

Berichte	Bd. 92, H. 1, 2018, S. 65–92	Leipzig
----------	------------------------------	---------

Rainer DUTTMANN, Kiel
Malte SCHWANEBECK, Kiel
Nandor CSIKÓS, Szeged

Landschafts- und Umweltwirksamkeit der Biogasproduktion in Schleswig-Holstein

Environmental effects and landscape dynamics caused by biogas production at the example of Schleswig-Holstein (Northern Germany)

Summary: Among all current achievements of the German energy system transformation due to sustainable energy supply, energy consumption and climate protection, the fast extension of renewable energy use is often in conflict with the perceived aesthetical characteristics of landscapes and its natural goods and functions as well. Based on readily available statistical and geo-spatial data this paper analyses the spatio-temporal changes of selected landscape characteristics, such as the changes in land use patterns at municipality level, using time series data collected from statistical survey, and the changes in landscape structure at regional and sub-regional scales using landscape metrics indicators calculated from CORINE land cover data sets. Following an integrative approach, this article discusses the observable changes in land use, landscape structure and groundwater quality against the background of the political and economic driving forces at the example of Schleswig-Holstein (Northern Germany). This federal state is one of the main producers of electricity from biomass in Germany, which goes alongside with substantial changes in land use and environmental quality, especially in the traditional livestock and dairy farming regions in the northwest of Schleswig-Holstein. To mitigate and reduce the negative impacts of increased energetic biomass use, this paper also glances at strategies to monitor and to control the unwanted side effects of extended biomass production.

Keywords: renewable energies, biogas production, energy landscape, land use change, landscape metrics indices, groundwater quality – Erneuerbare Energien, Biogas, Energielandschaft, Landnutzungswandel, Landschaftsstrukturindikatoren, Grundwasserbelastung

1 Einleitung

Der im Zuge der Energiewende beschleunigte Ausbau der Erneuerbaren Energien spiegelt sich vielerorts in einer visuell wahrnehmbaren Veränderung des „gewohnten“ Landschaftsbilds und der historisch gewachsenen Landschafts- und Landnutzungsstruktur wider (vgl. WEBER et al. 2017). Dieser Wandel ist Ausdruck einer zunehmenden energiewirtschaftlichen Ausrichtung der Landwirtschaft seit Anfang der 2000er Jahre. Er ist zugleich unüberschaubares Zeichen für die Neubewertung der landschaftseigenen Produktionsfunktionen. Durch den vermehrten Zubau an technischen Anlagen zur Energieversorgung und die gestiegene Flächeninanspruchnahme zur Produktion energetisch verwertbarer Biomasse erhalten traditionelle Agrarlandschaften in der (subjektiven) Wahrnehmung zusehends den Charakter von Energielandschaften. Ausgehend von der Landschaftsdefinition der Europäischen Landschaftskonvention (ELC), nach der „Landschaft“ als ein „vom Menschen wahrgenommenes Gebiet verstanden [wird], dessen Charakter das Ergebnis der Wirkung und Wechselwirkung von natürlichen und/oder menschlichen Faktoren ist“ (CE 2000 o. S.), können Energielandschaften als Gebiete aufgefasst werden, die durch eine konzentrierte Nutzung einer oder mehrerer Energieträger (BRÜHNE & TEMPEL 2013, S. 29) und das (gehäufte) Auftreten der damit zusammenhängenden Versorgungsinfrastruktur geprägt sind (HOWARD et al. 2013, S. 18, PICCHI et al. 2019, S. 241). PASQUAETTI & STREMKE (2017, S. 5) definieren Energielandschaften als „a physical landscape, which has been affected by energy extraction, assimilation, conversion, storage or transmission of energy for human purposes“. Eine allgemein gültige Definition des Begriffes „Energielandschaft“ steht allerdings aus. Zur vertiefenden Auseinandersetzung mit den unterschiedlichen Ansätzen, Inhalten und Perspektiven der Energielandschaftsforschung sei an dieser Stelle auf die Arbeiten von GAILING & LEIBENATH (2013) und KÜHNE & WEBER (2018) verwiesen.

Mit dem rasanten Ausbau von Energieanlagen im ländlichen Raum wächst vielfach die Sorge um den Erhalt der Struktur- und Artenvielfalt sowie um den Erhalt der Funktions- und Regenerationsfähigkeit des Naturhaushalts. Dies gilt besonders für den vermehrten Anbau von Energiepflanzen zur Produktion von Biogas. Dessen Förderung durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) hat in der Vergangenheit nicht nur entscheidend zur Umwandlung artenreichen Dauergrünlands in Ackerland beigetragen, sondern gleichzeitig auch zu einer intensivierten Nutzung der verbliebenen Grünlandareale geführt (UBA 2018a). Hinzu kommen ein erhöhtes Bodenerosions- und Bodenverdichtungsrisiko (s. DUTTMANN et al. 2011, DUTTMANN et al. 2013a, b) sowie ein erhöhtes Nitratauswaschungsrisiko (SVOBODA et al. 2013) bei nicht standortangepasstem Anbau von Energiepflanzen wie Silomais. Dieser stellt nach wie vor das wichtigste Gärsubstrat für die Erzeugung von Biogas dar.

Die genannten Umweltprobleme treten in der Agrarlandschaft nicht erst seit Beginn der gesteigerten energetischen Biomassenutzung auf. Sie werden aber durch das Fehlen gesetzlicher Steuerungsinstrumente und die mangelnde Umsetzung bestehender Regelungen weiter verschärft. Auch 30 Jahre nach dem Sondergutachten des Sachverständigenrates für Umweltfragen (SRU 1985) bestehen zahl-

reiche landwirtschaftlich bedingte Umweltbelastungen weiter fort. In Bezug auf die Biodiversität, das Landschaftsbild und den Bodenzustand wird sogar von einer tendenziell negativen Entwicklung ausgegangen (UBA 2018a).

Angesichts der hohen Raumwirksamkeit des Ausbaus der Erneuerbaren Energien (BfN 2019) sind räumliche Beobachtungs- und Bewertungsmethoden erforderlich, um den Energiewendeprozess umweltverträglich zu gestalten. Eine landesweite, zeitlich und räumlich differenzierende Untersuchung der mit dem Ausbau der Bioenergien verbundenen Veränderungen der Landschafts- und Landnutzungsstruktur existiert bislang nicht. So beschränken sich die auf Fernerkundungsdaten basierenden Arbeiten zur Dynamik des Landnutzungswandels von OPPELT et al. (2012) und KANDZIORA et al. (2014) auf vergleichsweise kleine Untersuchungsgebiete in Schleswig-Holstein. Beide Studien belegen eine mit der Zunahme des Maisanbaus einhergehende Verringerung der Dauergrünlandfläche – KANDZIORA et al. (2014) können in ihren Untersuchungsgebieten im nördlichen und östlichen Schleswig-Holstein eine Abnahme der Grünlandfläche um etwa 50% zwischen 1987 und 2011 nachweisen. Eine statistische Analyse der räumlichen Zusammenhänge zwischen dem Landnutzungswandel und der Biogaserzeugung in diesen Räumen erfolgt dort allerdings nicht. LÜKER-JANS (2014) zeigen am Beispiel von Hessen einen mit der Zunahme der Maisanbaufläche verbundenen Rückgang der Dauergrünlandfläche. Die Maisanbaufläche war dabei in drei von fünf Teilregionen negativ mit der Anzahl an Biogasanlagen korreliert, während zwischen der Anbaufläche und der Viehbestandsdichte ein positiv gerichteter Zusammenhang beobachtet werden konnte. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen machen deutlich, welche Bedeutung zusammenhangsorientierten Raumanalysen für eine fundierte Erklärung der mit der Energiesystemtransformation zusammenhängenden räumlichen und zeitlichen Dynamik zukommt. So sehen BECKMANN et al. (2013, S. 11) aufgrund der oftmals kleinräumigen Differenziertheit, mit der sich die Energiewende in entsprechenden Räumustern, Strukturen und Entwicklungspfaden niederschlägt, grundlegenden Forschungsbedarf darin, die räumlichen Ausprägungen der Energiewende anhand zahlreicher Einzelstudien zu untersuchen. Eine Möglichkeit hierfür bietet die Verknüpfung der heute in großer Zahl verfügbaren Geodaten, wie bspw. die auf Gemeindeebene erfassten Daten der Agrarstatistik, die aus Satellitenbildern ableitbaren Daten zur Landschafts- und Landnutzungsstruktur sowie die mit einer Geo-Referenz versehenen EEG-Anlagenstammdaten und Umweltmessdaten.

Der folgende Beitrag untersucht die seit Einführung des EEG im Jahr 2000 beobachtbaren räumlichen Wirkungen der Biogasproduktion in Schleswig-Holstein und diskutiert Handlungsoptionen für eine landschaftsverträglichere energetische Biomassenutzung. Im Mittelpunkt des Beitrags stehen die mit dem Ausbau der Biogasanlagen verbundenen Veränderungen der Landschafts- und Landnutzungsstruktur. Zudem wirft er einen Blick auf die in den Schwerpunktregionen der Biogaserzeugung messbaren Veränderungen der Nitratgehalte im oberflächennahen Grundwasser. Die hierbei verwendeten Daten und Methoden werden anstelle eines eigenen Abschnittes in den jeweiligen Kapiteln selbst beschrieben.

2 Der politische Rahmen der Energiewende als Triebkraft für Landschafts- und Landnutzungsdynamiken

Die anthropogen bedingte Zunahme der Treibhausgaskonzentration (THG) gilt als die Hauptursache für die beschleunigte Erderwärmung. Etwa 75 % der weltweiten Treibhausgasemissionen gehen auf die Verbrennung fossiler Rohstoffe zurück. Den Hauptanteil hieran macht der Ausstoß von Kohlendioxid (CO₂) aus, der sich auf 90 % der gesamten THG-Emissionen beläuft (IEA 2017).

Um die Risiken und Folgen des Klimawandels deutlich zu mindern, soll der Anstieg der weltweiten Durchschnittstemperatur bekanntermaßen auf deutlich unter 2 °C gegenüber den vorindustriellen Werten gesenkt und dabei möglichst auf 1,5 °C begrenzt werden (IPCC 2018). Die nationalen Ziele für den Klimaschutz in Deutschland sind im Energiekonzept der Bundesregierung von 2010 formuliert.

Zentrales Steuerelement für den forcierten Ausbau eines auf regenerativen Ressourcen aufbauenden Energieversorgungssystems ist das im Jahr 2000 eingeführte und zwischenzeitlich mehrfach novellierte Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG). In seiner aktuellen Fassung (EEG 2017) legt es den langfristigen Ausbaupfad für die Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien fest. Danach soll der EE-Strom bis zum Jahr 2025 einen Anteil von mindestens 40–45 % am Bruttostromverbrauch ausmachen. Bis 2035 soll dieser Anteil auf 55–60 % anwachsen. Mit dem Ziel, auch den Anteil Erneuerbarer Energien (EE) am Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte zu steigern, trat 2008 zudem das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWÄRMEG) in Kraft. Dadurch soll der Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte bis zum Jahr 2020 zu 14 % durch die Nutzung regenerativer Energien gewährleistet werden. Aktuell, d. h. im Jahr 2017, liegt der EE-Anteil am Wärmeverbrauch bei 12,9 %. Dagegen sind die Erneuerbaren mit 36,2 % am Bruttostromverbrauch beteiligt (UBA 2018b). Sie erreichen bereits heute die im Energiekonzept der Bundesregierung für das Jahr 2020 angestrebte Zielmarke von 35 %.

Die geringe Energiedichte und die Standortabhängigkeit der erneuerbaren Energieträger spiegeln sich einerseits in einem höheren Flächenbedarf zur Erzeugung adäquater Mengen an Strom (und Wärme) und andererseits in der Ausdifferenzierung unterschiedlicher Energielandschaftstypen (PASQUALETTI & STREMKER 2017, S. 3). Beides kann mit einer zunehmenden Nutzungskonkurrenz verbunden sein. Zudem verstärken der dezentrale Charakter des Ausbaus der Erneuerbaren Energien und die „Vielzahl der notwendigen Anlagen den aktuell beobachtbaren Landnutzungs- und Landschaftswandel“ (BfN 2019, S. 4).

