

# Neue Wege zum landwirtschaftlichen Kernwegenetz? – Erfahrungen aus dem Einsatz neuartiger Planungsgrundlagen im Modellprojekt »Kernwegekonzept NES-Allianz«

Thomas Machl, Wolfgang Ewald, Andreas Donaubauer und Thomas H. Kolbe

## Zusammenfassung

Ein bedarfsgerechtes und funktionsfähiges Verkehrsnetz bildet eine wesentliche Grundlage für die nachhaltige Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit land- und forstwirtschaftlicher Betriebe sowie für den Erhalt lebenswerter, ländlicher Räume. Insbesondere im Bereich der Landwirtschaft haben veränderte Rahmenbedingungen zu einem Wandel der Anforderungen an die landwirtschaftliche Infrastruktur geführt.

Vor diesem Hintergrund beschäftigte sich ein Modul des Forschungsprojekts »LandModell<sup>TUM</sup>« mit der Entwicklung von Methoden und Werkzeugen für ein landesweites Monitoring landwirtschaftlicher Hof-Feld-Transporte. Der hierzu entwickelte Ansatz erlaubt eine performante, weitestgehend automatisierte sowie landesweit flächendeckende Analyse landwirtschaftlicher Hof-Feld-Transportpfade und weist dabei gleichzeitig eine hohe Detailschärfe auf der Ebene von Einzelobjekten auf. Im Modellprojekt »NES-Allianz« werden die Ergebnisse des Analyseprozesses erstmals auf ihren möglichen Nutzen im Zusammenhang mit der Konzeption interkommunaler Kernwegenesysteme untersucht. Dieser Beitrag behandelt einerseits die erzielbare Schätzqualität des entwickelten Werkzeugs und beleuchtet andererseits Potenziale der neuartigen Planungsgrundlagen im Kontext der Konzeption von Kernwegenetzen.

## Summary

*An appropriate and functional transportation network forms an essential basis for the sustainable safeguarding of the competitiveness of agricultural and forestry enterprises as well as for the preservation of liveable, rural areas. In the field of agriculture in particular, changed conditions have led to a change in the requirements for agricultural infrastructure.*

*Against this background, a module of the research project »LandModell<sup>TUM</sup>« deals with the development of methods and tools for a statewide monitoring of agricultural farm-field transportation processes. The developed approach allows a high-performance, largely automated and comprehensive analysis of agricultural farm-field transport paths and at the same time has a high level of detail at the scale of individual objects. In the model project »NES-Allianz«, the results of the analysis were for the first time examined for their potential use in connection with the conception of an intercommunal core road and path system. On the one hand, this article deals with the achievable estimation quality of the developed tool and on the other hand, highlights potentials of the new planning principles in the context of the conception of core transportation network for agriculture.*

**Schlüsselwörter:** Konzeption ländlicher Kernwegenetze, landwirtschaftliche Transportbeziehungen, Erschließungsfläche, Integrierte Ländliche Entwicklung, Geodesign

## 1 Hintergrund

Mit dem strukturellen Wandel in der Landwirtschaft haben sich auch die Ansprüche an das landwirtschaftliche Wegesystem verändert (stellvertretend für viele DWA 2016). Die Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Parzellen erfolgt zunehmend gemarkungs- bzw. gemeindeübergreifend (Soboth 2012, Gutberlet 2012, Meißner 2012, Gockel 2012) sowie vielfach überbetrieblich (Kröhl 2012, Meißner 2012, Gockel 2012, DWA 2016) und mit der Verbreitung von Biogasanlagen sind neue, überregionale Fahrbeziehungen entstanden (DWA 2016). Bedingt durch veränderte Betriebs- und Organisationsstrukturen (BMEL 2015) lässt sich dabei vielerorts eine Zunahme der Fahrdistanzen zwischen Hofstellen und Parzellen beobachten (Lehmigk-Emden 2012, Soboth 2012, Gutberlet 2012, DWA 2016). Gleichzeitig werden im Zuge einer Rationalisierung der Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Parzellen die eingesetzten Maschinen mit zunehmender Leistungsfähigkeit und Schlagkraft vielfach deutlich schwerer, größer und insbesondere im Straßentransport auch schneller (Gutberlet 2012, Machl et al. 2016). Verstärkt halten LKW Einzug in das landwirtschaftliche Transportgeschehen und verdrängen zunehmend klassische Traktor-Anhänger-Transportgespanne (Bernhardt et al. 2005, DWA 2016).

Vielerorts ist das landwirtschaftliche bzw. ländliche Wegenetz nicht (mehr) in der Lage, den veränderten Ansprüchen des landwirtschaftlichen Verkehrs gerecht zu werden (vgl. Soboth 2012). Ein bedarfsgerechtes, funktionsfähiges und leistungsfähiges ländliches Wegesystem ist jedoch eine der grundlegenden Voraussetzungen für eine ökonomisch zukunftsfähige Landbewirtschaftung und zugleich von entscheidender Bedeutung für eine nachhaltige Entwicklung ländlicher Regionen sowie den Erhalt gleichwertiger Lebensbedingungen im ländlichen Raum (DWA 2016); sinnbildlich entspricht das ländliche Wegenetz dem »Gefäßsystem des ländlichen Raums« (Zitat Staatssekretär Dr. Onko Aeikens anlässlich der Wegebautagung 2017 des BMEL). In zahlreichen Bundesländern wurden in den vergangenen Jahren verschiedene Initiativen zur Förderung des Aus- und Aufbaus eines zukunftsorientierten, ländlichen (Kern-)Wegesystems auf

den Weg gebracht (stellvertretend für viele Brunner 2014, Lehmigk-Emden 2012, Akademie für die Ländlichen Räume Schleswig-Holstein e. V. et al. 2008a). Unterhalb der klassifizierten Verkehrswege sollen Kernwege als überregionales, raumfüllendes und durchgängiges Wegenetz in entsprechender Ausbauqualität für eine weitmaschige und gemeindeübergreifende Vernetzung sorgen und dabei multifunktionalen Aspekten (z.B. für Landwirtschaft, Freizeit oder Tourismus) gerecht werden (Soboth 2012, Gutberlet 2012, Meißner 2012, Gockel 2012, Bromma 2014, Lehmigk-Emden 2012, Karmann 2005, DWA 2016). Neben einer Sicherstellung der Erreichbarkeit landwirtschaftlicher Parzellen (Bertling et al. 2015, Gutberlet 2012, DWA 2016) sollen Kernwege zudem zu einer Lenkung des landwirtschaftlichen Verkehrs beitragen (Akademie für die Ländlichen Räume Schleswig-Holstein e. V. et al. 2008a, Soboth 2012, Gutberlet 2012, Lehmigk-Emden 2012, DWA 2016).

