

# **27. HÜLSENBERGER GESPRÄCHE 2018**

**Landwirtschaft und Digitalisierung**

**H. WILHELM SCHAUMANN STIFTUNG**



## Landwirtschaft und Digitalisierung

### Inhaltsverzeichnis

Begrüßung.....	W. WEISTHOFF	7
Digitale Landwirtschaft – Welcher Weg ist vorgezeichnet?.....	A. WALTER	10
Diskussion		
Das Netz der Netze – Und seine Bedeutung für die Digitale Landwirtschaft.....	G. P. FETTWEIS, N. FRANCHI	21
Diskussion		
Landtechnikentwicklung im Digitalisierungshype – „Evolutionär oder Disruptiv?“.....	T. HERLITZIUS	30
Diskussion		
Robotik im Ackerbau.....	J. HERTZBERG	44
Diskussion		
Digital Farming Solutions for Every Farm.....	R. CHUA	57
Diskussion		
Digitalisierung von Stoffströmen in der Tierhaltung.....	E. HARTUNG	60
Diskussion		
Real-time monitoring of animals – Precision Livestock Farming.....	D. BERCKMANS	70
Diskussion		
Digitalisierung des Stalles – aktueller Stand und Perspektiven.....	W. BÜSCHER	79
Diskussion		

Innovationstrend „Smart Farming“ aus Sicht von Landtechnikherstellern. . . . .	P. PICKEL	89
Diskussion		
Digitale semantische Modelle der Kulturlandschaft zur fachübergreifenden Informationsintegration . . . . .	T. H. KOLBE	104
Diskussion		
Methoden und Potenziale der Datenverarbeitung – Umsetzungsstrategien in Pflanzenbau, Pflanzenernährung und Pflanzenzüchtung. . . . .	K. PILLEN	121
Diskussion		
Methoden und Potenziale der Datenverarbeitung – Umsetzungsstrategien Tierhaltung, Tierernährung und Tierzüchtung. . . . .	K.-U. GÖTZ, J. DUDA	132
Diskussion		
Rechtliche Herausforderungen der Digitalisierung der Landwirtschaft – am Beispiel des Dateneigentums und -schutz . . . . .	J. MARTÍNEZ	143
Diskussion		
Exemplarische betriebswirtschaftliche Auswirkungen der Digitalisierung in der Landwirtschaft und im Agribusines. . . . .	E. BAHRS	161
Diskussion		
Zusammenfassung . . . . .	G. BREVES	170
Schlusswort. . . . .	E. KALM	174
Referenten der HÜLSENBERGER GESPRÄCHE 2018. . . . .		176
Teilnehmer der HÜLSENBERGER GESPRÄCHE 2018 . . . . .		179
Hülsenberger Gespräche von 1965 bis 2018 . . . . .		185

# Digitale semantische Modelle der Kulturlandschaft zur fachübergreifenden Informationsintegration



## Einleitung

Die Digitalisierung in der Landwirtschaft produziert in rasch zunehmender Weise Daten aus der und über die landwirtschaftliche Umgebung. Diese Daten entstammen Beobachtungen stationärer und mobiler Sensoren sowie der Fernerkundung mittels Satelliten und Drohnen (UAVs). Beispielsweise liefern an Nutztieren angebrachte Sensoren kontinuierlich Informationen über ihre Aktivitäten, Aufenthaltsorte und das Wohlbefinden. Sensoren an Landmaschinen liefern Daten über Betriebszustände, Aufenthaltsorte und Trajektorien sowie die auf den Feldern erzielte Erträge. Im Boden eingebrachte Sensoren liefern Daten über Nährstoffgehalte, Feuchtigkeit, Boden-pH-Wert und andere Bodenqualitätswerte. Daneben stehen zunehmend Daten über die Kulturlandschaft sowie die landwirtschaftlichen Betriebe in verschiedenen räumlichen Skalenebenen zur Verfügung. Diese Daten beschreiben die Ausdehnung und die Art räumlicher Objekte wie Feldstücke bis hinunter zu Teilschlägen sowie Wegenetze und Gebäude. Gebäudedaten können auch die Innenräume landwirtschaftlicher Betriebsgebäude (z.B. Ställe und ihre Einrichtungen) einschließen.