3 Die Bedeutung der Erneuerbaren Energien für die Strom- und Wärmeerzeugung in Schleswig-Holstein

Schleswig-Holstein versteht sich als Vorreiter beim Ausbau und der Nutzung der Erneuerbaren Energien (LANDESREGIERUNG SCHLESWIG-HOLSTEIN 2018). Mit einer Bruttostromproduktion von mehr als 19.100 GWh war Schleswig-Holstein im Jahr 2017 der drittgrößte Produzent von Strom aus regenerativen Energien und das Bundesland mit dem dritthöchsten Anteil an „Erneuerbaren“ bei seiner Stromproduktion (Abb. 1). Bezogen auf den Bruttostromverbrauch erreichte

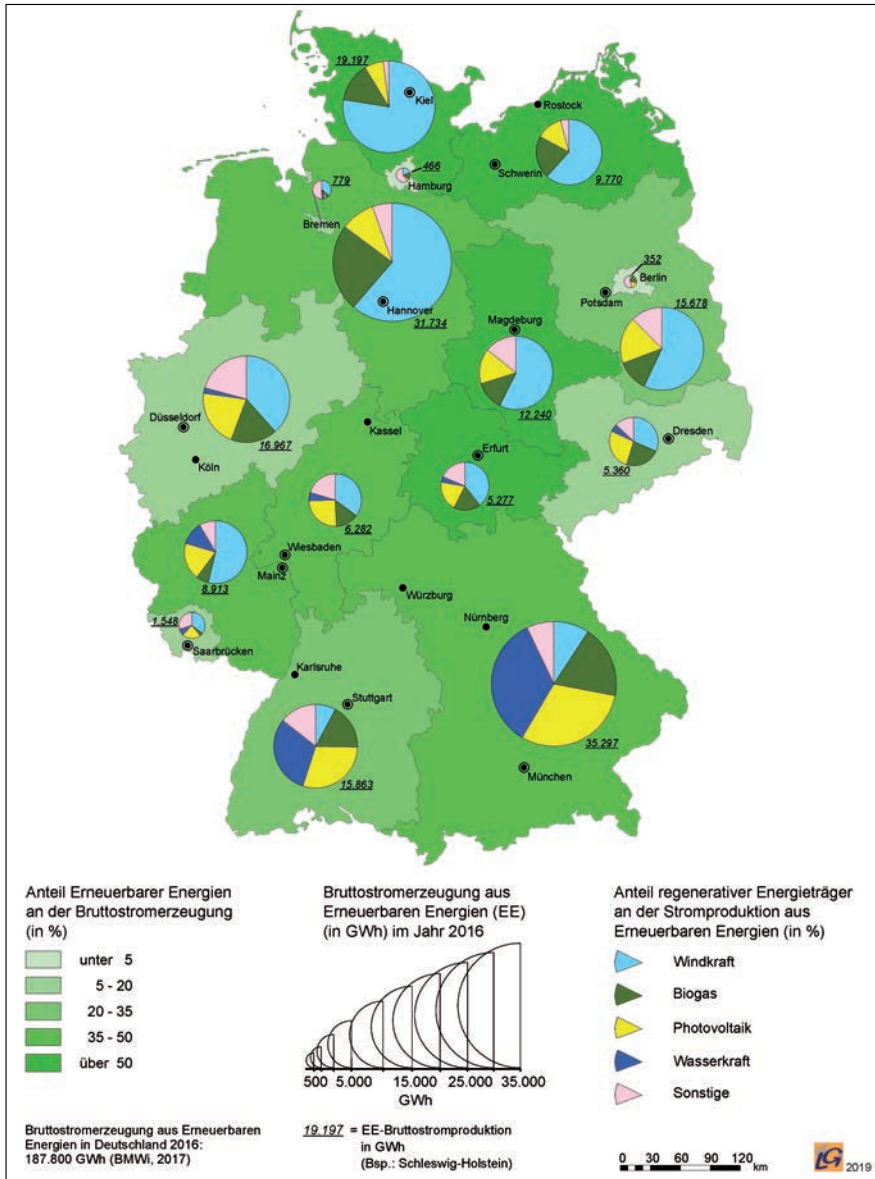


Abb. 1: Bruttostromerzeugung aus Erneuerbaren Energien in Deutschland und Anteile der Erneuerbaren Energieträger an der Stromerzeugung (Datengrundlagen: BKG 2018a; AEE 2018a)

Fig. 1: Gross electricity generation from Renewable Energies and percentages of renewable energy sources at the entire power production in Germany (data basis: BKG 2018a; AEE 2018a)

die EE-Bruttostromproduktion 2016 hier einen rechnerischen Anteil von 128 % (MELUND 2018a) – bundesweit lag dieser Anteilswert nur bei etwa 32 %. In keinem Flächenland Deutschlands ist die Pro-Kopf-Produktion von EE-Strom höher als in Schleswig-Holstein mit mehr als 6,6 MWh pro Einwohner (AEE 2018b), was allerdings auch auf die vergleichsweise geringe Einwohnerzahl (2,89 Mio. Einw.; DESTATIS 2018) dieses Flächenlands zurückzuführen ist. Dank des forcierten Ausbaus erhöhte sich der Anteil der Erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch (PEV) seit 1990 auf mehr als 24 %. Gleichzeitig konnte auch der Ausstoß von Treibhausgasen um mehr als ein Viertel auf rund 25 Mio. t CO₂-Äquivalente reduziert werden (MELUND 2018a). Der Anteil der Erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch Wärme liegt derzeit bei knapp 14 %, wobei die aus Biomasse erzeugte Wärme die dominierende Rolle spielt.

Die wichtigste erneuerbare Ressource für die Stromerzeugung in Schleswig-Holstein ist die Windenergie mit einem Anteil von 42,5 % (2016) an der gesamten Stromproduktion. Nach dem Zielszenario der Landesregierung wird sich der Anteil der Windkraft an der Stromerzeugung bis 2030 auf knapp 80 % erhöhen. Unter den Erneuerbaren Energien nahm die Biomasse im Jahr 2016 mit 8,6 % (3.014 GWh) den zweitgrößten Anteil an der schleswig-holsteinischen Stromerzeugung ein, gefolgt von der Photovoltaik mit einem Anteil von 3,7 % (1.293 GWh) (MELUND 2018a). Während die aus Biomasse produzierte Strommenge nach dem Zielszenario der Landesregierung bis 2025 auf 2.400 GWh leicht zurückgehen wird, soll sich die Stromerzeugung durch Photovoltaik in diesem Zeitraum auf 2.900 GTWh in etwa verdoppeln (SCHLESWIG-HOLSTEINISCHER LANDTAG 2016).

Die regionalen Schwerpunkte der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien, insbesondere durch Windkraft, sind die an der Nordseeküste gelegenen Landkreise Nordfriesland und Dithmarschen (Abb. 2). Auf diese beiden Kreise konzentriert sich mehr als die Hälfte der rund 2.942 Windkraftanlagen mit einer installierten Leistung von insgesamt etwa 3.600 MW. Eine weitere Schwerpunktregion für Stromerzeugung aus regenerativen Energien ist der Landkreis Schleswig-Flensburg. Hier ist nicht nur eine Windkraftanlagenleistung von 926 MW installiert, sondern auch ein Viertel der in Schleswig-Holstein installierten Leistung von Biomasseanlagen (LANDESREGIERUNG SCHLESWIG-HOLSTEIN 2018). Weitere 20 % der landesweit in Biomasseanlagen installierten Leistung entfallen auf Nordfriesland, knapp 14 % auf den Landkreis Rendsburg-Eckernförde (MELUND 2018a, b).

Der in Abb. 2 dargestellte Entwurf einer Energielandschaftsgliederung zeigt die nach der Anlagendichte (Windkraft und Biogas) und dem Flächenanteil energetisch verwertbarer Biomasse (Silomais, Winterraps) gewichtete regionale Bedeutung erneuerbarer Energieträger. Nicht berücksichtigt sind Photovoltaik- und Solarthermie-Anlagen.

Datengrundlage für die GIS-gestützte Berechnung der Anlagendichte bildet das Anlagenstandortverzeichnis für Windkraft- (WKA) und Biogasanlagen (BGA) des LLUR (2018a). Dieses Register hält die Standortdaten der Energieanlagen in georeferenzierter Form vor. Der Berechnung der Anlagendichte liegt eine Kerndichteanalyse (ESRI, ArcMap 10.3) zugrunde. Der hierbei verwendete „Suchradius“ beträgt 10 km um jeden Anlagenstandort. Die Klassifikation der berechneten An-

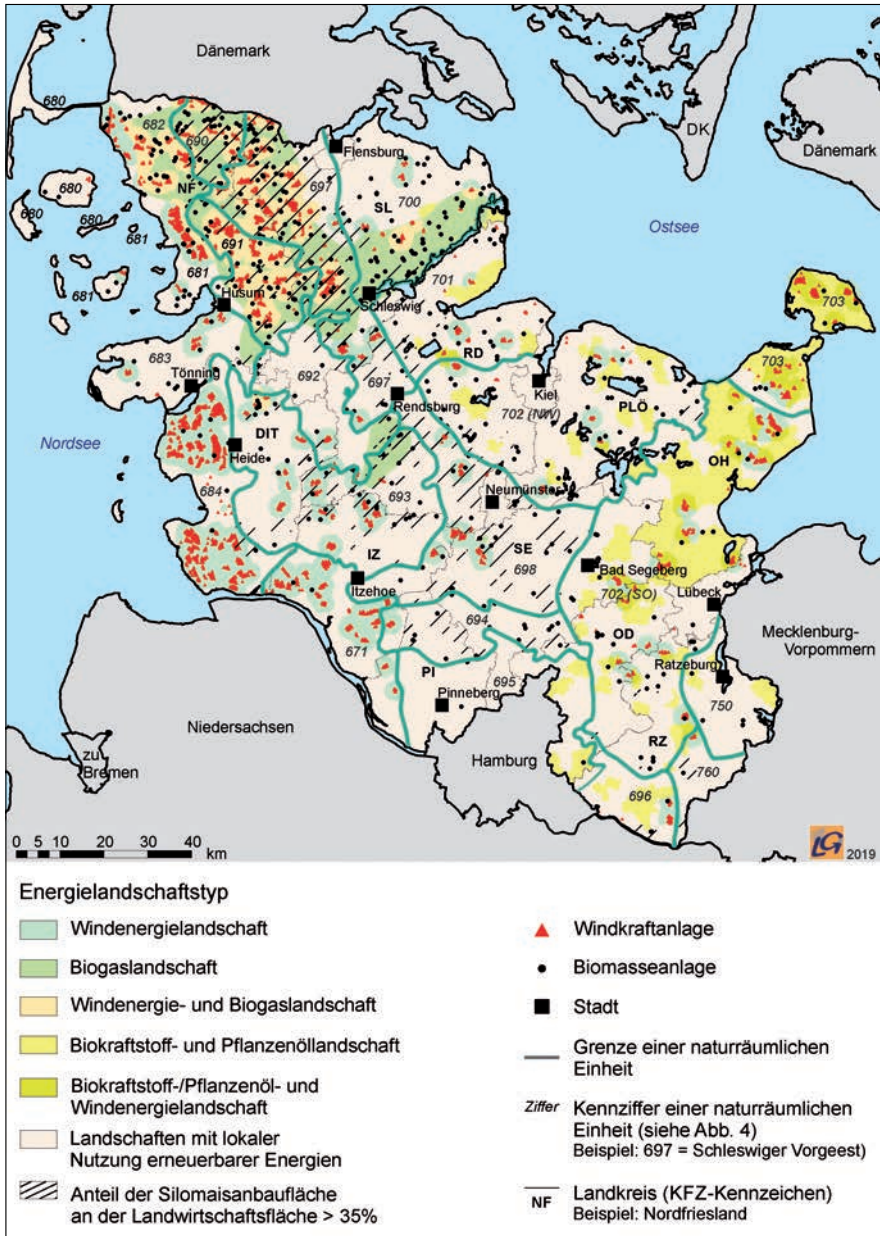


Abb. 2: Energielandschaftsgliederung für Schleswig-Holstein (Datengrundlagen: BKG 2018a; TENNET 2018; LLUR 2018a, STATISTIKAMT NORD 2018a-c)

Fig. 2: Types of energy landscapes in Schleswig-Holstein (data basis: BKG 2018a; TENNET 2018; LLUR 2018a, STATISTIKAMT NORD 2018a-c)

lagedichten (Anlage/km²) erfolgte auf Basis der Quartile der für die gesamte Landesfläche rasterzellenbezogen (Rasterweite: 25*25m) berechneten Dichtewerte, jeweils getrennt nach WKA und BGA. Aufgrund der unterschiedlichen Größenordnungen der Anlagendichten von WKA und BKA wurden die auf eine Einheitsfläche von 1 km² bezogenen Werte in einem weiteren Schritt in ordinal skalierte Dichteklassen überführt: Klassen „1“ (geringe Dichte) bis „4“ (sehr hohe Dichte). Zur Differenzierung der durch Windkraftnutzung (W), Biogaserzeugung (B) und der durch beide Nutzungen gleichermaßen geprägten Landschaften (I) wurden die in getrennten Layern abgelegten WKA- und BGA-Dichteklassen miteinander verschnitten. Die daran anschließende Ausgliederung der o. g. Energielandschaftstypen beruht auf dem in Tab. 1 dargestellten Schema.