Die Ertüchtigung bzw. der Aus- und Aufbau eines überregionalen Kernwegenetzes ist mit hohen Kosten verbunden, weshalb einerseits Schwerpunkte zu setzen und andererseits zeitliche Prioritäten festzulegen sind (Akademie für die Ländlichen Räume Schleswig-Holstein e. V. et al. 2008a, Bromma 2014, Machl et al. 2016). Als mögliche Grundlagen für eine Priorisierung des Ausbaus nennt die Literatur neben dem baulichen Zustand der Wege, der Wegefunktion und verschiedenen naturräumlichen Aspekten insbesondere die Überrollhäufigkeit bzw. die erschlossene Fläche für einzelne Wegsegmente (Akademie für die Ländlichen Räume Schleswig-Holstein e. V. et al. 2008a, Bertling et al. 2015).

Aufgrund der unzureichenden Datenverfügbarkeit hinsichtlich des Wegezustands, der Wegefunktion und der Überrollhäufigkeit bzw. der Erschließungsfläche ist

die Erhebung entsprechender Information in Verfahrensgebieten mit enormem Aufwand verbunden (Akademie für die Ländlichen Räume Schleswig-Holstein e. V. et al. 2008a, Bertling et al. 2015). Transportvolumina auf einzelnen Wegtrassen wurden in der Vergangenheit durch Befragung von Landwirten vor Ort (Akademie für die Ländlichen Räume Schleswig-Holstein e. V. et al. 2008b) oder aber durch Expertenbeurteilung auf Basis der Lage von Betriebsstätten und zugehörigen Parzellen abgeschätzt (Bertling et al. 2015). Die Ergebnisse dieser Erhebung sind dabei nicht immer vollständig objektiv (Akademie für die Ländlichen Räume Schleswig-Holstein e. V. et al. 2008a), zudem bleibt bei ausschließlicher Betrachtung des Projektgebiets zumeist die überregionale Verbindungsfunction einzelner Wegtrassen außer Betracht (Akademie für die Ländlichen Räume Schleswig-Holstein e. V. et al. 2008a, Bertling et al. 2015).

## 2 Neue Ansätze zur Abschätzung der Erschließungsfläche einzelner Wegsegmente

Am Lehrstuhl für Geoinformatik der Technischen Universität München (TUM) erfolgt derzeit im Rahmen des durch die Bayerische Verwaltung für Ländliche Entwicklung geförderten Forschungsprojekts »LandModell<sup>TUM</sup>« die Entwicklung eines raum-zeitlichen Informationsmodells der Agrarlandschaft mit entsprechender Implementierung innerhalb eines Datenbanksystems. Ein zentrales Konzept des Forschungsprojekts besteht in der engen Kopplung des semantischen Modells mit komplexen Analysewerkzeugen. Das semantische Modell bzw. dessen Implementierung im Datenbanksystem nimmt dabei

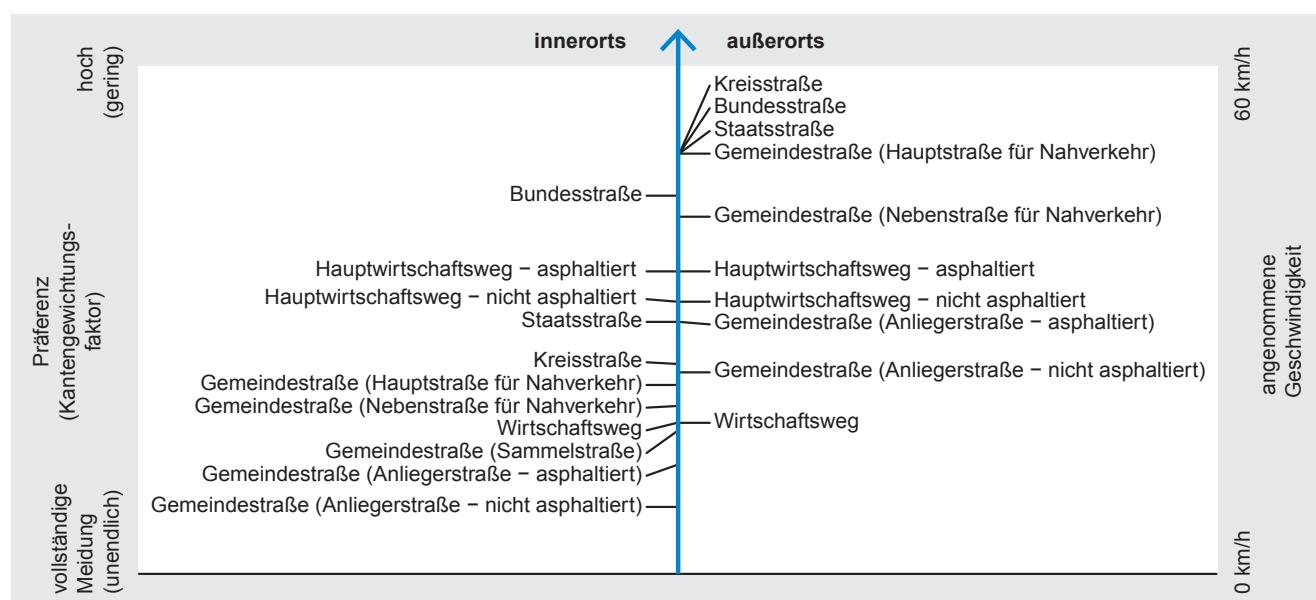


Abb. 1: Präferenzen, Gewichtungsfaktoren und angenommene Geschwindigkeiten für verschiedene Wegekategorien; Angaben zu Widmung, Wegekategorie sowie zum innerörtlichen bzw. außerörtlichen Verlauf entstammen dem genutzten ATKIS-Datensatz.

die Rolle einer interdisziplinären Integrationsplattform ein. Die Werkzeuge stützen sich auf Objekte des Modells, die im Zuge der Analysen erzeugten Ergebnisse fließen im Sinne einer semantischen Anreicherung zurück zu betreffenden Objekten und stehen damit weiterführenden fachübergreifenden Analysen zur Verfügung (vgl. Machl et al. 2015).

Ein Modul des Forschungsprojekts beschäftigt sich mit der Entwicklung von Werkzeugen und Methoden für ein landesweites Monitoring landwirtschaftlicher Transportprozesse. Das in diesem Zusammenhang entwickelte Werkzeug erlaubt eine performante und landesweit flächendeckende Berechnung aller Hof-Feld-Transportpfade und weist dabei gleichzeitig eine hohe Detailschärfe auf Ebene von Einzelobjekten auf.

