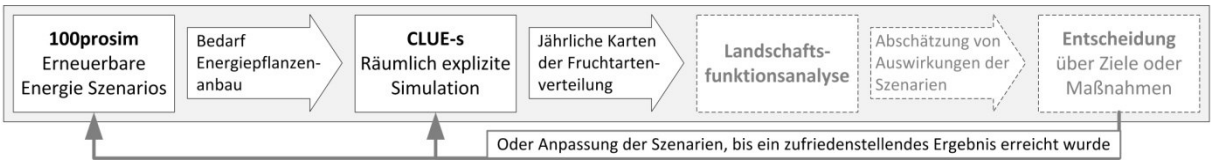


Abbildung 9: Unterstützung von Zielfindungs- und Entscheidungsprozessen durch 100prosim und CLUE-s

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass innovative Vorschläge gemacht wurden, wie die Simulation von Landnutzungsänderungen im Kontext eines vermehrten Biomasseanbaus optimiert werden kann. Schwachstellen der Ansätze wurden aufgezeigt und mögliche Lösungswege wurden diskutiert.

QUELLENVERZEICHNIS

ALBERT, C. (Hrsg.) (2009): Szenarien in der Landschaftsplanung - ein Vergleich von Fallstudien aus Australien und den USA. 73 S. (Arbeitsberichte, Schriftenreihe des Instituts für Umweltplanung, Fakultät für Architektur und Landschaft, Leibniz Universität Hannover 53).

FRITSCH, U. 2002: Entwicklung von Landnutzungsszenarien für landschaftsökologische Fragestellungen. 132 S., Potsdam: Universitätsbibliothek Potsdam (Brandenburgische Umwelt Berichte 12).

SCHMIDT-KANEFENDT, H.-H. 2013: Zukunftsfähige Energieversorgung – Zielperspektiven Entwickeln für 100%-Erneuerbare-Energien-Regionen. Stand 12.12.2013, zul. aufgerufen am 14.01.2014: http://www.wattweg.net/

LANDESBETRIEB FÜR STATISTIK UND KOMMUNIKATIONSTECHNOLOGIE NIEDERSACHSEN (LSKN) 2010: Landwirtschaftszählung 2010 – Bodennutzung; Landwirtschaftliche Betriebe insgesamt 2010 nach jeweiligen Flächen und Anbaukulturen.

LANDKREIS HILDESHEIM (Hrsg.) 2012: Klimaschutzprogramm für den Landkreis Hildesheim, seine Städte und Gemeinden. 130 S., Hannover.

Statistische Ämter des Bundes und der Länder 2014a: Regionaldatenbank Deutschland: Landwirtschaftszählung 2010– Haupterhebung; Anbau auf dem Ackerland in landwirtschaftlichen Betrieben nach Fruchtarten. Stand 10.01.2014: https://www.regionalstatistik.de/genesis/online/logon

Statistische Ämter des Bundes und der Länder 2014b: Regionaldatenbank Deutschland: Allgemeine Agrarstrukturerhebung (1999 – 2007); Landwirtschaftliche Betriebe mit Ackerland und deren Ackerfläche nach Fruchtarten. Stand 10.01.2014: https://www.regionalstatistik.de/genesis/online/logon