Tab. 1: Matrix zur Bestimmung der Energielandschaftstypen (hier: Windenergie- und Biogaslandschaften gemäß Abb. 2)

Tab. 1: Classification rules to separate between different types of energy landscape (here: wind energy and biogas producing landscapes according to figure 2)

Windkraftanlagen Biogasanlagen		Windkraftanlagen-dichte (WKA/km ²)				
		0	>0–0,05	0,05–0,17	0,17–0,39	≥ 0,39
Anlagendichte (BGA/km ²)	Dichteklasse	0 Ø	1 gering	2 mittel	3 hoch	4 sehr hoch
0	0 Ø	0	0	W	W	W
>0–0,012	1 gering	0	0	W	W	W
0,012–0,026	2 mittel	B	B	I	W	W
0,026–0,046	3 hoch	B	B	B	I	I
≥ 0,046	4 sehr hoch	B	B	B	I	I*

W: Windenergielandschaft, B: Biogaslandschaft, I: „Intermediärtyp“ (durch Windkraftnutzung und Biogasproduktion geprägte Landschaft);
I*: biogasdominierte Landschaft bei einem Anteil der Silomaisfläche von mehr als 35% an der landwirtschaftlichen Nutzfläche

Als Landschaften, die außer zur Produktion von Pflanzenölen potenziell zur Erzeugung von Biokraftstoffen beitragen können („Biokraftstoff- und Pflanzenölland-schaft“), wurden solche ausgewiesen, in denen der Anbau von Winterraps mehr als 25 % an der gemeindlichen landwirtschaftlichen Nutzfläche beträgt.

Die hier vorgestellte Methode einer Energielandschaftsgliederung ermöglicht eine auf quantifizierbaren Größen beruhende und prinzipiell übertragbare Abbildung von Nutzungsschwerpunkten der verschiedenen erneuerbaren Energieträger. Mit Blick auf die energetische Biomassennutzung in Schleswig-Holstein lassen sich durch ihre Anwendung folgende Kerngebiete identifizieren: die mittlere und nördliche Schleswiger Geest, die Lecker Geest und das südliche Angeln.

4 Potenzielle Wirkungen Erneuerbarer Energien auf Landschaft und Umwelt

Der aus Gründen einer nachhaltigen Energieversorgung und des Klimaschutzes unerlässliche Umbau des Energiesystems (und die damit verbundene intensivierte Nutzung erneuerbarer Energieträger) gilt als zentrale Triebkraft für den großflächig beobachtbaren Landschaftswandel (BfN 2019). Im Unterschied zu „alten“ Energielandschaften, die zumeist auf urban-industrielle Räume oder deren Nachbarschaft konzentriert waren, ist es heute der ländliche Raum, der zum entscheidenden Träger des hauptsächlich auf Erneuerbaren Energien aufsetzenden zukünftigen Energieversorgungssystems wird. Mit dem forcierten Ausbau der erneuerbaren Energieträger geht vielerorts eine Veränderung des gewohnten und als „typisch“ empfundenen Landschaftsbilds einher. Dabei wird der bereits früher intensiv agrarisch genutzte Teil der Kulturlandschaft heute zunehmend als „Energielandschaft“ wahrgenommen. Diese „neuen“ Energielandschaften (ausführlich in GAILING & LEIBENATH 2013) zeichnen sich u. a. durch eine hohe Flächendichte an EE-Anlagen und/oder an installierter Leistung, eine erhöhte Flächeninanspruchnahme für den Bau und Betrieb von EE-Anlagen oder durch einen gesteigerten Flächenbedarf für den Anbau nachwachsender Rohstoffe zur energetischen Nutzung von Biomasse aus. Der zunehmende Raumbedarf für den Betrieb von EE-Anlagen steht dabei nicht selten in Konkurrenz zu anderen Nutzungen und zu den Belangen des Natur-, Landschafts- und Bodenschutzes, was eine stärkere planerische Steuerung des Ausbauprozesses erforderlich macht (REINKE & KÜHNAU 2017).

Neben den visuell erfassbaren Wirkungen von Energieanlagen (DEMUTH & HEILAND 2013), kann die Nutzung Erneuerbarer Energien mit einer Reihe weiterer nicht oder nur bedingt sichtbarer, wohl aber messbarer Beeinträchtigungen der natürlichen Schutzgüter Boden, Wasser und Luft sowie der belebten Umwelt verbunden sein. Das Ausmaß der Beeinträchtigungen hängt entscheidend vom Umfang der in einem Raum installierten Anlagen, den natürlichen Ausstattungsbedingungen, der Anlagentechnik sowie der Standort- und Flächenauswahl ab (SRU 2011). Eine Übersicht über mögliche Umweltbeeinträchtigungen durch die verstärkte Nutzung energetisch verwertbarer Biomasse gibt Tab. 2.

Über die genannten Umweltwirkungen hinaus wird zudem eine zunehmende Konkurrenz um Flächen für energetisch verwertbare Anbau-Biomasse und solchen zur Produktion von Futter- und Nahrungsmitteln beklagt. Vor allem in Regionen mit einer hohen Dichte an Biogasanlagen, Milchvieh- und Veredelungsbetrieben ist deshalb mit einer weiteren Verteuerung der Pachtpreise für landwirtschaftliche Grundstücke zu rechnen (GÖMANN et al. 2013). So stiegen die Pachtentgelte für Ackerland in den schleswig-holsteinischen Geestgebieten zwischen 1999 und 2016 von durchschnittlich 230 €/ha auf mehr als 500 €/ha an (STATISTIKAMT NORD 2018a; MELUND 2018c).

Tab. 2: Beeinträchtigungen von Landschaft, Natur und Umwelt durch die energetische Nutzung von Anbau-Biomasse

Tab. 2: Effects of increased energy-related use of biomass use on landscape, nature and environment

Quellen (zusammengestellt nach)/sources (compiled according to): REINKE & KÜHNAU 2017; AMMERMANN 2013; SRU 2011; HERDEN et al. 2009; MELUR 2012; RIEDEL 2013; LÜKER-JANS et al. 2017

Wirkung auf ...	Art der Beeinträchtigung
... natürliche Schutzgüter (Boden, Wasser, Klima, Luft)	<ul style="list-style-type: none"> • hoher Flächenbedarf zur Produktion von Biomasse • erhöhte Anfälligkeit des Bodens gegenüber Wasser- und Winderosion, v.a. beim Anbau von Silomais • erhöhtes Bodenverdichtungsrisiko, insbesondere bei der Ernte von Silomais auf nassen Böden • Belastungen des Grund- und Oberflächenwassers durch erhöhte Stickstoffeinträge • Abnahme des Humusgehalts bei ungenügender Rückführung der abgeernteten und abgefahrenen organischen Substanz
... Arten und Lebensgemeinschaften	<ul style="list-style-type: none"> • Verlust extensiv genutzter Lebensräume (v. a. Grünland, Feldgehölze, Hecken) durch Ausdehnung der Anbaufläche • Abnahme der Habitatvielfalt durch den Schwund von Dauergrünland und den Umbruch von Grünland auf Moor- und Anmoorstandorte • Verringerung der Biodiversität • Abnahme der Diversität im Anbauspektrum der Kulturarten durch Verengung der Fruchtfolge
... Landschaftsbild, Erholungsvorsorge	<ul style="list-style-type: none"> • Verringerung der landschaftlichen Vielfalt (Homogenisierung) • Verlust der Eigenart durch Beseitigung natürlicher Landschaftsstrukturen • Einschränkung von Sichtbeziehungen durch hochwüchsige Energiepflanzen
... historische Kulturlandschaften	<ul style="list-style-type: none"> • Überprägung historischer Agrarlandschaften durch Intensivierung des Energiepflanzenanbaus, Ausdehnung der Schlaggrößen und Zunahme von Monokulturen • Verlust flurtypischer Landschaftsstrukturelemente
... Infrastruktur	<ul style="list-style-type: none"> • erhöhte Belastung der Verkehrsinfrastruktur durch Transportverkehr bei Abfuhr der Ernteprodukte und dem zunehmendem Betrieb von Schwerlastfahrzeugen

5 Die Biogaserzeugung in Schleswig-Holstein und ihre räumlichen Wirkungen

Im Folgenden wird zunächst ein Überblick über die zeitliche Entwicklung und die Herausbildung der regionalen Schwerpunkte der Biogasproduktion in Schleswig-Holstein gegeben, um anschließend auf die dort beobachtbaren Veränderungen der Landschafts- und Landnutzungsstruktur sowie der Grundwasserqualität einzugehen.

5.1 Regionale Schwerpunkte der Biogasproduktion

Schleswig-Holstein zählt neben Niedersachsen und Bayern zu den Bundesländern mit der höchsten Flächendichte an installierter elektrischer Leistung in Biomasseanlagen. Bei den derzeit 909 in Betrieb befindlichen Biomasseanlagen (AEE 2018c, d) handelt es sich zum überwiegenden Teil um Biogasanlagen. Insgesamt sind in diesen Anlagen ca. 460 MW an elektrischer Leistung installiert (Abb. 3).

Als hauptsächliches Gärsubstrat für die Biogasproduktion dient Silomais. Dieser erzielt unter den als Ackerpflanzen nutzbaren Energiepflanzen nicht nur die höchsten Methan-Hektarerträge (vgl. KTBL 2009), sondern stellt gleichzeitig nur geringe Ansprüche an den Boden. Zudem ist er in hohem Maße gülleverträglich, so dass die bei Tierhaltung anfallenden Ausscheidungen besonders in Regionen mit hohem Viehbesatz oftmals als Wirtschaftsdünger überschüssig auf die mit Silomais bestellten Flächen ausgebracht werden.

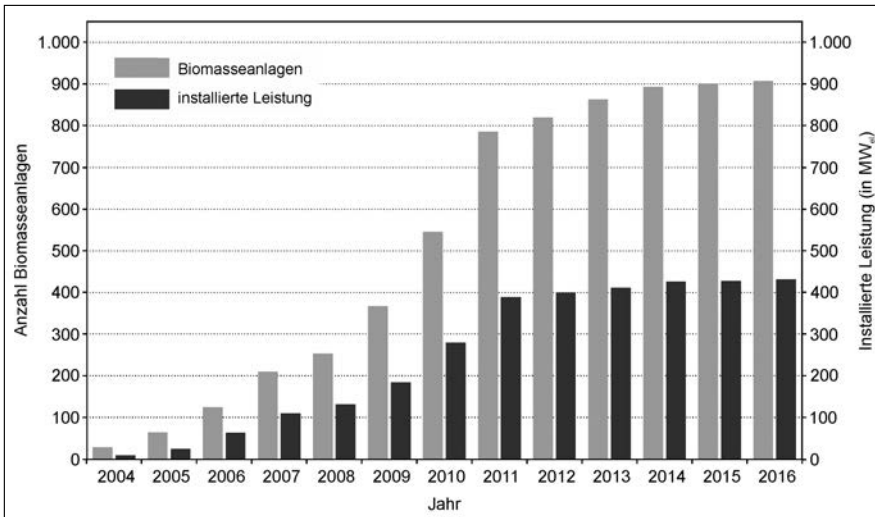


Abb. 3: Anzahl und installierte Leistung (MW_{el}) der Biomasseanlagen in Schleswig-Holstein im Zeitraum von 2004 bis 2016 (TENNET 2018)

Fig. 3: Total number and installed electrical power (MW_{el}) of biomass/-gas plants in Schleswig-Holstein between 2004 and 2016 (TENNET 2018)

Mit der Förderung des aus Biomasse produzierten Stroms durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG 2000; 2004) und unterstützt durch das Förderprogramm „Biomasse und Energie“ der Landesregierung (MUNL 2004) kam es in Schleswig-Holstein zu einem raschen Zubau an Biogasanlagen. Der Betrieb dieser Anlagen stellt für eine Reihe landwirtschaftlicher Unternehmen heute eine wichtige Einkommensquelle dar. Das in diesem Zusammenhang von politischer Seite gezeichnete Bild des Landwirts als Energiewirt steht dabei in engem Zusammenhang mit der EU-Agrarreform von 2003. Durch diese wurden die Direktzahlungen von der Produktion entkoppelt, um Landwirten neue unternehmerische Freiräume zu

schaffen (MUNL 2004). Tatsächlich vervielfachte sich die Zahl der Biogasanlagen in Schleswig-Holstein bis Ende 2013 auf insgesamt 893 Anlagen, wobei die installierte Leistung im gleichen Zeitraum von 9 MW_{el} auf 411 MW_{el} stieg (Abb. 3). Die Novellierungen des EEG, die den zwischenzeitlich erkannten ökologischen und sozio-ökonomischen Fehlentwicklungen (vgl. KLU 2014) begegnen sollten, führten in den Folgejahren zu einem deutlich gebremsten Zuwachs an Biomasseanlagen (vgl. auch Abb. 2 zur Flächendichte der schleswig-holsteinischen Biomasseanlagen).