Landwirtschaftliche Daten sind typischerweise spezifisch für bestimmte Fachrichtungen und stehen bisher meist „lose nebeneinander“. Zum Beispiel werden Daten über ökologische, wirtschaftliche, logistische, produktive und produktionstechnische Aspekte in der Regel separat erfasst – typischerweise von den jeweiligen Fachdisziplinen mit ihren spezifi-

schen Methoden. Eine umfassende Betrachtung und die Entwicklung eines besseren Verständnisses des komplexen Systems „Landwirtschaft“ erfordert jedoch die Betrachtung und Analyse von Daten und den daraus abgeleiteten Informationen über mehrere Aspekte gleichzeitig. Eine fachübergreifende Integration digitaler Daten der Landwirtschaft ist ein wichtiges Element für die Realisierung der Zusammenarbeit verschiedener Disziplinen in der Landwirtschaft. Sie bringt substantielle Mehrwerte, da bei Analysen – aber auch Planungen – in einer Fachdisziplin (z.B. Verbesserung der ökologischen Situation in einer bestimmten Region) unmittelbar die Anforderungen an und Auswirkungen auf andere Disziplinen (wie z.B. Produktion, Mobilität, Energie) berücksichtigt werden können. Damit werden multikriterielle Entscheidungsunterstützungen möglich, bei der gleichzeitig nach produktiven, ökologischen und ökonomischen Kriterien optimiert wird.

Allerdings ist die gemeinsame Nutzung und Datenintegration schwierig, da die Beziehungen einzelner Datenelemente zueinander oftmals undefiniert sind. Es fehlen Bezüge zu gemeinsamen Referenzobjekten im Sinne eines „gemeinsamen Nenners“. Selbst wenn verschiedene Sensormessungen über eine Sensordatenplattform integriert gespeichert und verwaltet werden, so handelt es sich in erster Linie um eine rein technische Integration, eine inhaltliche Integration verschiedener Aspekte ist damit nicht automatisch erreicht. So kann ein Datensatz die gemessene Bodenqualität durch verteilte Sensoren im Boden re-

präsentieren und ein anderer die Bodenfestigkeiten, die manuell aus Stichproben gewonnen wurde. Beide Beobachtungen haben zunächst nichts miteinander zu tun und es stellt sich die Frage, wie die Beobachtungen (und weitere Daten über das Gebiet) in Bezug gesetzt werden können.

Hier kommen die Methoden der Geoinformatik ins Spiel, der Teildisziplin der Informatik, die sich mit der Modellierung, Erfassung, Verarbeitung, Analyse und Präsentation raumbezogener und raumzeitlicher Daten und Phänome befasst (de Lange, 2013). Bei näherer Betrachtung lässt sich feststellen, dass die meisten Daten entweder einen unmittelbaren Raumbezug (über Koordinaten wie sie z.B. durch GNSS-Messungen, Vermessung oder Photogrammetrie bestimmt werden) oder einen indirekten Raumbezug besitzen. In letzterem Fall stehen sie in Bezug zu räumlichen Objekten, die ihrerseits wiederum einen direkten oder indirekten Raumbezug besitzen.