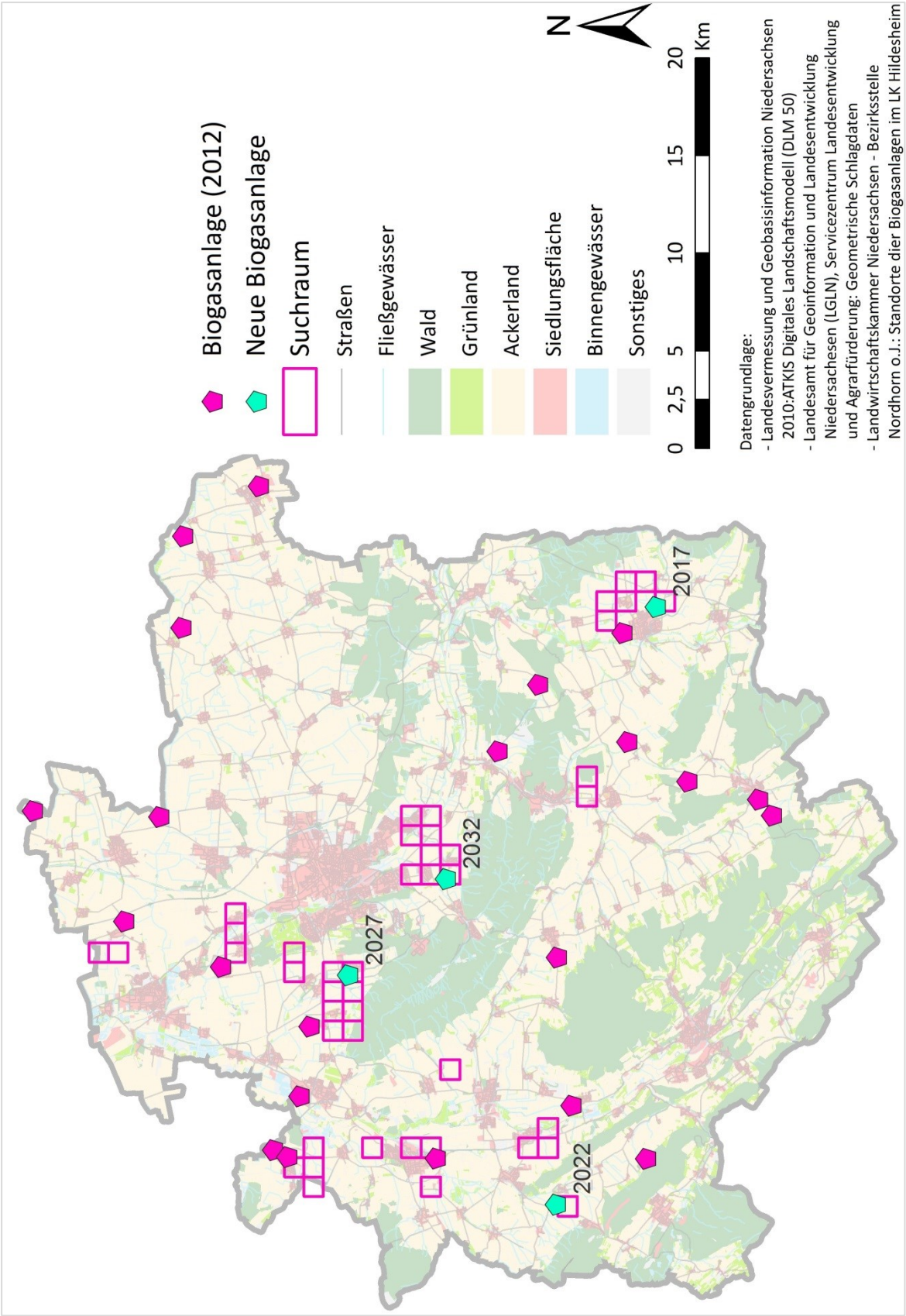
VERBURG, P & VELDKAMP, A. 2004: Projecting land use transitions at forest fringes in the Philippines at two spatial scales. *Landscape Ecology 19: 77-98.*

VERBURG, P. 2010: The CLUE model - Course material. Amsterdam.