5.2 Die Flächenwirksamkeit des Silomaisanbaus in Schleswig-Holstein

Die Ausweitung der Silomaisfläche geht zum einen auf die Umstellung der Fruchtfolge mit einem entsprechend höheren Anteil an Silomais zurück, zum anderen auf die Umnutzung ehemaliger Grün- und Brachlandflächen. Während sich die Anbaufläche für Silomais seit 2003 in etwa verdoppelte, verringerte sich die als Dauergrünland genutzte Fläche in Schleswig-Holstein im gleichen Zeitraum um mehr als 15%. Auch wenn die Silomaisfläche mittlerweile rückläufig ist, liegt sie mit einem Anteil von 25% an der Ackerfläche deutlich über dem Durchschnittswert für die Bundesrepublik Deutschland von knapp 8%.

Besonders hohe Zuwächse des Silomaisanbaus sind kennzeichnend für den Nordwesten der Hohen Geest und für die Vorgeest, wo Silo- und Grünmais auf bis zu 52% der Ackerfläche, d. h. auf bis zu 32% der landwirtschaftlichen Nutzfläche, angebaut werden. In einzelnen Gemeinden nimmt der Silomaisanbau mehr als 70% der Ackerfläche ein (vgl. SVOBODA et al. 2013).

Mit der Zunahme der Silomaisfläche in diesen Regionen ist ein deutlicher Rückgang des Dauergrünlands verbunden. Die stärksten Grünlandverluste treten dabei in den traditionell durch Rinder- und Milchviehhaltung geprägten Naturräumen der Hohen Geest, wie der Lecker und Bredstedt-Husumer Geest sowie der Vorgeest (Abb. 4) auf. In diesen Gebieten korreliert die Abnahme des Grünlandanteils eng mit dem Zubau an Biogasanlagen und dem erhöhten Bedarf an Produktionsfläche für Silomais (Tab. 3). Gleichzeitig zeigen die in Tab. 3 aufgeführten Werte den Übergang von der ehemals vorherrschenden Weidehaltung zu einer zunehmenden Stallhaltung des Milchviehbestands. Dieser ist in den Naturräumen der Geest von 2003 bis 2016 um etwa 10% angewachsen, verbunden mit einer Steigerung der Milchproduktion um etwa 20% (STATISTIKAMT NORD 2005b, 2009b, 2013b, 2016, 2018c). Der infolge der Stalltierhaltung verringerte Bedarf an Weideland kann somit als eine weitere Ursache für die Abnahme der Dauergrünlandfläche gesehen werden. Exakte statistische Angaben über den zur Erzeugung von Biogas genutzten Anteil der Silomaisfläche und dem zur Futtermittelgewinnung verwendeten Anteil liegen nicht vor. Es ist allerdings davon auszugehen, dass auch die Intensivierung der Milchproduktion infolge einer gesteigerten Nachfrage von Silomais als Kraftfutter für Hochleistungskühe v. a. in der Geest zur Ausdehnung der Silomaisfläche auf Kosten des Dauergrünlands beigetragen hat (Tab 3).

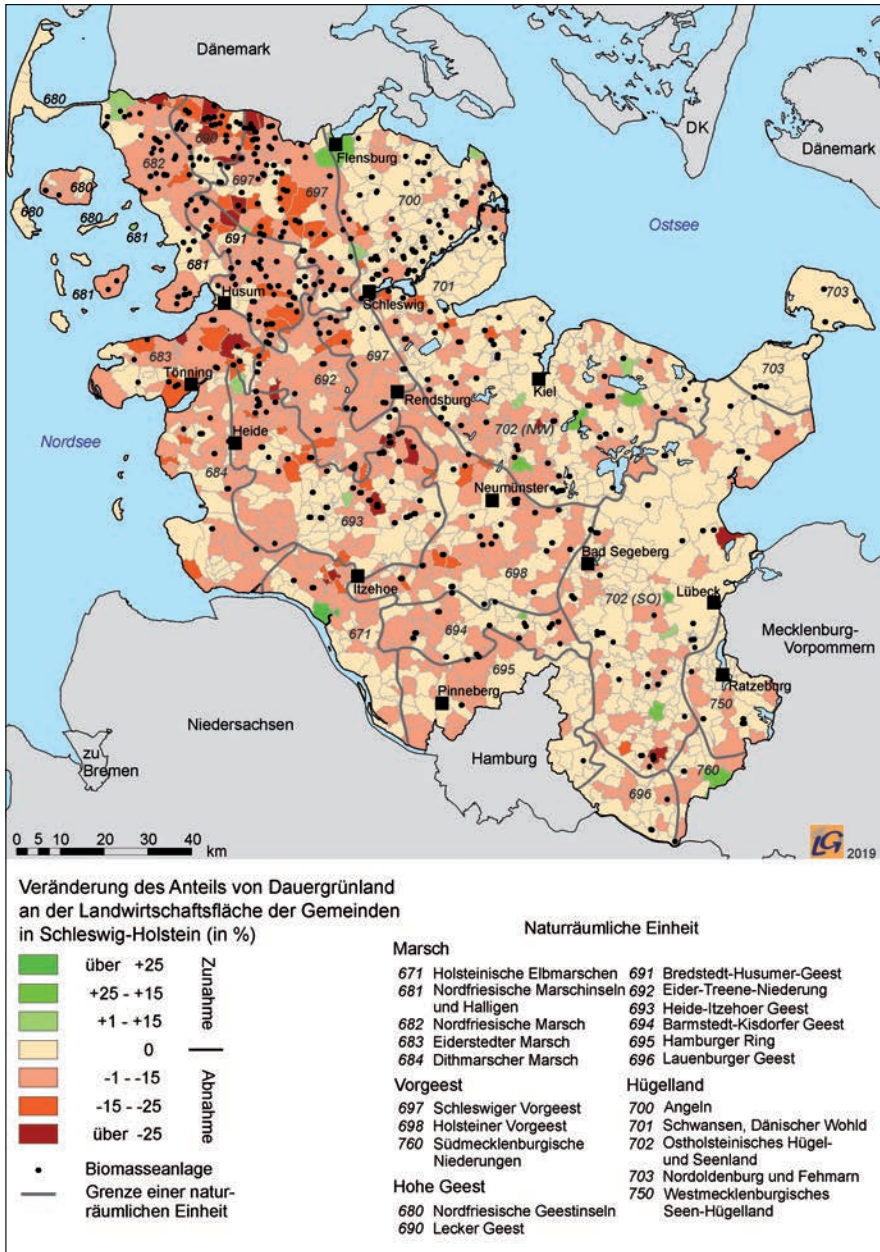


Abb. 4: Veränderung der Dauergrünlandfläche im Zeitraum von 2003 bis 2016
 Fig. 4: Changes in the share of permanent grassland between 2003 and 2016
 Datengrundlagen/data basis: LVERMGEO 2018; STATISTIKAMT NORD 2005a, 2017; LLUR 2018b

Tab. 3: Spearman-Korrelationskoeffizienten zur Darstellung der Zusammenhänge zwischen der Anzahl an Biogasanlagen, dem Milchviehbestand sowie der Acker-, Silomais- und Dauergrünlandfläche in der schleswig-holsteinischen Geest (weiße Kästchen) und im Land Schleswig-Holstein (hellgraue Kästchen) im Zeitraum von 2003 bis 2016

Quelle: Statistikamt Nord 2005a, 2009a, 2013a, 2018b (= Agrarstrukturerhebungen der Jahre 2003 bis 2016)

Tab. 3: Spearman correlation coefficients displaying the dependences between the number of biogas plants, dairy cattle stocks and the area of cropland, permanent grassland and silage maize for the „Geest“ region (white boxes) and the entire state of Schleswig-Holstein (gray boxes) between 2003 and 2016

Source: Statistikamt Nord 2005a, 2009a, 2013a, 2018b (= agricultural structure surveys of the years 2003 to 2016)

	Biogasanlagen	Ackerfläche	Silomaisfläche	Dauergrünlandfläche	Anzahl Milchkühe
Biogasanlagen		0,83	0,90*	-0,85	0,87
Ackerfläche	0,70		0,99**	-0,99***	0,64
Silomaisfläche	0,90*	0,94*		-0,99**	0,73
Dauergrünlandfläche	-0,84	-0,97**	-0,99***		-0,61
Anzahl Milchkühe	0,84	0,31	0,60	-0,50	
*signifikant ($p \leq 5\%$), **sehr signifikant ($p \leq 1\%$), ***hoch signifikant ($p \leq 0,1\%$)					

5.3 Wirkungen des intensivierten Silomaisanbaus auf die Landschaftsstruktur

Die mit der Vergrößerung der ackerbaulichen Produktionsfläche in Schleswig-Holstein verbundenen Veränderungen der Landschafts- und Landnutzungsstruktur lassen sich durch den Vergleich von CORINE-Land-Cover (CLC-)Datensätzen der Jahre 2000 und 2012 und den daraus berechneten Landschaftsstrukturmaßen (vgl. LANG & BLASCHKE 2007; WALZ 2011) quantitativ beschreiben. Im Rahmen dieses Beitrags sollen die folgenden Strukturmaße zur Charakterisierung des Landschafts- und Landnutzungsmusters und seines zeitlichen und räumlichen Wandels herangezogen werden:

- die mittlere Einzelflächengröße (engl. *Mean Patch Size, MPS*) zur Kennzeichnung der durchschnittlichen Flächengröße einer Landbedeckungs- oder Landnutzungsklasse in einem Gebiet;
- die Randliniensumme (engl. *Total Edge, TE*), als aufsummierte Länge der in einem Gebiet auftretenden Grenzlinien unterschiedlicher Landbedeckungs- oder Landnutzungsklassen. Dieses Maß dient hier der Kennzeichnung des Struktureichtums einer Landschaft, wobei angenommen wird, dass die Summe der Randlinien mit der Vielfalt des Landnutzungsmosaiks zunimmt (LANG & BLASCHKE 2007);

- der mittlere Formindex (engl. *Mean Shape Index, MSI*), mit dem der Kompaktheits- oder der Ungleichförmigkeitsgrad von Flächen ausgedrückt werden kann. Werte >1 weisen dabei auf eine zunehmende Ungleichförmigkeit der Einzelflächen hin;
- der *Diversitätsindex nach Shannon (H)*, der auf eine räumliche Bezugsebene angewendet die Vielfalt des Landnutzungsmusters beschreibt;
- die Gleichmäßigkeit (engl. *Evenness, E*), ein Maß für die Gleich- oder Ungleichverteilung der Flächengrößen der einzelnen Landbedeckungs- oder Landnutzungsklassen bezogen auf den für das Gesamtgebiet berechneten Diversitätswert darstellt. Die *Evenness*-Werte liegen zwischen 0 und 1 („0“ = völlige Ungleichverteilung bzw. „1“ = totale Gleichverteilung der Flächenanteile der einzelnen Objektklassen).

Die seit 2000 beobachtbaren Veränderungen in der landwirtschaftlichen Flächennutzung bilden sich deutlich in den Landschaftsstrukturmaßen ab. Dies gilt besonders für die Räume mit hoher Biogasanlagendichte und einer hohen Dichte an installierter elektrischer Leistung. Diese Gebiete zeichnen sich – verglichen mit dem Landesdurchschnitt – durch eine drastische Abnahme der mittleren Patchgröße (*MPS*) (Abb. 5a) und Randliniensumme (*TE*) (Abb. 5b) von Dauergrünland aus, was sowohl auf eine verstärkte Umwandlung des Grünlands in Ackerland als auch auf eine Verkleinerung der in die Ackerfläche eingebetteten Mähwiesen und Weiden hindeutet. Im Unterschied dazu zeigen die *MPS*-Werte für das Ackerland eine Zunahme der Feldgrößen im Zeitraum zwischen 2002 und 2012 und einen Zuwachs an gleichförmigen Schlaggeometrien (*MSI*) (Abb. 5c). Darüber hinaus lassen die für das Dauergrünland ermittelten *MSI*-Werte auf einen wachsenden Kompaktheitsgrad der Grünlandflächen schließen – dabei kann die Abnahme der Randliniensumme (*TE*) (Abb. 5b) als Indiz für die weitere Verinselung der Dauergrünlandvorkommen gewertet werden. Die zeitlichen Veränderungen dieser Strukturmaße deuten auf die Fortsetzung der von LEUSCHNER et al. (2014) seit 1950 beobachteten Verdrängung des zusammenhängenden Dauergrünlands zugunsten zunehmend kleinerer, fragmentierter und isolierter Areale hin. In diesem Zusammenhang beklagen bspw. RIEDEL & STOLZ (2015, S. 168), dass das in einzelnen Regionen Schleswig-Holsteins ohnehin nur „sehr kümmerlich ausgebildete Netz des Biotopverbundes in seiner Strukturvielfalt und Biodiversität weiter geschwächt“ wird. Auf den zunehmenden Verlust an struktureller Vielfalt im Landnutzungsmuster weisen die Diversitätsindizes hin (Abb. 5d). Die insgesamt abnehmenden *Evenness*-Werte (*E*) (Abb. 5d) zeigen zudem eine wachsende Ungleichverteilung der einzelnen Landnutzungstypen zugunsten des Ackerlands, das besonders in den Landschaften der schleswig-holsteinischen Geest zu hohen Anteilen mit Silomais bestellt wird.