Wenn nun die räumlichen Objekte so definiert werden, dass sie die wesentlichen Dinge der physischen Realität abbilden, dann können Daten der landwirtschaftlichen Fachdisziplinen diesen Objekten zugeordnet werden. Unter Verwendung von Konzepten der objektorientierten Datenmodellierung (siehe Oesterreich & Scheithauer 2013) werden Objekte gleicher Art dabei zu Klassen zusammengefasst. Eine Klasse beschreibt nicht nur den Typ eines Objekts sondern definiert auch die relevanten Eigenschaften (Attribute). Grundsätzliche räumliche und logische Beziehungen zwischen Objekten verschiedener Klassen werden ebenfalls modelliert. Objektklassen werden nun so definiert, dass sie a) für das Anwendungsgebiet relevant sind, b) eine klare Bedeutung (Semantik) hinsichtlich der realen Welt besitzen und c) einzelne Objektinstanzen klar voneinander diskriminiert werden können. Beispielsweise spielen Feldstücke in der Landwirtschaft in mehrererlei Hinsicht eine wichtige Rolle: sie definieren i.d.R. Eigentumsgrenzen und werden darüber voneinander abgegrenzt; ein Feldstück lässt sich klar einem Eigentümer zuordnen; innerhalb eines Feldstücks wird in vielen Fällen homogen eine Fruchtart angebaut; die Bewirtschaftung

eines Feldstücks erfolgt dementsprechend in einem Arbeitsgang.

Alle Objekte erhalten (weltweit) eindeutige Identifikatoren, über die sie exakt adressiert und jederzeit in Datenbanken wiedergefunden werden können. Wenn nun in der physischen Realität weitergehende Daten zu einem Feldstück existieren, können diese dem entsprechenden Objekt über den Identifikator eindeutig zugeordnet werden. Dabei können diese Fachdaten separat von den Objekten gehalten werden. Dies gilt auch für Sensoren, die in dem Feldstück verbaut sind, sowie mittels Fernerkundung für das Feldstück gewonnene Beobachtungen. Die Objekte, die Elemente der realen Welt repräsentieren, spielen nun die Rolle des „gemeinsamen Nenners“, weil Daten einer Fachdisziplin (z.B. ökologische Parameter eines Feldstücks) mit den Daten oder Sensoren anderer Fachdisziplinen (z.B. Informationen über die Art der Bewirtschaftung des Feldstücks) jederzeit über den selben Identifikator aufeinander bezogen werden können. Um die wesentlichen fachlichen Informationen zuordnen zu können, wird eine umfassende Modellierung der relevanten Objekte der Kulturlandschaft benötigt. An der TU München wurde dies im Rahmen eines Forschungsprojekts für die Kulturlandschaft in Bayern gemacht.

### **LandModell<sup>TUM</sup> – Ein semantisches Modell der Kulturlandschaft**

In einem vom Bayerischen Amt für Ländliche Entwicklung (ALE) beauftragten Forschungsprojekt wurden in einem ersten Schritt die wesentlichen Elemente der Kulturlandschaft identifiziert und über Klassen abgebildet. Inhaltlich zu einem Themenfeld gehörende Klassen wurden zu Paketen zusammengefasst. Abbildung 1 zeigt die bisher repräsentierten Themenfelder. Das Core-Paket beinhaltet Datentypen und Klassen, die von den anderen Klassen verwendet werden. Das Themenfeld „Farming“ umfasst beispielsweise Klassen zur Modellierung landwirtschaftlicher Betriebe, „AgricultureParcelShapeDescription“ Klassen und Aufzählungen zur thematischen Beschreibung von Parzellen / Feldstücken. Mit Hilfe