Als wesentliche Datengrundlage der Analysen dienen dabei neben anonymisierten Daten des Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsysteams (InVeKoS) insbesondere Daten des Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystems (ATKIS). Daten des InVeKoS geben hierbei Aufschluss zur Lage landwirtschaftlicher Parzellen, den darauf angebauten Kulturen sowie zur Lage der jeweils bewirtschaftenden Betriebe (genauer der Adresse des Antragsstellers). Das Verkehrswegenetz des ATKIS bildet ein geometrisches Liniennetzwerk und gibt Auskunft zu unterschiedlichen Eigenschaften einzelner Wegsegmente. Durch Ableitung von Inzidenz- und Adjazenzbeziehungen aus der implizit vorhandenen Netztopologie der ATKIS-Wegsegmente (identische Start- und Endkoordinaten der einzelnen Segmente) wird das Wegenetz in einen Graph bestehend aus Kanten und Knoten überführt. Die einzelnen Wegsegmente nehmen dabei die Rolle der geometrischen Entsprechung von Kanten und die Verbindungsstellen zwischen Wegsegmenten die Rolle der Netzwerknoten ein.

Basierend auf der Lage landwirtschaftlicher Betriebe sowie der jeweils zugehörigen Parzellen erfolgt eine Abschätzung von Transportpfaden unter Minimierung der Kostensumme (Algorithmus nach Dijkstra 1959). Die Kosten für das Befahren eines einzelnen Wegsegments ergeben sich hierbei aus der Segmentlänge und einem für die Wegekategorie spezifischen Gewichtungsfaktor, mit dessen Hilfe die Präferenzen für einzelne Wegearten zum Ausdruck gebracht werden. Die Präferenzen für einzelne Wegekategorien werden dabei in Form von angenommenen Fahrgeschwindigkeiten artikuliert (vgl. Abb. 1). In diesem Sinne entsprechen die Kosten für das Nutzen eines Wegsegments den benötigten Fahrzeiten zur Überquerung von Elementen des Wegenetzes. Die zu minimierende Kostensumme ist damit äquivalent zu den angenommenen Fahrzeiten. Für einzelne Wegekategorien wurden die angenommenen Fahrgeschwindigkeiten voreingestellt und anhand der tatsächlichen Routenwahl der Landwirte (vgl. Kap. 3.1) kalibriert.

Die Abbildung der Ergebnisse erfolgt kleinteilig – Pfade setzen sich aus Einzelsegmenten mit Bezug auf die jeweiligen ATKIS-Objekte zusammen und verfügen zu-

dem über Verweise auf die betreffenden Elemente »Parzelle« und »Betrieb«. Für jede einzelne Parzelle lassen sich dadurch detaillierte Angaben zur Geometrie und Zusammensetzung des geschätzten Pfades zur jeweiligen Hofstelle ableiten. Umgekehrt können durch Aggregation für jede Kante des Netzwerks Informationen zur hierüber erschlossenen landwirtschaftlichen Nutzfläche (im Folgenden als »Erschließungsfläche« bezeichnet) sowie zu den jeweils angebundenen Kulturen abgeleitet werden. Das genaue Vorgehen zur Berechnung der Hof-Feld-Pfade sowie zur Ableitung entsprechender Kennzahlen ist in Machl et al. (2016) erläutert. Im Zuge der Analysen liegt dabei ein großes Augenmerk auf dem Schutz personenbezogener Informationen. Aus diesem Grund werden keinerlei Ergebnisse abgeleitet, welche Rückschlüsse auf Einzelpersonen oder kleine Personengruppen zulassen könnten.

### 3 Vom landesweiten Monitoring zur Konzeption von Kernwegenetzen

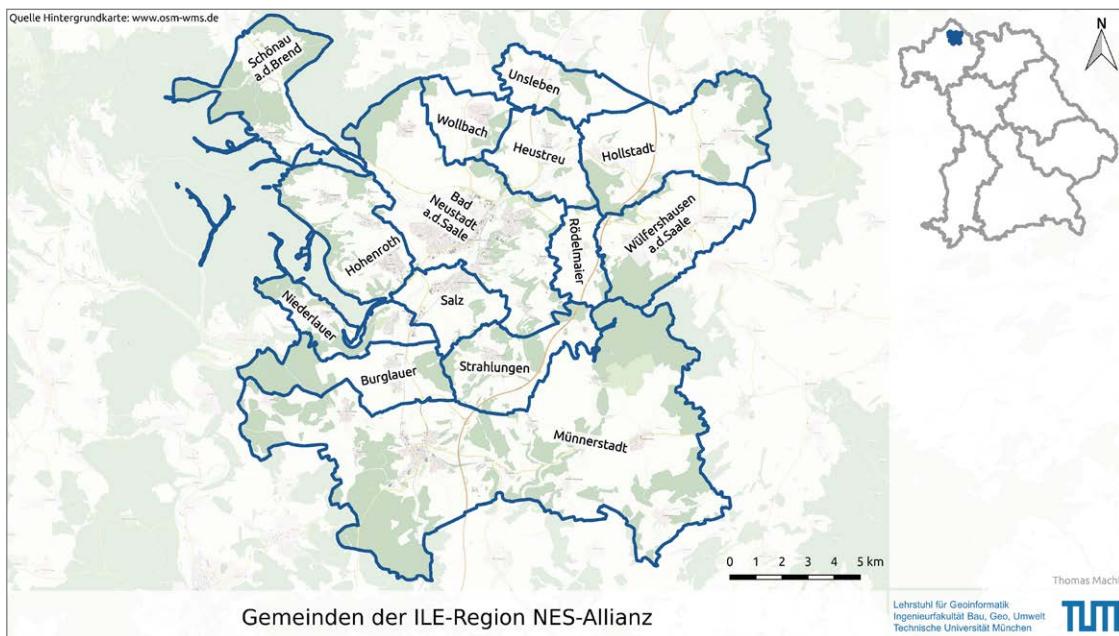
Wie bereits von Machl et al. (2016) dargestellt, werden in Bayern derzeit für Gebiete der Integrierten Ländlichen Entwicklung (ILE) Planungen für Ländliche Kernwegenetze erstellt. Die ILE ist in Bayern auf die Initiierung und Unterstützung der interkommunalen Zusammenarbeit ausgerichtet (Ewald 2013). Im Rahmen des Modellprojekts »Kernwegekonzept NES-Allianz« wurden die Ergebnisse des landesweiten Monitorings erstmals im großmaßstäbigen Bereich auf ihren möglichen Nutzen im Zusammenhang mit der Erstellung eines Kernwegenetzes evaluiert (vgl. Astner 2017). Das Gebiet der NES-Allianz umfasst insgesamt 14 Gemeinden im unterfränkischen Landkreis Rhön-Grabfeld (s. Abb. 2).