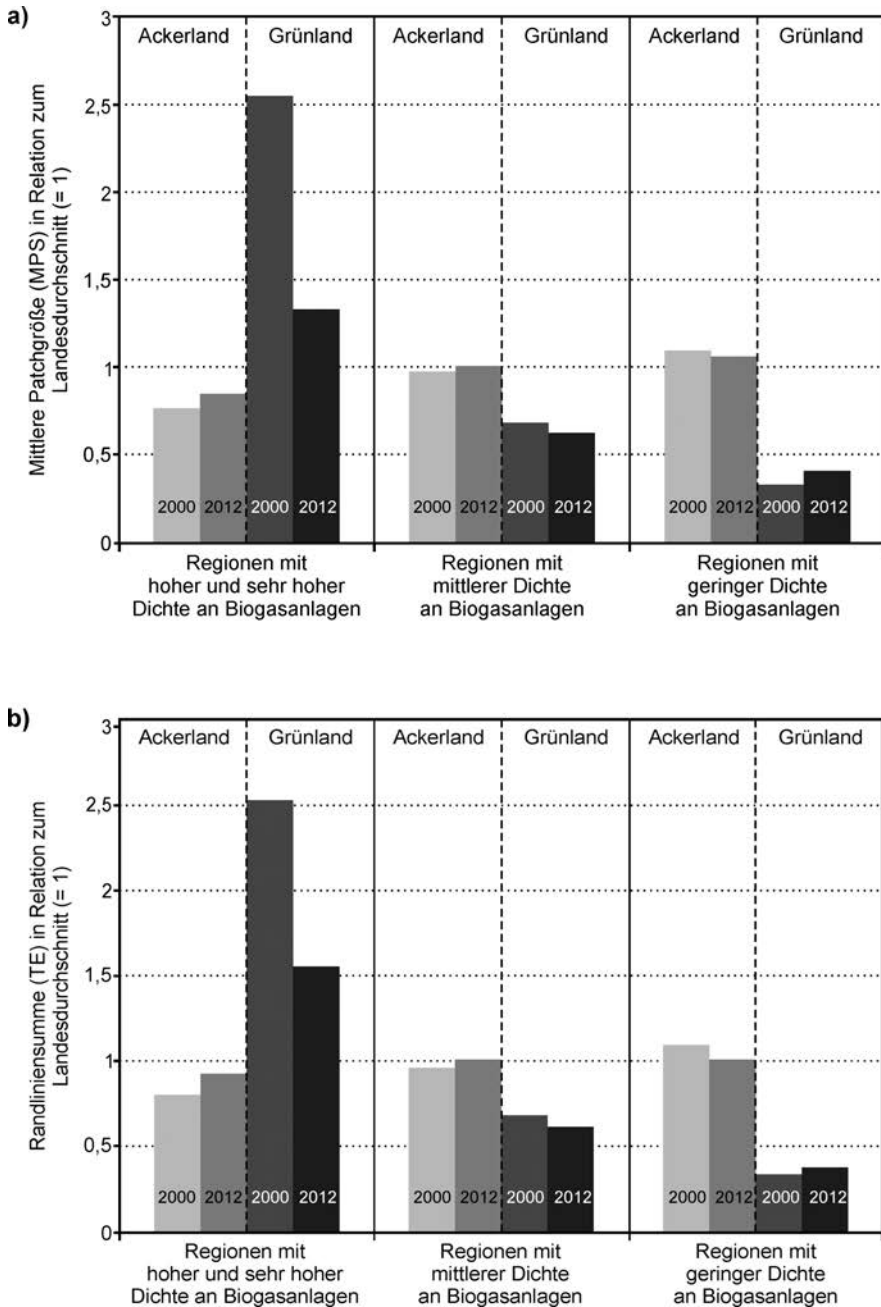


Abb. 5: Veränderungen ausgewählter Landschaftsstrukturmaße und Diversitätsmaße in Regionen mit unterschiedlicher Biogasanlagendichte im Zeitraum von 2000 bis 2012 (Klassifikation der Dichteklassen gemäß Tab. 1) (Berechnungen: N. CSIKÓS)

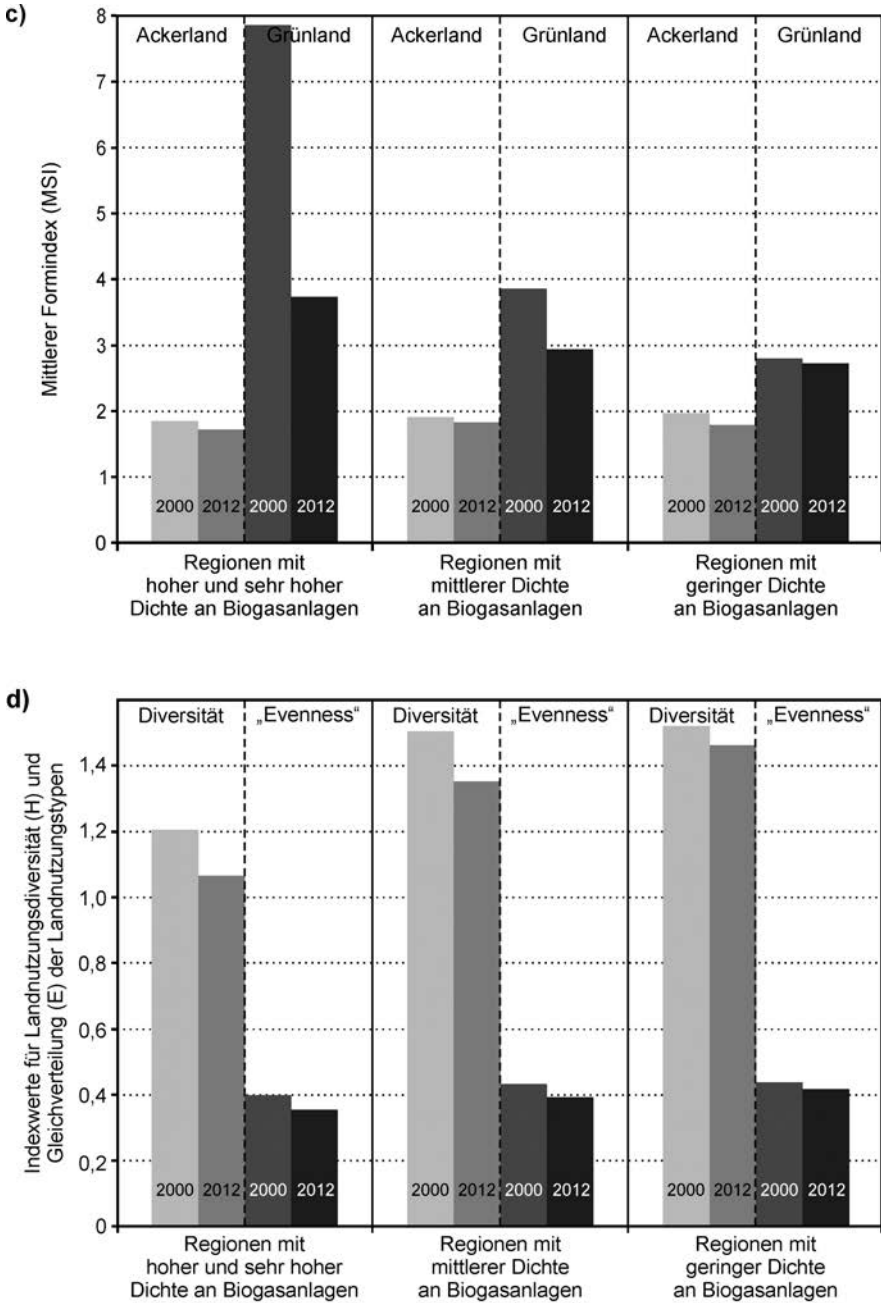


Fig. 5: Changes of selected landscape metrics and diversity indices in regions of differing density of biogas plants between 2000 and 2012 (the classification of density classes is based on Tab. 1 (calculations: N. Csikós)

5.4 Die Nitratbelastung des Grundwassers in den Silomaisregionen

Die erhöhte Belastung des Grundwassers durch Nitratreinträge aus der Landwirtschaft stellt nicht erst seit Ausdehnung der Produktionsfläche für „Energiermais“ ein ernst zu nehmendes Umweltproblem dar. Nach LLUR (2014) waren von den insgesamt 55 oberflächennahen Grundwasserkörpern Schleswig-Holsteins 22 Grundwasserkörper im Jahr 2012 in einem schlechten chemischen Zustand. Ein Viertel der etwa 160 Messstellen in den gefährdeten oberflächennahen Grundwasserkörpern wies im Mittel der Jahre 2005–2012 Nitratkonzentrationen auf, die den EU-Trinkwassergrenzwert von 50 mg NO₃/l überstiegen (LLUR 2014). Jüngere Messdaten belegen, dass sich hieran wenig zum Positiven verändert hat (vgl. TAUBE et al. 2015). Der Vergleich von 156 Grundwassermessstellen zeigt, dass die Nitratkonzentration im oberflächennahen Grundwasser an 31 Messstationen zwischen 2005 und 2015 zugenommen hat; dabei wurden Maximalwerte bis zu 190 mg NO₃/l nachgewiesen (Abb. 6).

Höhere Grundwasserbelastungen durch Nitrat treten v. a. in den schleswig-holsteinischen Geestgebieten auf, für deren Grundwasserkörper nach LLUR (2014) ein mittlerer Nitratgehalt von 25 mg NO₃/l kennzeichnend ist. Ähnliches gilt für den Übergangsbereich zwischen der Geest und dem östlichen Hügelland. Beide Räume zeichnen sich durch Substrate mit vergleichsweise hoher Wasserdurchlässigkeit und durch das Fehlen schützender Deckschichten oberhalb ihrer Grundwasserkörper aus. Zudem handelt es sich um diejenigen Regionen, die traditionell durch einen starken Rinder- und Milchviehbesatz und ausgedehnte Futterbaukulturen (Grün- und Silagemais, Ackergras, Dauergrünland) geprägt sind. Entsprechend hoch ist die Zufuhr organischer und mineralischer Stickstoffdünger in diesen Naturräumen. Die jährliche Stickstoffzufuhr aus Tierausscheidungen, Gärresten, Mineraldünger und durch biologische Bindung belief sich hier im Jahr 2010 auf mehr als 250 kg N/ha (vgl. TAUBE et al. 2015). Abzüglich der erntebedingten Nitrat- abfuhr werden in diesen Regionen die höchsten Nitratüberschüsse mit einem positiven Flächenbilanzsaldo von mehr als 80 kg N/ha verzeichnet.

Mit dem verstärkten Zuwachs an Biogasanlagen und der steigenden Einspeisung von elektrischer Leistung aus Biomasse zwischen 2010 und 2013 stieg auch die anfallende Menge an organischem Nitratdünger pflanzlichen Ursprunges (Gärreste aus der Biogasproduktion) um mindestens 2 kg N/ha (TAUBE et al. 2015). Eine Zunahme in gleicher Höhe verzeichnet auch der Anfall organischer Nitratdünger tierischer Herkunft (Gülle), bedingt durch das Anwachsen des Milchviehbestands. Aufgrund der Novellierung des EEG 2014 nahm der Zubau von Biogasanlagen in der Folgezeit allerdings drastisch ab (vgl. Abb. 3), so dass sich die mit den Gärresten anfallende Nitratmenge aller Voraussicht nach künftig nicht mehr wesentlich erhöhen wird (TAUBE et al. 2013).