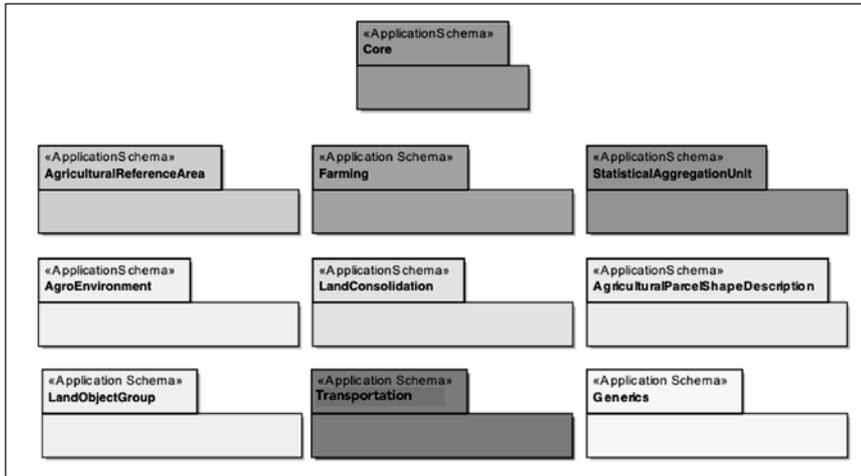


Abbildung 1: Pakete (Themenfelder) des semantischen Datenmodells LandModell<sup>TUM</sup>

der Klassen aus „StatisticalAggregationUnit“ können verschiedene räumliche und logische Aggregations-einheiten für statistische Auswertungen repräsentiert werden – z.B. regelmäßige Raster in unterschiedlichen Auflösungen, aber auch die administrativen Einheiten wie Länder-, Kreis- und Kommunengrenzen. Das „Transportation“-Paket beinhaltet Klassen zur Abbildung des gesamten Verkehrsnetzes von der Autobahn bis hinunter zum Forstweg. Die Wegenetze sind geometrisch-topologisch repräsentiert, d.h. sie können für die Berechnung von Routen und Touren verwendet werden.

Alle Klassen besitzen neben ihren Namen eine Reihe thematischer und räumlicher Attribute, wobei letztere die Lage, Form und Ausdehnung der jeweiligen Objekte repräsentieren. Zusätzlich werden Beziehungen zwischen einzelnen Klassen repräsentiert. Durch Nutzung der im Paket „Generics“ definierten Konzepte können fachspezifische Daten zu beliebigen modellierten Realweltobjekten hinzugefügt werden. Details zur Modellierung der Klassen sind in (Machl et al. 2015) angegeben.

Neben räumlichen und thematischen Aspekten adressiert das Datenmodell auch die zeitliche Dimension. Veränderungen der Kulturlandschaft können

explizit repräsentiert und Analysen darüber durchgeführt werden, wo in welchem Zeitraum welche Objekte neu entstanden sind, welche Objekte weggefallen sind und welche Objekte sich hinsichtlich ihrer Attribute verändert haben. Damit lassen sich z.B. die Fruchtfolgen auf Feldstücken oder aber auch die Auswirkungen von Umgehungsstraßen auf die Kulturlandschaft abbilden. Auch können Prozesse wie die Konzentration auf Maisanbau in bestimmten Regionen mittels Clusteranalyse über mehrere Zeitschritte hinweg identifiziert werden.

Das Datenmodell wurde formal als UML-Klassen- und Paketdiagramm (siehe Oesterreich & Scheithauer 2013) und auf der Basis der internationalen Normen der ISO 19100er Familie zur standardisierten Modellierung und Repräsentation von Geoinformationen entwickelt (ISO 19109, ISO 19107, ISO 19108, ISO 19136). Damit ist es unabhängig von Systemanbietern und lässt sich auf konkreten Geoinformationssystemen und Geodatenbanken verschiedener Hersteller implementieren. Konkret wurde das Datenmodell in einer Geodatenbank implementiert. Dazu wird das Open Source Datenbankmanagementsystem PostgreSQL mit der PostGIS-Erweiterung eingesetzt. PostGIS unterstützt die Speicherung und Abfrage räumlicher

Daten und umfasst auch Graph-Repräsentationen und -Algorithmen, u.a. zur Modellierung von Netzwerken und der Berechnung kostengünstigster Wege gemäß selbstdefinierbarer Kostenfunktionen.