Im Fokus des Modellprojekts stehen insbesondere drei zentrale Fragestellungen:

- Wie gut lassen sich tatsächliche Hof-Feld-Transportfahrten durch Algorithmen und wegspezifische Kantengewichtung abbilden? Was sind Gründe für Abweichungen zwischen tatsächlichen und geschätzten Routen?
- Welchen Nutzen bringt die Abschätzung der Erschließungsfläche einzelner Wegsegmente für die Erstellung von Kernwegekonzepten und an welchen Stellen im Planungsprozess können die Ergebnisse hilfreiche Aufschlüsse liefern?
- Wo liegen die Grenzen des neuen Planungsansatzes und was sind mögliche Einschränkungen der gewählten Methode?

#### 3.1 Quantifizierung der Schätzgenauigkeit

Zur Quantifizierung der Schätzgenauigkeit von Einzelpfaden erfolgt ein Abgleich errechneter Pfade mit den



**Abb. 2:**  
Gemeinden der  
ILE NES-All-  
ianz im unter-  
fränkischen  
Landkreis  
Rhön-Grabfeld

tatsächlichen Hof-Feld-Routen mittels Befragung von Landwirten vor Ort (vgl. Astner 2017). Den an der Befragung teilnehmenden Landwirten wurden die errechneten Hof-Feld-Pfade in Form je einer Karte für jedes Feldstück zur Prüfung vorgelegt. Ergaben sich zwischen der tatsächlichen und der geschätzten Route Abweichungen, so wurden diese erfasst und Gründe hierfür festgehalten.

An der Befragung nahmen insgesamt 13 landwirtschaftliche Betriebe und ein Biogasanlagenbetreiber teil. Mit Ausnahme der Biogasanlage wurden für jeden Betrieb die Routen zu mindestens 80 % der Betriebsfläche abgefragt. Die Betriebsfläche bzw. die zuliefernde Fläche bewegte sich dabei in einem Bereich zwischen 20 ha und mehr als 1.000 ha (25 %-Quantil: 78 ha, Median: 122 ha, 75 %-Quantil: 181 ha). Im Rahmen der Befragung wurden insgesamt rund 800 tatsächliche Hof-Feld-Transportpfade mit geschätzten Routen abgeglichen.

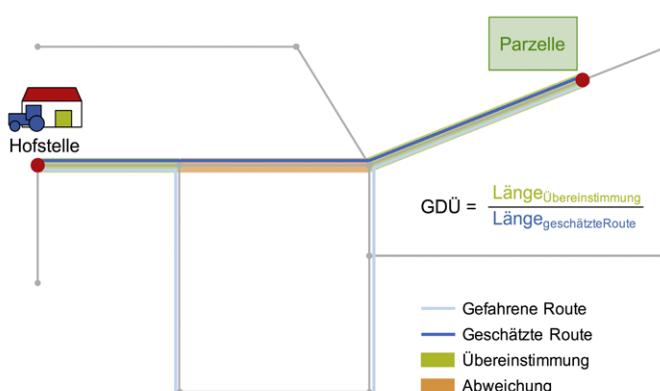
Die Schätzgenauigkeit wurde mit Hilfe des Indikators »Grad der Übereinstimmung« (GDÜ) quantifiziert. Dieser ergibt sich aus dem Anteil der Länge übereinstimmender

Elemente bezogen auf die Gesamtlänge des geschätzten Pfades (s. Abb. 3)

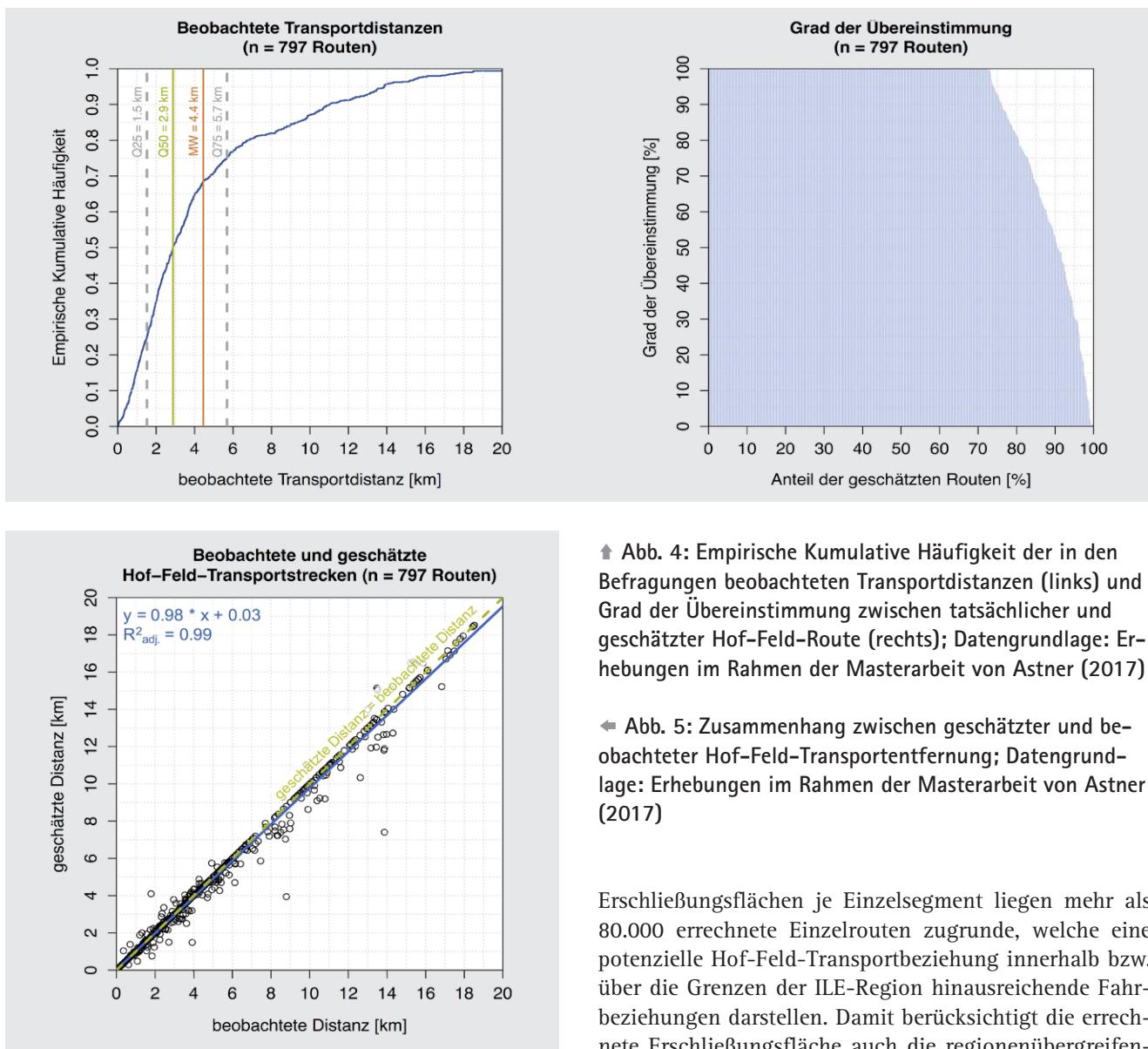
Die Befragung zeigte für 73 % der abgefragten Routen eine vollständige Übereinstimmung, 76 % der geschätzten Pfade weisen einen Übereinstimmungsgrad von mindestens 90 % auf und 80 % der geschätzten Routen stimmen zu mindestens 81 % ihrer Länge mit tatsächlich genutzten Pfaden überein (s. Abb. 4).