5.5 Gesetzliche Regelungen zur Minderung der Nitratbelastung

Mit der neuen Düngeverordnung (DüV 2017) soll den negativen Folgen erhöhter Stoffeinträge aus landwirtschaftlichen Quellen begegnet und ein besserer Schutz des Grund- und Oberflächenwassers erreicht werden. Bezog sich die bisher festgelegte Obergrenze von 170 kg Gesamtstickstoff pro ha landwirtschaftlicher Nutz-

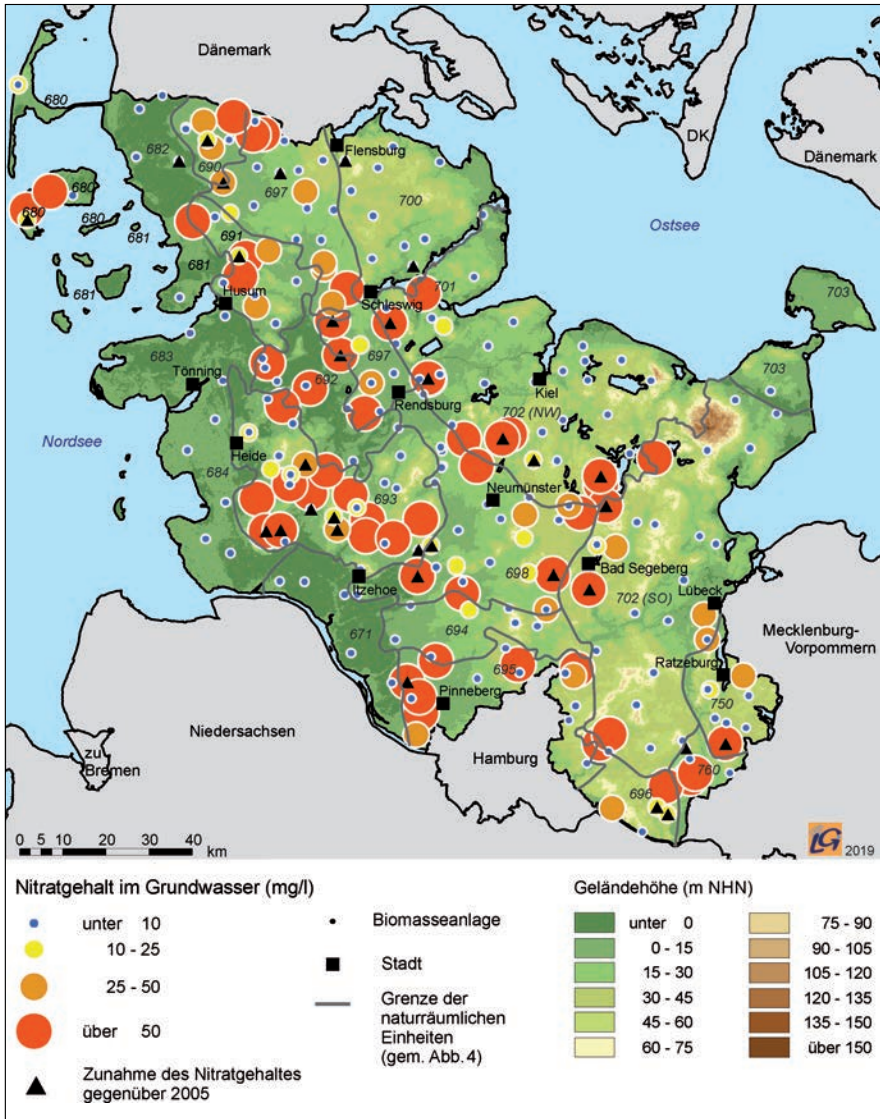


Abb. 6: Mittlere Nitratbelastung des Grundwassers an Messstellen des chemischen Grundwassermonitorings in Schleswig-Holstein (Datengrundlagen: BKG 2018a, b; LLUR 2018c)

Fig. 6: Mean Nitrate loading of near surface groundwater at the observation wells of the chemical groundwater monitoring in Schleswig-Holstein (data basis: BKG 2018a, b; LLUR 2018c)

fläche und Jahr allein auf die Ausbringung von Stickstoff aus Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft (Dung, Gülle, Jauche), so schließt die novellierte DüV nun auch den Stickstoff aus anderen organischen Düngern, wie Gärreste aus dem Betrieb von Biogasanlagen in die „170 kg Nitrat-Regel“ mit ein. Darüber hinaus begrenzt sie u. a. den Nitratbilanzüberschuss ab 2020 auf 50 kg Gesamtnitrat pro ha (DüV 2017; BMEL 2018). Die in der schleswig-holsteinischen Landesdüngeverordnung vorgenommene Konkretisierung geht über die bundesweiten Regelungen hinaus. Sie weist sogenannte Gebietskulissen aus, für die besondere Regelungen im Umgang mit Düngemitteln gelten. Die Nitrat-Kulisse umfasst 51 Prozent der schleswig-holsteinischen Landesfläche (MELUND 2018d).

Mit der aus Sicht des Grundwasserschutzes dringend notwendigen Umsetzung der verschärften „170 kg Nitrat-Regel“ zeichnen sich allerdings eine Reihe unerwünschter Folgewirkungen ab. Dies gilt insbesondere für die Milchvieh-/Biogas-Regionen des Landes, in denen zahlreiche Betriebe bereits heute nahe am 170 kg-Limit liegen. Bei Annahme einer effektiv verfügbaren landwirtschaftlichen Nutzfläche von 80 % gehen Berechnungen von einer anfallenden Nitratmenge aus organischen Düngern von mehr als 210 kg N/ha in den Landkreisen Nordfriesland und Schleswig-Flensburg aus (TAUBE et al. 2013).

Unter Zugrundelegung einer effektiven Flächenverfügbarkeit von 80 % der zur Ausbringung organischer Nitratdünger geeigneten landwirtschaftlichen Nutzfläche wären nach TAUBE et al. (2013) landesweit Gärreste und Gülle in einem Umfang von 1 Mio. t Frischmasse zu transportieren. Die hierbei entstehenden Transportkosten werden auf mehr als 5 Mio. Euro geschätzt, die zusätzlichen CO₂-Emissionen durch den erhöhten Transportverkehr auf über 2.600 Tonnen CO₂.

Strategien zur Verringerung der Nitratbelastung des oberflächennahen Grundwassers sehen deshalb neben der Optimierung des Düngemanagements in den Milchvieh-Futterbau- und Biogasregionen v. a. beim Silomaisanbau auch technische Lösungen zur Gülle- und Gärreste-Aufbereitung vor. Mit diesen ließen sich etwa 25 % des in der Gülle befindlichen Stickstoffs und Phosphats in die feste Phase überführen, die nach entsprechender Trocknung deutlich effizienter zu transportieren wäre (TAUBE et al. 2015).

6 Zukünftige Entwicklung der Biogasnutzung in Schleswig-Holstein

Da das Potenzial für die Nutzung von Anbau-Biomasse zur Biogasverstromung in Schleswig-Holstein weitgehend ausgeschöpft ist und die Vergütungssätze für die Stromerzeugung mit der EEG-Novelle von 2014 deutlich abgesenkt wurden, wird künftig kein nennenswerter Zubau an Biogasanlagen mehr erwartet (SCHLESWIG-HOLSTEINISCHER LANDTAG 2016). Dem aktuellen Energiewende- und Klimaschutzbericht (SCHLESWIG-HOLSTEINISCHER LANDTAG 2018) zufolge stieg die Stromerzeugung aus Biogas im Jahr 2016 gegenüber dem Vorjahr nur um 1,5 % auf ca. 2,7 TWh an.

Als „Ausgleichsenergie“ für eine bedarfsgerechte Stromversorgung im Zuge der Energiesystemtransformation wird Biogas derzeit allerdings als unverzichtbar angesehen (SCHLESWIG-HOLSTEINISCHER LANDTAG 2018). Nach dem Energiekonzept

des Landes Schleswig-Holstein kommt ihm für das nächste Jahrzehnt eine Brückenfunktion zu, da es einerseits Fluktuationen in der Stromerzeugung durch andere Erneuerbaren Energien auszugleichen vermag und andererseits noch Potenzial für die Verknüpfung des Strom- und Wärmesektors bietet. So wird die bei der Stromproduktion in den bestehenden Biogasanlagen anfallende Wärme derzeit nur in begrenztem Umfang genutzt, wenngleich die biogenen Energieträger mehr als 90 % zur Wärmeversorgung aus Erneuerbaren Energien beitragen. Aktuell liegt der Anteil biogener Energieträger am Endenergieverbrauch Wärme (EEV Wärme) bei etwa 13 % (5 TWh). Bis zum Jahr 2025 soll das nutzbare Potenzial für die Wärmebereitstellung aus Biomasse auf 17 % (5,6 TWh) an EEV Wärme erhöht werden (SCHLESWIG-HOLSTEINISCHER LANDTAG 2016; 2018).

Noch nicht hinreichend energetisch verwertet werden biogene Reststoffe wie Gülle, Stroh, Knickholz, Bio- und Grünabfälle. Diese machen knapp 50 % des biogenen Primärenergiepotenzials in Schleswig-Holstein aus (MELUR 2011). Da ihre Nutzung weder zusätzliche Flächen beansprucht noch mit negativen Umweltwirkungen verbunden ist (KLU 2013), könnte die Verwertung dieser Reststoffe dazu beitragen, die Anbaufläche für Energiemais zu verringern und so Raum für eine stärkere Diversifizierung des Kulturartenspektrums und des Landnutzungsmusters zu schaffen. Zu prüfen wäre zudem, ob und in welchem Maße Gülle in Regionen mit hohem Viehbesatz in zusätzlichen Kleinbiogas-Anlagen (Gülleanlagen) vergärt und zur dezentralen Wärmeversorgung im Nahbereich der Anlagen einsetzbar wäre. Der hierbei zu erwartenden Minderung der Treibhausgasemission stünden allerdings die weiterhin mit den Gärresten anfallenden Stickstoffmengen gegenüber, die vor dem Hintergrund der aktuellen Düngeverordnung in Regionen mit hohen Nitratbilanzüberschüssen bereits jetzt nicht mehr vor Ort ausgebracht werden können.

7 Steuerungsmaßnahmen und Handlungsempfehlungen für eine landschafts- und umweltverträglichere Biomassenutzung

Eine regionalplanerische Steuerung des Zubaus von Biogasanlagen ist nur begrenzt möglich. Im Unterschied zu Windkraftanlagen, deren Zu- und Ausbau in Schleswig-Holstein auf 361 Eignungsgebiete mit einem Anteil von 1,95 % der Landesfläche begrenzt ist, ist eine derartige Begrenzung für die Errichtung von Biogasanlagen rechtlich nicht praktikierbar. Die meisten dieser Anlagen gelten im planungsrechtlichen Außenbereich (gemäß BauGB § 35) derzeit als privilegierte Bauvorhaben. Mit dem Ziel, die direkten und indirekten negativen Wirkungen der Biogaserzeugung auf das Landschaftsbild, die Landschaftsstruktur und die diversen Funktionen der Landschaft zu verringern, schlagen Handlungsempfehlungen des BfN (2018, S. 6) u. a. vor, die Privilegierung von Biomasseanlagen im bauplanungsrechtlichen Außenbereich zu überprüfen, die Vergütungssätze für die energetische Verwertung von Biomasse an naturschutzfachliche Auflagen zu binden und die „gute fachliche Praxis“ (vgl. § 5 BNatSchG) zu präzisieren. Hierzu zählt der Schutz des Bodens und der Biodiversität durch entsprechende Fruchtfolgeregelungen ebenso wie der Schutz von Saum- und Strukturelementen und der Schutz vor Grünlandumbruch. Letzterem trägt das in Schleswig-Holstein seit 2013 geltende Gesetz zur Erhaltung von Dauergrünland (DGLG) Rechnung. Dieses Gesetz zielt auf den Erhalt der

natürlichen Bodenfunktionen und der Biodiversität sowie auf den Grund- und Fließgewässerschutz ab und soll zudem einen Beitrag zum Klimaschutz leisten.

Um die mit dem Anbau von Silomais verbundenen Effekte auf die Landschaft und Umwelt zu reduzieren und so letztlich auch ein höheres Maß an gesellschaftlicher Akzeptanz für die energetische Nutzung von Anbau-Biomasse zu schaffen, sind wirkungsvollere ordnungs- und förderpolitische Steuerungsinstrumente ebenso erforderlich wie eine konsequentere Anwendung der Prinzipien der guten fachlichen Praxis auf betrieblicher Ebene.