Sowohl das Datenmodell des LandModell<sup>TUM</sup> als auch das daraus abgeleitete Geodatenbankschema sind dokumentiert und können als Vorschlag für eine standardisierte Modellierung der Kulturlandschaft angesehen werden. Der Vorteil eines standardisierten konzeptuellen Modells und seiner Abbildung auf ein Datenbankschema besteht darin, dass nun verschiedene Beteiligte oder Partner aus Wissenschaft, Industrie und Verwaltung Anwendungen realisieren können, die die so wohldefiniert strukturierten und gespeicherten Daten nutzen und wiederum um Berechnungs- und Simulationsergebnisse aus ihren Fachdisziplinen anreichern können. Prinzipiell eröffnet dies die Möglichkeit, einen beliebig erweiterbaren Baukasten an Analysewerkzeugen sowie Endanwendungen für verschiedenste Zwecke aufzubauen. Die Inhalte der Datenbank können unter Nutzung weiterer Standards des Open Geospatial Consortiums (OGC) und der ISO als Web-Dienste verfügbar gemacht werden, d.h. über standardisierte Schnittstellen wie dem sogenannten Web Feature Service (WFS, siehe Vretanos 2010) und dem Web Map Service (WMS, siehe de la Beaujardiere 2006) auch über das Internet bzw. als Cloud-Computing-Services nutzbar gemacht werden. Damit lässt sie sich direkt in bereits bestehende Geodateninfrastrukturen (GDI) der Länder (z.B. GDI Bayern, vgl. Keller et al. 2007), des Bundes (GDI-DE 2014) und Europas (INSPIRE, vgl. Craglia & Annoni, 2006) einbinden.

Wo kommen nun die Daten der grundlegenden räumlichen Objekte für die Datenbank her? Die Datenbank speist sich aus mehreren Quellen. So werden einerseits amtliche Geobasisdaten (ATKIS und ALKIS, vgl. Kurstedt 2013) vom Bayerischen Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung (LDBV) verwendet. Hier werden insbesondere Daten über Straßen- und Wegenetze sowie Informationen über Flurstücke und die tatsächliche Nutzung räumlicher Parzellen verwendet. Darüber hinaus liefern

InVeKos-Daten (Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem, siehe InVeKoS 2016) jährlich aktualisierte Informationen über die Geometrie und Nutzung der Feldstücke sowie die landwirtschaftlichen Betriebe. Es ist dabei zu beachten, dass es sich bei diesen Datenbeständen nicht um Open Data handelt. Die amtlichen Geobasisdaten sind in den meisten Bundesländern in Deutschland gebührenpflichtig und InVeKos-Daten beinhalten zudem personenbezogene Daten, für die besondere Anforderungen des Datenschutzes gelten. Personenbezogene Daten über die Betriebe sind in der Datenbank deshalb nur in anonymisierter Form gespeichert. Ein wesentlicher Vorteil der Verwendung der genannten Datenquellen ist, dass diese erstens selber standardisiert sind (hinsichtlich ihrer Datenmodelle und Austauschformate) und zweitens alle Objekte der realen Welt mit stabilen Identifikatoren versehen sind. Das bedeutet, dass jedes Feldstück, jeder Betrieb oder jedes Straßensegment einen eindeutigen Identifikator besitzt, der sich praktisch nur ändert, wenn auch das entsprechende Realweltobjekt substanziell verändert (z.B. geteilt oder gelöscht) wird. Die originalen Identifikatoren bleiben bei dem Import in die LandModell-Geodatenbank erhalten, so dass jederzeit die Referenz zu den Ursprungsdaten bekannt ist.

Es entsteht damit ein virtuelles Modell der physischen Realität (hier: der Kulturlandschaft), das fachübergreifend für Analysen, aber auch zur Verlinkung verschiedener Fachdaten und Sensoren genutzt werden kann. Objekte der Kulturlandschaft werden mit ihren semantischen, raumbezogenen und zeitlichen Aspekten erfasst und modelliert. Ein derart angereichertes Modell erlaubt umfassende Analysen der Ist-Situation. Es ermöglicht die Berechnung verschiedenster Indikatoren. Diese können dann flexibel räumlich aggregiert werden, z.B. in regelmäßigen Rastern oder auch auf den Ebenen der Kommunen, Kreise, Regierungsbezirke und Bundesländer und können so wiederum mit anderen für diese Aggregationen vorliegenden Indikatoren in Bezug gesetzt werden. Im nächsten Kapitel wird dazu ein Beispiel vorgestellt.