Als Hauptursache für Abweichungen zwischen geschätzten und tatsächlichen Routen wurde seitens der Befragten neben dem Meiden von Ortschaften und stark frequentierten Straßen insbesondere die Umfahrung von zu gering dimensionierten Verkehrsbauwerken (Unterführungen oder Brücken), starken Steigungen oder von Wegen mit schlechtem Zustand angeführt (Astner 2017). Mit Ausnahme der Steigung wurden durch Anpassung der wegekategorie-spezifischen Gewichtungsfaktoren Abweichungsursachen bei der Routenabschätzung berücksichtigt. So wurden beispielsweise die Gewichtungsfaktoren für Wege innerhalb von Ortslagen erhöht (Absenkung der Präferenz gegenüber alternativen Wegen) und die Präferenzen für (Haupt-)Wirtschaftswege gegenüber Hauptstraßen (Bundes-, Kreis- und Gemeindestraßen) angehoben. Die Daten des ATKIS-Verkehrswege-Netzes verfügen nur bedingt über Angaben zu Breite, Zustand oder Oberflächenbeschaffenheit, wodurch eine Berücksichtigung dieser Einflussfaktoren bei der Berechnung der Transportpfade erschwert wird. Angaben zur Dimensionierung von Verkehrsbauwerken wie dem Lichtraumprofil von Unterführungen oder der Tragfähigkeit von Brücken fehlen vollständig und sind damit ohne Erhebung vor Ort nicht in der Pfadabschätzung zu berücksichtigen.

Selten führte das Meiden einzelner Abschnitte des Wegenetzes zu größeren Umwegen, was sich am engen linearen Zusammenhang zwischen tatsächlicher und



**Abb. 3:** Quantifizierung der Schätzgenauigkeit über den Indikator Grad der Übereinstimmung (GDÜ)



↑ Abb. 4: Empirische Kumulative Häufigkeit der in den Befragungen beobachteten Transportdistanzen (links) und Grad der Übereinstimmung zwischen tatsächlicher und geschätzter Hof-Feld-Route (rechts); Datengrundlage: Erhebungen im Rahmen der Masterarbeit von Astner (2017)

◀ Abb. 5: Zusammenhang zwischen geschätzter und beobachteter Hof-Feld-Transportentfernung; Datengrundlage: Erhebungen im Rahmen der Masterarbeit von Astner (2017)

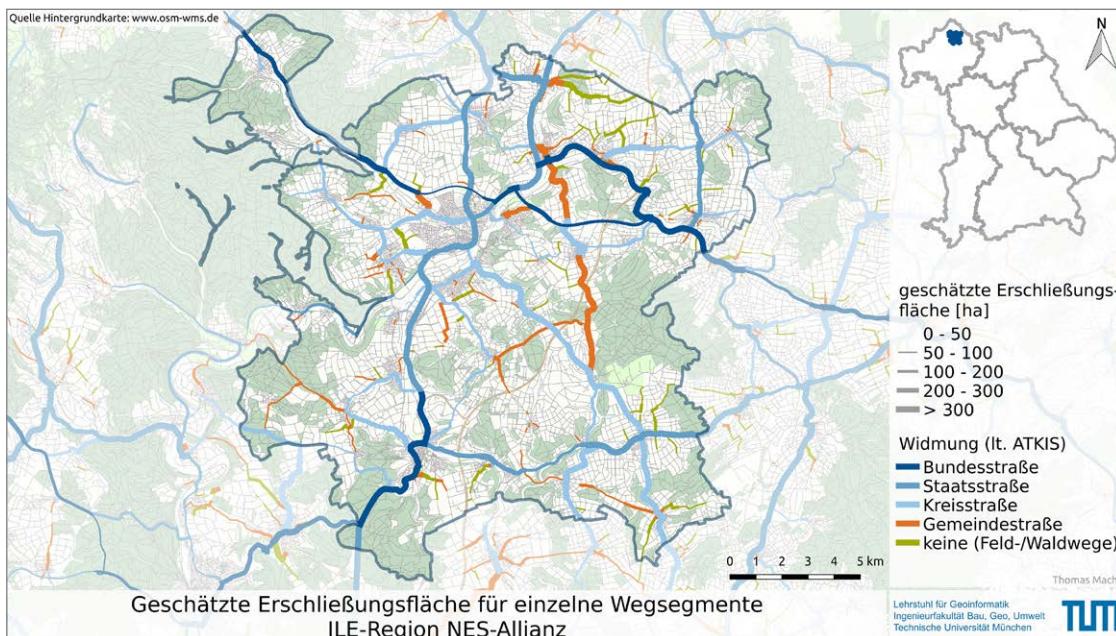
geschätzter Hof-Feld-Transportdistanz widerspiegelt (s. Abb. 5). Größere Abweichungen ergaben sich insbesondere aufgrund extrem schlechter Zustände von Einzelwegen, weshalb teils sehr große Umwege in Kauf genommen wurden – ersichtlich an den Ausreißern in Abb. 5.

### 3.2 Erfahrungen aus dem Einsatz neuartiger Planungsgrundlagen im Zusammenhang mit der Konzeption landwirtschaftlicher Kernwegesysteme

Dem mit der Erstellung eines Kernwegekonzepts beauftragten Planungsbüro (BBV-Landsiedlung Würzburg GmbH) wurden die um Attribute zur geschätzten Erschließungsfläche angereicherten ATKIS-Verkehrswege als zusätzliche Planungsgrundlage sowie zur Entscheidungsunterstützung bereitgestellt (s. Abb. 6). Den geschätzten

Erschließungsflächen je Einzelsegment liegen mehr als 80.000 errechnete Einzelrouten zugrunde, welche eine potenzielle Hof-Feld-Transportbeziehung innerhalb bzw. über die Grenzen der ILE-Region hinausreichende Fahrbeziehungen darstellen. Damit berücksichtigt die errechnete Erschließungsfläche auch die regionenübergreifende Verbindungsfunction einzelner Wegsegmente. Neben den reinen Hof-Feld-Fahrbeziehungen sind in den Berechnungen zusätzlich auch die Transportbeziehungen zwischen landwirtschaftlichen Parzellen und den vier größeren Biogasanlagen im Umfeld der ILE-Region berücksichtigt.