Zwar sind die Direktzahlungen für landwirtschaftliche Betriebe mit der Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) im Jahr 2003 an die Einhaltung von Mindeststandards u. a. im Umweltbereich gebunden (vgl. AgrarZahlVerpflV 2014) und seit 2015 an die Erfüllung zusätzlicher Auflagen zur Förderung der Biodiversität, des Klima- und Umweltschutzes („Greening“-Auflagen) geknüpft. Diese umfassen den Erhalt von Dauergrünland, eine stärkere Diversifizierung im Anbau von Feldfrüchten durch Festlegung von Maximalanteilen von Ackerkulturen und die Bereitstellung ökologischer Vorrangflächen auf mindestens 5% des bewirtschafteten Ackerlands (BMEL 2015). Nach Einschätzung des UBA (2018a) ist die ökologische Steuerungswirkung der Direktzahlungen jedoch gering. Für die GAP-Reform 2020 wird deshalb ein Paradigmenwechsel in der europäischen Agrarpolitik gefordert. Dabei sollte die Förderung einer nachhaltigen Entwicklung der Landwirtschaft im Einklang mit den Umwelt- und Naturschutzzielen der EU stehen (UBA 2018, S. 136).

Gleiches wäre auch für eine zukünftige Ausgestaltung der energiepolitischen Förderinstrumente zu fordern, bei der eine nachhaltigere Nutzung der erneuerbaren Energieträger stärker in den Mittelpunkt rückt. Mit Blick auf die Biogasproduktion sollten dabei nicht nur der Beitrag zur Deckung des Energiebedarfs berücksichtigt werden, sondern auch die damit verbundenen landschaftsstrukturellen, ökologischen und sozio-ökonomischen Wirkungen (vgl. KLU 2013). Beispiele für die räumliche Analyse solcher Effekte diskutiert dieser Beitrag.

8 Fazit

Der vorliegende Beitrag untersucht die räumlichen und zeitlichen Wirkungen der Biogasproduktion auf die Landnutzungs- und Landschaftsstruktur am Beispiel Schleswig-Holsteins mit Hilfe frei verfügbarer Geodaten. Er stellt ausgewählte Methoden für die räumliche Analyse des im Zuge der Energiesystemtransformation beobachtbaren Landschaftswandels sowie der nicht visuell erkennbaren Veränderungen der natürlichen Schutzgüter (hier: Grundwasser) vor. Es wird deutlich, dass ein auf frei verfügbaren Geodaten beruhendes integratives „Energie-landschaftsmonitoring“ im Sinne des von BLASCHKE schon 2002 skizzierten Landschaftsmonitorings möglich ist. Dabei zeigt die Auswertung der Daten, dass sowohl die Anbaufläche für Silomais als auch der Flächenverlust an Dauergrünland in Regionen mit hoher Dichte an Biogasanlagen und Dichte an darin installierter elektrischer Leistung stark mit dem Zubau an Biogasanlagen korreliert. Zugleich deuten die auf der Grundlage von CORINE-CLC-Daten berechneten Landschaftsstruktur- und Diversitätsmaße auf eine Zunahme der Ackerschlaggrößen sowie auf

eine Abnahme der Landnutzungsdiversität in diesen Regionen hin. Angesichts der vergleichsweise geringen räumlichen Auflösung der CLC-Daten (Mindestkartierfläche 25 Hektar, seit 2012 zehn Hektar; vgl. BKG 2019) einerseits und der v. a. in den mittleren und westlichen Landesteilen vorherrschenden kleinteiligen Flurstrukturen andererseits, wäre jedoch zu überprüfen, ob und in welchem Maße geometrisch höher auflösende Landnutzungsklassifikationen, bspw. auf der Grundlage von Sentinel-2A-Satellitendaten (vgl. KUHWARD et al. 2018), eine verlässlichere Berechnung von Landschaftsstruktur- und Diversitätsmaßen ermöglichen würden.

Auch wenn in den letzten Jahren kaum noch neue Biogas- oder Biomasseanlagen in Schleswig-Holstein genehmigt wurden und der Zuwachs an installierter bioenergetischer Leistung durch „Überbauung“ der vorhandenen Anlagen erfolgte (SCHLESWIG-HOLSTEINISCHER LANDTAG 2018), schlägt sich diese Entwicklung derzeit nicht in einer substanziellen Abnahme der mit Silomais bestellten Ackerfläche nieder. Die Ausdehnung der Silomaisfläche ist dabei allerdings nicht pauschal, d. h. ausschließlich auf die energetische Nutzung von Silomais zurückzuführen, sondern ist in den „Veredelungsregionen“ auch der Zunahme des Milchviehbestands und dem gesteigerten Bedarf an Silomais als Futtermittel geschuldet. Das Zusammenspiel beider Faktoren, einerseits die in Gebieten mit hoher Dichte an Biogasanlagen verstärkt anfallende Gärrestmenge und andererseits der mit der Zunahme des Milchviehbestands verbundene erhöhte Gülleanfall, birgt v. a. auf den „leichten“ Sandstandorten der schleswig-holsteinischen Geest das Risiko einer erhöhten Nitratbelastung der oberflächennahen Grundwasserkörper. Mit der notwendigen Verschärfung der Düngeverordnung und der Ausweisung von Nitrat-Düngekulissen soll diesem Problem begegnet werden. Inwieweit diese Maßnahmen ihrerseits zu anderen Folgebelastrungen, bspw. durch einen erhöhten Transportverkehr führen (zusätzliche Emissionen von CO₂ und Lärm), ist noch weitgehend unbekannt und im Rahmen zukünftiger Arbeiten zur Energielandschaftsforschung zu untersuchen.

Literatur

- AEE (Agentur für Erneuerbare Energien e. V.) 2018a: Bundesländer mit Neuer Energie. Statusreport Föederal Erneuerbar 2018. Zahlen, Daten, Fakten. Teil: D (Deutschland). URL: www.foederal-erneuerbar.de (letzter Zugriff 27.07.2018).
- AEE 2018b: Bundesländer mit Neuer Energie. Statusreport Föederal Erneuerbar 2018. Zahlen, Daten, Fakten. Teil: STA (Statistik). URL: www.foederal-erneuerbar.de (letzter Zugriff 27.07.2018).
- AEE 2018c: Bundesländer mit Neuer Energie. Statusreport Föederal Erneuerbar 2018. Zahlen, Daten, Fakten. Teil: SH (Schleswig-Holstein). URL: www.foederal-erneuerbar.de/landesinfo/bundesland/SH (letzter Zugriff 23.11.2018).
- AEE 2018d: Datenblatt: Bioenergie Schleswig-Holstein. URL: www.foederal-erneuerbar.de/landesinfo/bundesland/SH (letzter Zugriff 23.11.2018).
- AMMERMANN, K. 2013: Die Energiewende – Auswirkungen auf Natur und Landschaft aus Sicht des Bundesamtes für Naturschutz. In: DEMUTH, B., S. HEILAND, N. WIERSBINSKI & K. AMMERMANN (Hrsg.): Energielandschaften – Kulturlandschaften der Zukunft. Energiewende Fluch oder Segen für unsere Landschaften? Bonn, S. 113–121 (= BfN-Skripten, 337).

- BECKMANN, K. J., L. GAILING, M. HÜLZ, H. KEMMING, M. LEIBENATH, J. LIBBE & A. STEFANSKY (2013): Räumliche Implikationen der Energiewende. Positionspapier. Berlin. (= Difu-Papers, Deutsches Institut für Urbanistik).
- BfN (Bundesamt für Naturschutz) 2018: Landschaftsbild und Energiewende. Band 2: Handlungsempfehlungen. Bonn-Bad Godesberg.
- BfN 2019: Erneuerbare Energien Report. Die Energiewende naturverträglich gestalten. Bonn-Bad-Godesberg.
- BKG (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie) 2018a: Verwaltungsbezirke 1:2.500.000 (VG 2500), Stand 2015, ©GeoBasis-DE. Frankfurt am Main.
- BKG 2018b: Digitales Geländemodell – Gitterweite 200 m. Stand 22.03.2015. Frankfurt am Main.
- BKG 2019: Corine Land Cover. URL: https://www.bkg.bund.de/DE/Ueber-das-BKG/Geoinformation/Fernerkundung/Landbedeckungsmodell/CorineLandCover/clc_cont.html (letzter Zugriff 15.04.2019).
- BLASCHKE, T. 2002: GIS und Fernerkundung für Landschaftsmonitoring und Landschaftsplanung. In: STANDORT – Zeitschrift für Angewandte Geographie 26, 3, S. 115–120.
- BMEL (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft) 2015: Umsetzung der EU-Agrarreform in Deutschland. Ausgabe 2015. Berlin.
- BMEL 2018: Strengere Regeln für die Düngung. URL: www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Pflanzenbau/Ackerbau (letzter Zugriff 12.10.2018).
- BRÜHNE, T. & M. TEMPEL 2013: Postmoderne Energielandschaften in Rheinland-Pfalz. In: Geographische Rundschau 65, 1, S. 28–35.
- CE (Council of Europe/Europarat) 2000: European Landscape Convention (Europäisches Landschaftsübereinkommen), ETS No. 176, Florence 20.X.2000. URL: <https://rm.coe.int/1680080621> (letzter Zugriff 18.12.2018).
- DEMUTH, B. & S. HEILAND 2013: Auswirkungen der Energiewende auf die Landschaft. In: LandInForm – Magazin für ländliche Räume, 2.2013, S. 20–21.
- DESTATIS (STATISTISCHES BUNDESAMT) 2018: Bundesländer mit Hauptstädten nach Fläche, Bevölkerung und Bevölkerungsdichte am 31.12.2017. URL: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Laender-Regionen/Regionales/Gemeindeverzeichnis/Administrativ/02-bundeslaender.html> (letzter Zugriff 17.04.2019).
- DÜV (Düngeverordnung) 2017: Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen. BGBl. I S. 1305. Berlin.
- DUTTMANN, R., W. HASSENPFUG, M. BACH, U. LUNGERSHAUSEN & J.-H. FRANK 2011: Winderosion in Schleswig-Holstein. Kenntnisse und Erfahrungen über Bodenverwehungen und Windschutz. Flintbek (= Schriftenreihe LLUR SH – Geologie und Boden, 15).
- DUTTMANN, R., M. BACH & J. BRUNOTTE 2013a: Befahrungskaktivität bei der Silomaisern-te. In: KTBL (Kuratorium Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V.) (Hrsg.): Logistik rund um die Biogasanlage. Darmstadt, S. 63–73 (= KTBL-Schrift, 498).
- DUTTMANN, R., J. BRUNOTTE & M. BACH 2013b: Evaluierung der schlaginternen Bodenbelastung durch Befahrung und Ableitung von Optimierungshilfen für den Praktiker. In: Landbauforschung 63, 2, S. 171–190.
- EEG (Erneuerbare-Energien-Gesetz) 2000: Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG) sowie zur Änderung des Energiewirtschaftsgesetzes und des Mineralölsteuergesetzes vom 29. März 2000. BGBl, Jg. 2000, Teil I, Nr. 13. Bonn.
- EEG 2004: Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG) vom 21. Juli 2004. BGBl I, S. 1918. Bonn.

- EEG 2014: Gesetz zur grundlegenden Reform des Erneuerbare-Energien-Gesetzes und zur Änderung weiterer Bestimmungen des Energiewirtschaftsrechts vom 21. Juli 2014. BGBl, Jg. 2014, Teil I, Nr. 33. Bonn.
- EEG 2017: Gesetz zur Einführung von Ausschreibungen für Strom aus erneuerbaren Energien und zu weiteren Änderungen des Rechts der erneuerbaren Energien vom 13. Oktober 2016. BGBl, Jg. 2016, Teil I, Nr. 49. Bonn.
- EEWÄRMEG (Erneuerbare-Energien-Wärme-gesetz) 2008: Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich vom 07. August 2008. BGBl I, S. 1658. Bonn.
- GAILING, L. & M. LEIBENATH (Hrsg.) 2013: Neue Energielandschaften – Neue Perspektiven der Landschaftsforschung. Wiesbaden (= RaumFragen: Stadt – Region – Landschaft).
- GÖMANN, H., T. DE WITTE, G. PETER & A. TIETZ 2013: Auswirkungen der Biogaserzeugung auf die Landwirtschaft. Braunschweig (= Thünen Report, 10).
- HERDEN, C., J. RASSMUS & B. GHARADJEDAGHI 2009: Naturschutzfachliche Bewertungsmethoden von Freilandphotovoltaikanlagen. Bonn (= BfN-Skripten, 247).
- HOWARD, D. C. et al. 2013: Energyscapes: Linking the energy system and ecosystem services in real landscapes. In: *Biomass and Bioenergy* 55, S. 17–26.
- IEA (International Energy Agency) 2017: CO₂ emissions from fuel combustion – 2017 highlights. URL: www.webstore.iea.org/co2-emissions-from-fuel-combustion-2017-highlights (letzter Zugriff 23.11.2018).
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 2018: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland. URL: www.ipcc.ch/sr15/pdf (letzter Zugriff 25.01.2019).
- KANDZIORA, M., K. DÖRNHÖFER, N. OPPELT & F. MÜLLER 2014: Detecting land use and land cover changes in northern German agricultural landscapes to assess Ecosystem Service Dynamics. In: *Landscape Online* 35, S. 1–24.
- KLU (Kommission Landwirtschaft beim Umweltbundesamt) 2013: Biogaserzeugung und -nutzung: Ökologische Leitplanken für die Zukunft. Vorschläge der Kommission Landwirtschaft beim Umweltbundesamt (KLU). Dessau-Roßlau.
- KLU 2014: Umweltverträgliche Biogaserzeugung. Empfehlungen der Kommission Landwirtschaft beim Umweltbundesamt (KLU) zur Reform des EEG. Dessau-Roßlau. URL: www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/klu_umweltvertraegliche_biogaserzeugung_juni_2014_2.pdf (letzter Zugriff 23.11.2018).
- KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft) (Hrsg.) 2009: Faustzahlen Biogas. Darmstadt.
- KÜHNE, O. & F. WEBER (Hrsg.) 2018: Bausteine der Energiewende. Wiesbaden.
- KUHWALD, M., K. DÖRNHÖFER, N. OPPELT & R. DUTTMANN 2018: Spatially explicit soil compaction risk assessment of arable soils at regional scale: The SaSCiA-Model. In: *Sustainability* 10, 5 (1618), S. 1–29.
- LANDESREGIERUNG SCHLESWIG-HOLSTEIN 2018: Energiewende – Erneuerbare Energien ausbauen. URL: www.schleswig-holstein.de/DE/Schwerpunkte/Energiewende/energiewende_node.html (letzter Zugriff 23.11.2018).
- LANG, S. & T. BLASCHKE 2007: Landschaftsanalyse mit GIS. Stuttgart.
- LEUSCHNER, C., B. KRAUSE, S. MEYER & M. BARTELS 2014: Strukturwandel im Acker- und Grünland Niedersachsens und Schleswig-Holsteins. In: *Natur und Landschaft* 89, 09/10, S. 386–391.