Das Modell eignet sich aber aufgrund seiner detaillierten Objektmodellierung auch zur Durchführung von Simulationen. Ein Simulator, der direkt auf den Datenstrukturen des LandModellsTUM aufsetzt, kann zum einen mit den Daten der Ist-Situation der Gegenwart oder Vergangenheit arbeiten. Die Speicherung in der Geodatenbank ermöglicht zum anderen auch, das Modell der Kulturlandschaft fiktiv weiterzuentwickeln und die Objekte entsprechend z.B. geplanter Maßnahmen oder Transformationsprozesse zu modifizieren. Die Daten würden dann dem Stand einer möglichen Zukunft entsprechen. Da sie ja weiterhin konform zu dem Datenmodell sind, kann der selbe Simulator auf diesen fiktiven Daten arbeiten. So lassen sich die Auswirkungen geplanter Maßnahmen vorab bereits recht genau abschätzen und es können „Was-wäre-wenn“-Szenarien durchprobiert werden. Dies wird im übernächsten Kapitel an einem weiteren Beispiel demonstriert.

### Anwendungsbeispiel 1: Analyse der Feldstücke

In dem ersten Anwendungsbeispiel geht es um die landesweite Analyse aller Feldstücke in Bayern hinsichtlich geometrischer Parameter wie Form und Größe und den Bezug zu angebauten Fruchtarten. Diese haben einen wesentlichen Einfluss auf die Bewirtschaftungsmöglichkeiten (siehe dazu Dietzel et al. 2000; Diemann 2001) und sind zudem ein guter Indikator für die Erkennung von Gebieten, die bereits ein Flurneuordnungsverfahren durchlaufen haben. Auch die Identifikation und Abgrenzung möglicher Zielgebiete für Flurneuordnungsverfahren lassen sich damit unterstützen. Abbildung 2 zeigt das von (Machl et al. 2013) entwickelte Klassifikationsschema. In dem Artikel werden auch auf die Auswirkungen auf die Bewirtschaftung näher untersucht. In der nachfolgenden Abbildung 3 wird das Ergebnis der Klassifikation für ein Testgebiet gezeigt.

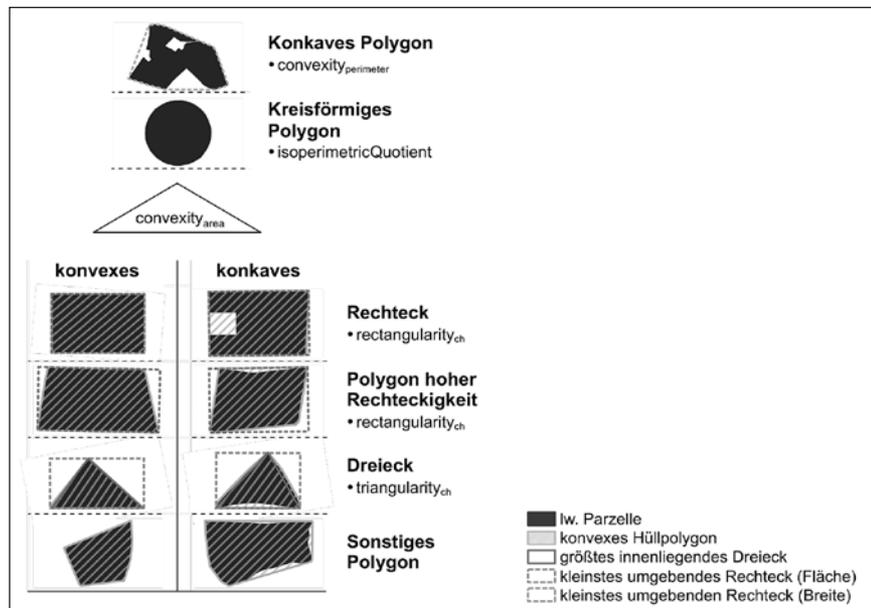


Abbildung 2: Abbildung 2 – Klassifikation landwirtschaftlicher Parzellen in verschiedene Grundformen. Zu den Grundformen werden jeweils auch die Parameter wie z.B. Länge, Breite, Radius oder Umfang geschätzt.