Nach Einschätzung des beauftragten Planungsbüros liefert die Information zur geschätzten Erschließungsfläche einzelner Elemente des Wegesystems für die Vorplanung eine wesentliche, objektive Grundlage zur Erkennung und Selektion von Haupt- und Nebenachsen des Verkehrsnetzes. Dies erlaubt eine gezieltere Begutachtung einzelner Wegtrassen im Zuge der Vor-Ort-Begutachtung. Zudem bietet die geschätzte Erschließungsfläche als Indikator eine neutrale Argumentationsgrundlage bei Vor-Ort-Terminen mit den Planungsbeteiligten. Darüber hinaus erleichtert die überregionale Betrachtung der Erschließungsfunction einzelner Wegsegmente die Detektion von Anschlussstellen zu Wegenetzen angrenzender Regionen und damit den Aufbau eines durchgängigen, geschlossenen und damit konsistenten Kernwegenetzes.



**Abb. 6:**  
Aus Hof-Feld-Transportpfaden abgeleitete Erschließungsfläche einzelner Wegsegmente

Als Indikator für die Bedeutung einzelner Segmente im Gesamtwegenetz kann die Erschließungsfläche – natürlich gemeinsam mit anderen Informationen – zusätzlich eine wesentliche Grundlage für die Priorisierung des Ausbaus einzelner Teilabschnitte liefern.

Dabei erleichtert der gemeinsame Bezug auf stabile Referenzobjekte (= Elemente des ATKIS-Wegenetzes) über den gesamten Planungsprozess hinweg eine interdisziplinäre Betrachtung des Wegsystems und damit die kooperative Erarbeitung des Kernwegekonzepts. Vor diesem Hintergrund werden im Modellprojekt bereits planungsrelevante und im Zuge der Kernwegekonzeption erfasste Angaben im Sinne einer semantischen Anreichung der Netzwerkelemente mit Bezug auf Einzelsegmente gespeichert.

Neben einer Abschätzung der Ist-Situation erlaubt das entwickelte Werkzeug zudem die Durchführung von Was-wäre-wenn-Analysen im Sinne einer Szenarienbildung. Wege, welche gemäß der Planung zu einem Kern- bzw. Hauptwirtschaftsweg ausgebaut werden sollen, können im digitalen Abbild der Realität durch eine Erhöhung der Präferenz bzw. die Verringerung der Kantengewichte virtuell ertüchtigt werden und anschließend können – ceteris paribus – die Effekte auf die Erschließungsfläche einzelner Wegsegmente abgeschätzt werden. Veränderungen der Erschließungsfläche einzelner Wegsegmente lassen sich – auch über das Planungsgebiet hinausreichend – bereits in einer frühen Planungsphase abschätzen und mit Planungsbeteiligten diskutieren. Mit der Analyse des erarbeiteten Kernwegekonzepts steht der Verwaltungsseite schließlich eine objektive Möglichkeit zur Evaluierung der Planungsergebnisse zur Verfügung.

#### 4 Diskussion des neuen Ansatzes

Der vorgeschlagene Ansatz zur Abschätzung der Erschließungsfläche aus Hof-Feld-Transportrouten stützt sich auf tatsächlich vorherrschende Transportbeziehungen zwischen Hofstelle und Parzellen und bezieht dabei die überregionale Verbindungsfunktion einzelner Wegsegmente mit ein. Der hohe Grad der Übereinstimmung zwischen tatsächlichen und geschätzten Hof-Feld-Pfaden lässt für den Indikator »Erschließungsfläche« eine realitätsnahe Abbildung der über die jeweiligen Wegsegmente erschlossenen Fläche annehmen.

Hof-Feld-Transportbeziehungen unterliegen jedoch aufgrund von steigender bzw. anhaltend hoher Flächenpacht (Pachtquote BRD: 60 % (BMEL 2015); Pachtquote BY: 48 % (BayStMELF 2016)), dem häufig damit verbundenen Wechsel der Pachtverhältnisse, Veränderungen der landwirtschaftlichen Produktionsrichtung oder dem Wegfall von Betrieben bzw. dem damit einhergehenden Betriebsgrößenwachstum einer nicht zu vernachlässigenden zeitlichen Veränderung, was die langfristige Gültigkeit der geschätzten Erschließungsfläche aus Hof-Feld-Transportbeziehungen beeinflusst und eine Prognose erschwert (vgl. Akademie für die Ländlichen Räume Schleswig-Holstein e.V. et al. 2008a). Aufgrund der Datenverfügbarkeit wird als Lage der Hofstelle die Adresse des Antragstellers laut InVeKoS angenommen, was in Einzelfällen zu ungenauen oder beispielsweise im Falle von Aussiedlerhöfen oder dem Vorhandensein von mehreren Hofstellen je Betrieb zu einer fehlerhaften Einschätzung der Erschließungsfläche führen kann. Diese Einschränkung könnte allerdings innerhalb von Planungsgebieten durch Abgleich der Betriebsstandorte mittels Befragung der Landwirte vor Ort behoben werden. Im derzeitigen Ausbauzustand werden bei der Abschätzung der Erschließungsfläche ausschließlich Hof-Feld-Trans-

portbeziehungen betrachtet. Fahrten zwischen Parzellen sowie die An- bzw. Abfahrt von Fahrzeugen bei überbetrieblichem Maschineneinsatz sind im Modell mangels Verfügbarkeit entsprechender Daten derzeit (noch) unberücksichtigt.

## 5 Fazit

Das im Zuge des Forschungsprojekts LandModell<sup>TUM</sup> entwickelte Werkzeug zur Abschätzung landwirtschaftlicher Transportpfade liefert durch eine für die Wegekategorie spezifische Kantengewichtung eine sehr realitätsnahe Abschätzung landwirtschaftlicher Hof-Feld-Transportrouten. Durch Befragung von Landwirten vor Ort konnten Ursachen für Schätzabweichungen benannt, größtenteils formalisiert und durch entsprechende Anpassung der Kantengewichte für die verschiedenen Wegekategorien zur Verbesserung der Schätzgenauigkeit genutzt werden. Innerhalb der ILE-Region »NES-Allianz« zeigt sich die Steigung von Verkehrswegen als wesentliche, bislang in den Berechnungen unberücksichtigte Ursache für das Meiden einzelner Wegsegmente. Die Berücksichtigung von Steigungen innerhalb der Routenabschätzung erfordert entweder eine vollständig dreidimensionale Abbildung der Verkehrswege oder aber eine Erfassung von aufgrund der Steigung nicht befahrbarer Segmente. Gleicher gilt für zu gering dimensionierte Wege oder Straßenbauwerke wie Brücken oder Unterführungen. An dieser Stelle sind in der Planung zusätzliche Informationen mit Verweis auf die entsprechenden ATKIS-Objekte zu erheben und entsprechend in die Routenberechnung miteinzubeziehen.