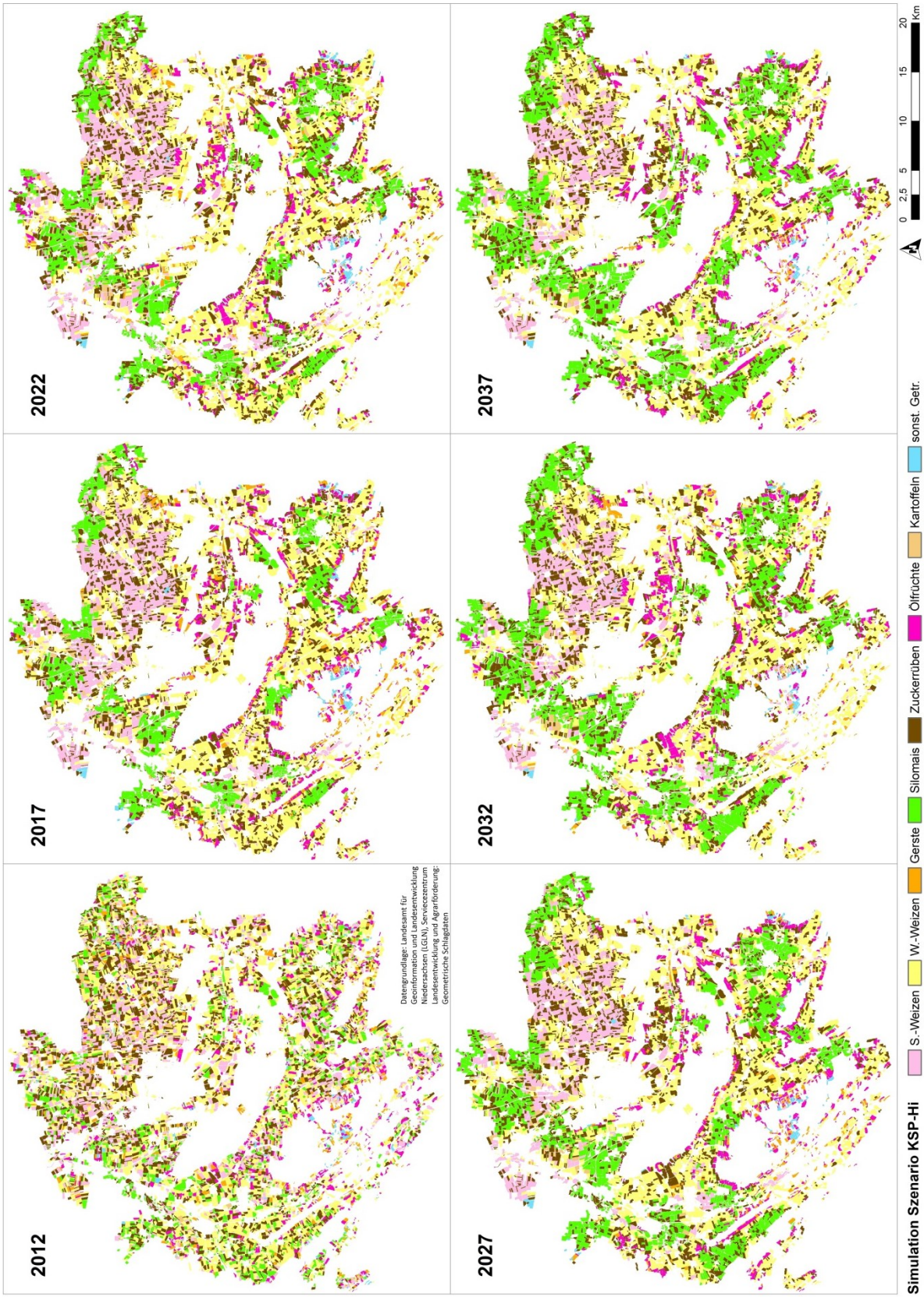
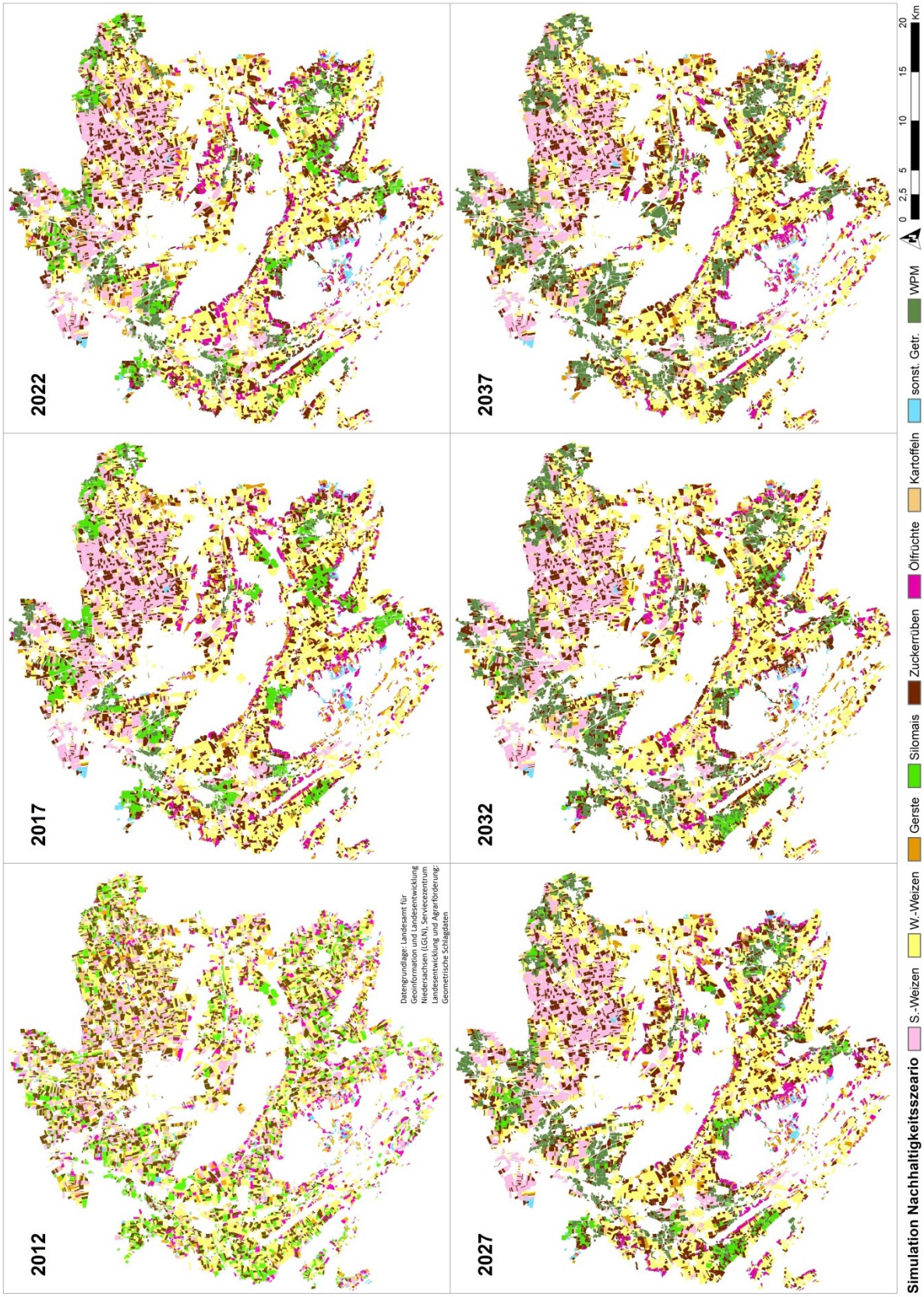
VERBURG, P. H., WELMOED, S., VELDKAMP, A., LIMPIADA, R., ESPALDON, V., & MASTURA, S. 2002: Modeling the Spatial Dynamics of Regional Land Use: The CLUE-s Model. *Environmental Management 30/3: 391-405.*

ANHANG

ANHANG I: SUCHRÄUME UND STANDORTE DER NEUEN BIOGASANLAGEN



ANHANG II: ERGEBNIS DER SIMULATION VON SZENARIO KSP-HI



ANHANG III: ERGEBNIS DER SIMULATION VON SZENARIO NACHHALTIGKEIT