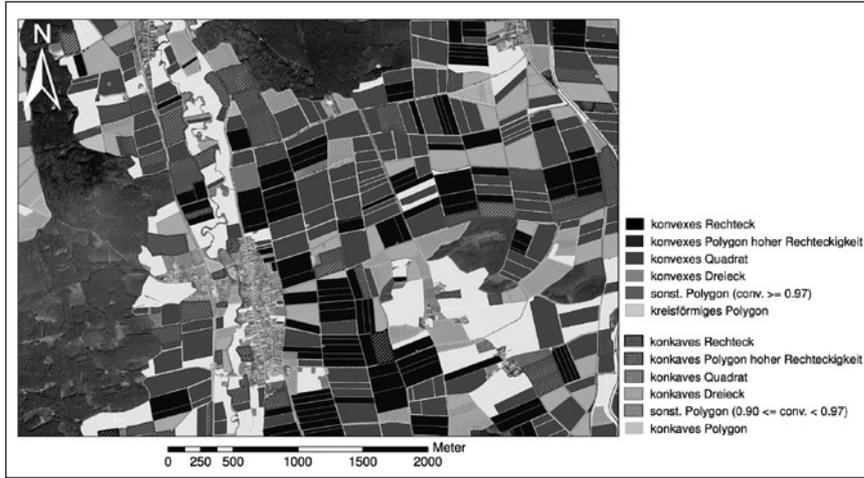


Abbildung 3: Ergebnis der Feldstück-Klassifikation nach geometrischen Grundformen auf einem Testgebiet in Bayern. Die einzelnen Formen sind graphisch durch Farben und Schraffuren unterschieden.

Auf der Basis der Einzelklassifikation über alle ca. 1,8 Mio Feldstücke lassen sich nun statistische Auswertungen über die landesweite Verteilung ableiten. Abbildung 4 zeigt das Ergebnis einer statistischen Auswertung der Feldstückgrößen, jeweils aggregiert auf die Ebene der Landkreise.

In weiteren Auswertungen wurden u.a. auch die regionalen Anteile einzelner Formklassen bestimmt. Auf der Basis der Formanalyse wurden auch die benötigten Fahrwege in den einzelnen Feldstücken automatisiert berechnet mit dem Ziel der Abschätzung der Bewirtschaftungsdauer (Fischl 2015).

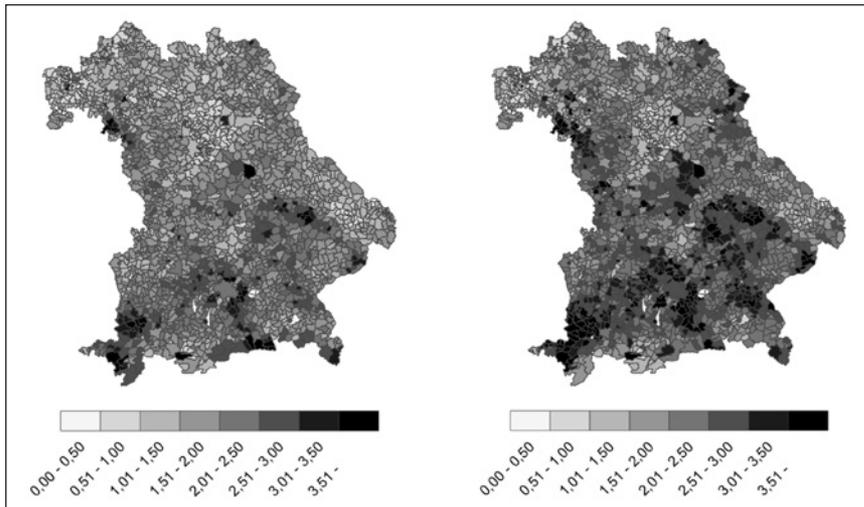


Abbildung 4: Links: arithmetischer Mittelwert der Feldstückgrößen in Bayern [ha], rechts: 75%-Quantil der Feldstückgrößen [ha].