Für die Konzeption von Kernwegesystemen liefert die Erschließungsfläche als Indikator für die Erschließungsfunktion einzelner Wegsegmente eine wesentliche Grundlage zur Selektion von Haupt- und Nebenachsen des ländlichen Wegesystems und gibt zudem Hinweise auf die erforderliche bedarfsgerechte Dimensionierung sowie eine zeitliche Priorisierung des Ausbaus einzelner Wegabschnitte. Innerhalb von Projektgebieten sind die erschlossene Fläche einzelner Wegsegmente sowie die darauf stattfindenden Transportströme zumeist unbekannt und mussten in der Vergangenheit durch sehr aufwendige und nicht immer vollständig objektive Befragungen vor Ort erhoben bzw. durch Expertenschätzung quantifiziert werden (Akademie für die Ländlichen Räume Schleswig-Holstein e.V. et al. 2008a, Bertling et al. 2015). Die überregionale Bedeutung einzelner Wegsegmente für landwirtschaftliche Transporte konnte dabei bislang meist nicht oder nur eingeschränkt berücksichtigt werden.

Der vorgestellte neue Ansatz zur Abschätzung der Erschließungsfläche einzelner Wegsegmente aus Hof-Feld-Transportpfaden liefert erstmals sehr schnell, objektiv und weitestgehend automatisiert detaillierte Informa-

tionen zu Routen landwirtschaftlicher Transporte sowie zur erschlossenen Fläche einzelner Wegsegmente. Die gewählte Methode berücksichtigt hierbei sowohl regionale als auch überregionale Transportbeziehungen zwischen landwirtschaftlichen Parzellen und Hofstellen als auch zwischen landwirtschaftlichen Flächen und Biogasanlagen als zentrale Sammelstellen. Für die ILE-Region »NES-Allianz« zeigen insbesondere die lokalen Biogasanlagen deutliche Effekte auf die überregionale Erschließungsfunktion einzelner Wegsegmente, weshalb diese unbedingt in den Schätzungen zu berücksichtigen sind.

Neben Angaben zur absolut erschlossenen Fläche erlaubt der gewählte Ansatz für jedes Wegsegment zudem detaillierte Angaben zum Umfang der hierüber erschlossenen Kulturarten. Künftig könnte hieraus, wie auch bereits in Meißner (2012) oder Akademie für die Ländlichen Räume Schleswig-Holstein e.V. et al. (2008a) gefordert, zusätzlich eine jahreszeitliche Betrachtung der Frequenzierung und Belastung durch landwirtschaftliche Transportströme abgeleitet werden.

Alle im Zusammenhang mit der Konzeption erhobenen bzw. berechneten Informationen werden im Sinne einer semantischen Anreicherung der entsprechenden Objekte mit Bezug auf diese gespeichert. Der gemeinsame Bezug auf stabile Objekte erleichtert im Modellprojekt die interdisziplinäre Betrachtung des Wegesystems und damit den kooperativen Planungsprozess.

Neben der Bereitstellung eines Lagebildes zur Verkehrsbedeutung einzelner Wegsegmente – beispielsweise zur Erkennung von Haupt- und Nebenachsen landwirtschaftlicher Verkehrsströme oder aber zur zeitlichen Priorisierung des Wegeausbaus – erlaubt der entwickelte Ansatz zudem die Analyse und den Vergleich von Planungsalternativen unter ceteris-paribus-Bedingungen. Im Sinne eines Geodesign-Prozesses (vgl. Steinitz 2012) lassen sich Wege in einem digitalen Abbild der Realität virtuell ertüchtigen, wodurch die Effekte eines Aus- oder Rückbaus von Wegen auf die Lenkung der landwirtschaftlichen Transportströme bereits in einer frühen Planungsphase abgeschätzt, sichtbar gemacht und auf objektiver Grundlage diskutiert werden können. Die Veränderung der Erschließungsfläche einzelner Wegsegmente oder die Effekte der Planung auf regionale Transportentferungen sind dabei nur zwei Aspekte einer breiten Palette an Indikatoren. Neben den beiden genannten Indikatoren könnten in Zukunft weitere ökonomische, ökologische und gesellschaftlich-kulturelle Aspekte zur Bewertung und Gegenüberstellung von Planungsalternativen herangezogen werden. Beispielhaft seien an dieser Stelle Ausbaukosten, Kompensationsbedarfe, Flächeninanspruchnahme, potenzielle Nutzungskonflikte (Freizeit/Landwirtschaft) oder aber die Effekte auf den Wasserabfluss über begleitende Wegseitengräben angeführt. Der gemeinsame Bezug der Analysewerkzeuge unterschiedlicher Fachbereiche auf identische stabile Elemente des Informationsmodells und die semantische Anreicherung der betreffenden Objekte erleichtert dabei eine umfassende,

interdisziplinäre Evaluierung und Gegenüberstellung unterschiedlicher Planungsalternativen auf Ebene von Einzelobjekten des digitalen Abbilds der Realität.

## Dank

Die Autoren danken den Landwirten, Bürgermeistern sowie den Mitarbeitern der beteiligten Gemeinden und Verwaltungsgemeinschaften innerhalb der ILE-Region »NES-Allianz« für die tatkräftige Unterstützung des Modellprojekts. Namentlich bedanken möchten wir uns bei Christina Astner (Masterstudentin TUM), Stephanie Reß und Steffen Moninger (BBV Landsiedlung GmbH) sowie bei Robert Bromma und Jürgen Eisentraut (Amt für Ländliche Entwicklung Unterfranken).

Die Finanzierung des Forschungsprojekts LandModell<sup>TUM</sup> erfolgt durch die Bayerische Verwaltung für Ländliche Entwicklung.