- LLUR (Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein) (Hrsg.) 2014: Nährstoffe in Gewässern Schleswig-Holsteins. Entwicklung und Bewirtschaftungsziele. Flintbek (= Schriftenreihe LLUR SH – Gewässer, 24).
- LLUR 2018a: Fachinformationssystem LIS-A, Stand 08/2018. Daten zu Windkraftanlagen und Biogasanlagen. Flintbek (Datenbereitstellung auf Anfrage im August 2018).
- LLUR 2018b: Fachinformationssystem LIS-A: Verzeichnis der Biomasseanlagen in Schleswig-Holstein. Flintbek.
- LLUR 2018c: Messdaten des Grundwassermonitorings 2005 und 2015. Flintbek.
- LÜKER-JANS, N., D. SIMMERING & A. OTTE 2017: The impact of biogas plants on regional dynamics of permanent grassland and maize area – The example of Hesse, Germany (2005–2010). In: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 241, S. 24–38.
- LVERMGEO (Landesamt für Vermessung und Geoinformation Schleswig-Holstein) 2018: Digitale Kreis-, Amts- und Gemeindegrenzen – Kommunales Gebiet. Kiel.
- MELUND (Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung des Landes Schleswig-Holstein) (Hrsg.) 2018a: Erneuerbare Energien in Zahlen für Schleswig-Holstein. Versorgungsbeitrag in den Jahren 2006–2016, Ausbauszenarien Strom und Wärme bis zum Jahr 2025, Treibhausgasminderung und wirtschaftliche Effekte, 14. März 2018. Kiel. URL: www.schleswig-holstein.de/DE/Schwerpunkte/Energiewende/Daten/pdf (letzter Zugriff 23.11.2018).
- MELUND (Hrsg.) 2018b: Tabellen und Abbildungen zum Energiewende- und Klimaschutzbericht der Landesregierung. Drucksache 19/818. Energiewende und Klimaschutz in Schleswig-Holstein – Ziele, Maßnahmen und Monitoring 2018 (Bearbeitungsstand 19.06.2018). Kiel. URL: https://schleswig-holstein.de/DE/Schwerpunkte/Energiewende/Daten/_documents/monitoring.html?jsessionid=F920ACFCB28D2CA13415CD96BCD40B2E (letzter Zugriff 23.11.2018).
- MELUND (Hrsg.) 2018c: Pachtpreisspiegel 2016 und 2017 in Schleswig-Holstein. Kiel. URL: www.statistik-nord.de/fileadmin/Dokumente (letzter Zugriff 23.11.2018).
- MELUND (Hrsg.) 2018d: Kabinett verabschiedet neue Landesdüngeverordnung – Gewässer in Schleswig-Holstein werden besser vor Nährstoffeinträgen geschützt. Medieninformation vom 03.07.2018. Kiel. URL: www.schleswig-holstein.de/DE/Landesregierung/V/Presse/PI/PDF/2018 (letzter Zugriff 12.10.2018).
- MELUR (Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein) 2011: Energiepotenzial aus Biomasse und Versorgungsbetrag für das Jahr 2020. Studie des Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume. Kiel.
- MELUR 2012: Empfehlungen zur Optimierung des Maisanbaus in Schleswig-Holstein. Kiel.
- MUNL (Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Landwirtschaft Schleswig-Holstein) 2004: Energie einfach ernten. Energetische Nutzung von Biomasse in Schleswig-Holstein. Kiel.
- OPPELT, N., H. RATHJENS & K. DÖRNHÖFER 2012: Integration of land cover data into the open source model SWAT. In: First Sentinel-2 Preparatory Symposium, held 23–27 April, 2012 at ESRIN, Frascati/Italy. ESA-SP, 707. URL: http://articles.adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-iarticle_query?2012ESASP.707E..52O&data_type=PDF_HIGH&whole_paper=YES&type=PRINTER&filetype=.pdf (letzter Zugriff 12.10.2018).
- PASQUALETTI M. & S. STREMKER 2017: Energy landscapes in a crowded world: A first typology of origins and expressions. In: *Energy Research and Social Science*. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.erss.2017.09.030>.

- PICCHI, P., M. VAN LIEROP, D. GENELETTI & S. STREMKE 2019: Advancing the relationship between renewable energy and ecosystem services for landscape planning and design: A literature review. In: *Ecosystem Services* 35, S. 241–259.
- REINKE, M. & C. KÜHNAU 2017: Die räumliche Steuerung der Energiewende durch die Landschaftsplanung. In: WENDE, W. & U. WALZ (Hrsg.): *Die räumliche Wirkung der Landschaftsplanung. Evaluation, Indikatoren, Trends*. Wiesbaden, S. 133–146.
- RIEDEL, W. 2013: Extremer Landschaftswandel durch agrarische Fehlentwicklungen. Das Beispiel des nördlichen Schleswig-Holstein. In: *Naturschutz und Landschaftsplanung* 45, 1, S. 29–32.
- RIEDEL W. & C. STOLZ 2015: Monotonisierung der Landschaft. Nutzungswandel und Umweltfolgen des Biogasbooms am Beispiel Schleswig-Holsteins. In: *Der kritische Agrarbericht* 23, S. 166–170.
- SCHLESWIG-HOLSTEINISCHER LANDTAG 2016: Bericht der Landesregierung: Energiewende und Klimaschutz in Schleswig-Holstein – Ziele, Maßnahmen und Monitoring 2016. Drucksache 18/4389 vom 06.07.2016. Kiel.
- SCHLESWIG-HOLSTEINISCHER LANDTAG 2018: Bericht der Landesregierung: Energiewende und Klimaschutz in Schleswig-Holstein – Ziele, Maßnahmen und Monitoring 2018. Drucksache 19/818 vom 21.06.2018. Kiel.
- SRU (Sachverständigenrat für Umweltfragen) 1985: *Umweltprobleme der Landwirtschaft*. Stuttgart (Bundestag-Drucksache 10/3613).
- SRU 2011: *Wege zur 100% erneuerbaren Stromversorgung*. Sondergutachten, Januar 2011. Berlin.
- STATISTIKAMT NORD (Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein) 2005a: Statistischer Bericht. Agrarstruktur in Schleswig-Holstein 2003. Ausgewählte Strukturdaten nach Kreisen und Naturräumen. Ergebnisse der Agrarstrukturerhebung 2003. C IV 9/ S1–2003 S. Hamburg.
- STATISTIKAMT NORD 2005b: Statistischer Bericht. Die Viehwirtschaft in Hamburg und Schleswig-Holstein 2003. C III – j/03 S. Hamburg.
- STATISTIKAMT NORD 2009a: Statistische Berichte. Agrarstruktur in Schleswig-Holstein 2007. Betriebsgrößenstruktur, Bodennutzung und Viehhaltung in den Gemeinden. Ergebnisse der Agrarstrukturerhebung 2007. C IV 9-4j/2007, Teil 1, Heft 1 S. Hamburg.
- STATISTIKAMT NORD 2009b: Statistische Berichte. Die Viehwirtschaft in Hamburg und Schleswig-Holstein 2007. C III – j/07. Hamburg.
- STATISTIKAMT NORD 2013a: Statistische Berichte. Naturraum- und Gemeindeergebnisse in Schleswig-Holstein 2010. Ergebnisse der Landwirtschaftszählung 2010. Landwirtschaftliche Fläche je Betrieb in den Naturräumen Schleswig-Holsteins. C IV – LZ 2010 Teil 8: Naturräume und Gemeinden. Hamburg.
- STATISTIKAMT NORD 2013b: Statistische Berichte. Viehhaltung in Hamburg und Schleswig-Holstein 2010. C IV – LZ 2010, Teil 2: Viehhaltung. Hamburg.
- STATISTIKAMT NORD 2016: Statistische Berichte. Die Viehhaltung in Schleswig-Holstein 2013. C IV – ASE 2013, Teil 2: Viehhaltung. Hamburg.
- STATISTIKAMT NORD 2017: Statistische Berichte. Die Bodennutzung in Schleswig-Holstein 2016. Endgültiges Ergebnis der Agrarstrukturerhebung. C IV – ASE 2016, Teil 1: Bodennutzung. Hamburg.
- STATISTIKAMT NORD 2018a: Statistische Berichte. Eigentums- und Pachtverhältnisse in Schleswig-Holstein 2016. Endgültiges Ergebnis der Agrarstrukturerhebung. C IV – ASE 2016 SH, Teil 3: Eigentums- und Pachtverhältnisse. Hamburg.
- STATISTIKAMT NORD 2018b: Statistische Berichte. Die Bodennutzung in Schleswig-Holstein 2017. Endgültiges Ergebnis. C I 1 – j17 SH. Hamburg.

- STATISTIKAMT NORD 2018c: Statistische Berichte. Viehhaltung in Schleswig-Holstein 2016. Endgültiges Ergebnis der Agrarstrukturerhebung, C IV – ASE 2016 SH, Teil 2: Viehhaltung. Hamburg.
- STATISTIKAMT NORD 2018d: Landwirtschaftliche Bodennutzung in Schleswig-Holstein 2018. Statistik informiert..., Nr. 101/2018. Hamburg.
- SVOBODA, N., F. TAUBE, C. KLUSS, H. KAGE, S. OHL, E. HARTUNG & A. HERRMANN 2013: Crop production for biogas and water protection – A trade-off? In: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 177, S. 36–47.
- TAUBE, F., C. HENNING, E. ALBRECHT, T. REINSCH & C. KLUSS 2015: Nährstoffbericht des Landes Schleswig-Holstein. Kiel.
- TAUBE F., J. SCHÜTTE & C. KLUSS 2013: Auswirkungen der Berücksichtigung von Gärresten auf den Anfall organischer Dünger in einer novellierten Düngeverordnung – dargestellt am Beispiel Schleswig-Holstein. In: *Berichte über Landwirtschaft. Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft, Sonderheft* 219.
- TENNET 2018: EEG-Anlagenstammdaten zur Jahresabrechnung 2017 (Stand 10/2018), TenneT TSO GmbH. URL: www.netztransparenz.de/EEG/Anlagenstammdaten (letzter Zugriff 26.11.2018).
- UBA (Umweltbundesamt) 2018a: Umwelt und Landwirtschaft. Daten zur Umwelt – Ausgabe 2018. Dessau-Roßlau. URL: www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen (letzter Zugriff 23.11.2018).
- UBA 2018b: Erneuerbare Energien in Deutschland. Daten zur Entwicklung im Jahr 2017. Hintergrund//März 2018. Dessau-Roßlau.
- WALZ, U. 2011: Landscape Structure, Landscape Metrics and Biodiversity. In: *Living Reviews in Landscape Research* 5, 3, S. 5–35.
- WEBER, F., A. ROSSMEIER, C. JENAL & O. KÜHNE 2017: Landschaftswandel als Konflikt. In: KÜHNE, O., H. MEGERLE & F. WEBER (Hrsg.): *Landschaftsästhetik und Landschaftswandel*. Wiesbaden, S. 215–243.