## Literatur

- Akademie für die Ländlichen Räume Schleswig-Holstein e.V., Bauerverband Schleswig-Holstein e.V., Schleswig-Holsteiner Gemeindetag (2008a): Wege mit Aussichten – Studie zur Zukunftsfähigkeit des ländlichen Wegenetzes in Schleswig-Holstein (Teil A: Abschlussbericht).
- Akademie für die Ländlichen Räume Schleswig-Holstein e.V., Bauerverband Schleswig-Holstein e.V., Schleswig-Holsteiner Gemeindetag (2008b): Wege mit Aussichten – Studie zur Zukunftsfähigkeit des ländlichen Wegenetzes in Schleswig-Holstein (Teil B: Untersuchung der Beispielgemeinden).
- Astner, C. (2017): Untersuchung eines neuen Planungsansatzes zur Konzeption überregionaler Kernwegenetze für die Landwirtschaft. Masterarbeit. Technische Universität München, Lehrstuhl für Geoinformatik.
- BayStMELF – Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (2016): Bayerischer Agrarbericht 2016 – Pachtverhältnisse. [www.agrarbericht-2016.bayern.de/landwirtschaft-laendliche-entwicklung/pachtverhaeltnisse.html](http://www.agrarbericht-2016.bayern.de/landwirtschaft-laendliche-entwicklung/pachtverhaeltnisse.html), letzter Zugriff 19.01.2018.
- Bernhardt, H., Fröba, N., Knechtges, H., Kühlbach, K. (2005): Landwirtschaftliche Transporte und Entwicklungstendenzen. In: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL, Hrsg.): Landwirtschaftliche Wege. KTB-Schrift 443, S. 9–18.
- Bertling, H., Kriese, H., Lützkemeier, H. (2015): Neue Planungsansätze im ländlichen Wegebau. In: zfv – Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, Heft 5/2015, 140. Jg., S. 320–326.
- BMEL – Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2015): Agrarpolitischer Bericht der Bundesregierung 2015. [www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/Agrarbericht2015.pdf](http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/Agrarbericht2015.pdf), letzter Zugriff 19.01.2018.
- Bromma, R. (2014): Konzeption und Umsetzung eines ländlichen Kernwegenetzes in der Allianz »Fränkischer Süden«. In: Mitteilungen des DVW-Bayern e.V., Heft 4/2014, 66. Jg., S. 379–389.
- Brunner, H. (2014): Vielfalt erhalten, Zukunft gestalten – Der Bayerische Weg in der Land- und Forstwirtschaft. Regierungserklärung am 1. Juli 2014.
- Dijkstra, E.W. (1959): A note on two problems in connexion with graphs. In: Numerische Mathematik 1, Heft 1, S. 269–271.
- DWA – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (2016): Richtlinien für den Ländlichen Wegebau (RLW) – Teil 1: Richtlinien für die Anlage und Dimensionierung ländlicher Wege. DWA-Regelwerk, Arbeitsblatt DWA-A 904-1.
- Ewald, W.G. (2013): Dörfer vitalisieren durch Bündeln, Entflechten und Flexibilisieren – Wie können die Erfahrungen und Ideen der interkommunalen Zusammenarbeit auf Dorf-Stadt-Partnerschaften übertragen werden? In: Arbeitsgemeinschaft der Akademien Ländlicher Raum in den deutschen Ländern (Arge Ländlicher Raum): Kleine Städte und Dörfer: Schrumpfung in ländlichen Räumen für Kooperationen und Vitalisierung nutzen?! Dokumentation der Veranstaltung im Rahmen des »Zukunftsforums Ländliche Entwicklung« am 24. Januar 2013 in Berlin, S. 21–25.
- Gockel, R. (2012): Zukunftsfähige ländliche Infrastruktur – Welche Hilfen benötigt die Landwirtschaft? In: DLKG (Hrsg.): Wege in die Zukunft! – Neue Anforderungen an ländliche Infrastrukturen. Schriftenreihe der DLKG, Heft 9/2012, S. 31–37.
- Gutberlet, M. (2012): Ansprüche an Qualität und Ausbaustandards zukunftsorientierter Wegenetze. In: DLKG (Hrsg.): Wege in die Zukunft! – Neue Anforderungen an ländliche Infrastrukturen. Schriftenreihe der DLKG, Heft 9/2012, S. 53–58.
- Karmann, H. (2005): Planungsspektrum bei der Anlage ländlicher Straßen und Wege. In: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL, Hrsg.): Landwirtschaftliche Wege. KTB-Schrift 443, S. 39–50.
- Kröhl, M. (2012): Anforderungen des Flottenmanagements für Lohnunternehmen und überbetrieblichen Maschineneinsatz in der Landwirtschaft – Was müssen ländliche Wegenetze in der Zukunft leisten? In: DLKG (Hrsg.): Wege in die Zukunft! – Neue Anforderungen an ländliche Infrastrukturen. Schriftenreihe der DLKG, Heft 9/2012, S. 89–101.
- Lehmigk-Emden, J. (2012): Landesweiter Entwurf eines zukunftsorientierten Verbindungswegenetzes – Wie geht Rheinland-Pfalz vor? In: DLKG (Hrsg.): Wege in die Zukunft! – Neue Anforderungen an ländliche Infrastrukturen. Schriftenreihe der DLKG, Heft 9/2012, S. 151–155.
- Machl, T., Donaubauer, A., Kolbe, T.H. (2015): LandModell = CityGML für die Agrarlandschaft? In: Kolbe, T.H., Bill, R., Donaubauer, A. (Hrsg.): Geoinformationssysteme 2015 – Beiträge zur 2. Münchener GI-Runde. Wichmann Verlag im VDE Verlag, Berlin und Offenbach, CD-Rom. <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1241299/309563.pdf>, letzter Zugriff 11.01.2018.
- Machl, T., Ewald, W.G., Donaubauer, A., Kolbe, T.H. (2016): Entwicklung eines Werkzeugs zur landesweit flächendeckenden Analyse landwirtschaftlicher Transportbeziehungen in Bayern. In: zfv – Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, Heft 3/2016, 141. Jg., S. 197–205.
- Meißner, H.-D. (2012): Welche Ausbaustandards werden ländliche Wege der Zukunft haben? – Wichtige Eckwerte aus der Überarbeitung der Richtlinien für den ländlichen Wegebau (RLW). In: DLKG (Hrsg.): Wege in die Zukunft! – Neue Anforderungen an ländliche Infrastrukturen. Schriftenreihe der DLKG, Heft 9/2012, S. 119–131.
- Soboth, A. (2012): Notwendigkeiten und Möglichkeiten von Kooperationen gemeindeübergreifender Wegenetze. In: DLKG (Hrsg.): Wege in die Zukunft! – Neue Anforderungen an ländliche Infrastrukturen. Schriftenreihe der DLKG, Heft 9/2012, S. 39–44.
- Steinitz, C. (2012): A Framework for Geodesign – Changing Geography by Design. Esri Press, Redlands.

## Kontakt

Thomas Machl, M.Sc. | Dr.-Ing. Andreas Donaubauer | Prof. Dr. rer. nat. Thomas H. Kolbe  
Technische Universität München, Lehrstuhl für Geoinformatik  
Arcisstraße 21, 80333 München  
thomas.machl@tum.de | andreas.donaubauer@tum.de | thomas.kolbe@tum.de

Dipl.-Ing. Wolfgang Günther Ewald  
Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Bayerische Verwaltung für Ländliche Entwicklung  
Ludwigstraße 2, 80539 München  
wolfgang-guenther.ewald@stmelf.bayern.de

Dieser Beitrag ist auch digital verfügbar unter [www.geodaeis.info](http://www.geodaeis.info).