## **Anwendungsbeispiel 2: Landwirtschaftliches Kernwegenetz**

Das zweite Anwendungsbeispiel bezieht sich auf eine umfassende und landesweite Analyse der Transportbeziehungen in der Landwirtschaft. Die Ansprüche der Landwirtschaft an die Verkehrsinfrastruktur haben sich aufgrund veränderter Rahmenbedingungen deutlich gewandelt. Transportaktivitäten machen heutzutage einen Anteil zwischen 30% und 60% der Gesamtarbeitszeit aus und beanspruchen rund 45% des Gesamtenergiebedarfs in der Pflanzenproduktion (Demmel 2014). Ein Grund dafür sind auch die gestiegenen durchschnittlichen Fahrdistanzen (Soboth 2012, Gutberlet 2012). Nicht zuletzt aufgrund von Entwicklungen in der Landtechnik, aber auch der intensiven Nutzung, ist vielerorts das ländliche Wegesystem nicht (mehr) in der Lage, die Anforderungen der Landwirtschaft zu erfüllen (vgl. Soboth 2012). Nach (Demmel 2014) sind ca. 75% der anfallenden Transportmassen dem innerbetrieblichen Transport zwischen landwirtschaftlichen Parzellen und der Hofstelle zuzuordnen. Die Hof-Feld-Fahrbeziehung nimmt damit eine zentrale Rolle im landwirtschaftlichen Transportgeschehen ein.

Um eine verlässliche Bestimmung der Länge der Transportwege und ihrer regionalen Unterschiede zu ermöglichen, wurde am Lehrstuhl für Geoinformatik der TUM im Auftrag des Bayerischen Amtes für ländliche Entwicklung (ALE) ein Softwarewerkzeug für ein landesweites Monitoring bestehender Hof-Feld-Transportpfade entwickelt (für Details siehe Machl et al. 2016). Mit dem Werkzeug lassen sich u.a. die folgenden Fragen beantworten: Welche Distanzen müssen Landwirte im Durchschnitt zu ihren Feldstücken zurücklegen? Welche regionalen Unterschiede in den Distanzen gibt es? Wie stark werden die Wege und Straßen durch den landwirtschaftlichen Verkehr beansprucht?

Zur Berechnung dieser Informationen ist es erforderlich, jeden Weg von jeder Hofstelle in Bayern zu jeder zugehörigen landwirtschaftlichen Parzelle (insgesamt über 1,8 Mio) im Einzelnen zu berechnen. Dazu wird erneut auf das LandModellTUM zurück-

gegriffen, welches das gesamte aus den Straßen als auch den landwirtschaftlichen Wirtschaftswegen bestehende Wegenetz umfasst. Aus den Geobasisdaten (ATKIS) wurde ein Routingfähiger Graph erzeugt, d.h. ein geometrisch-topologisches Netzwerk, auf dem u. a. Erreichbarkeitsanalysen sowie kürzeste Wege (vgl. Dijkstra 1959) berechnet werden können. Für die Kostenfunktion wurden bei den einzelnen Wegsegmenten neben der Länge auch Daten über die Wegekategorie, die Bodenbeschaffenheit, die durchschnittliche Befahrungsgeschwindigkeit und etwaige Hindernisse wie Brücken einbezogen. In einer zuletzt durchgeführten Validierung zeigte sich, dass über 80% der vom System berechneten Wege zu über 80% mit den tatsächlich von den Landwirten gefahrenen Strecken übereinstimmen (vgl. Astner 2018, Machl et al. 2018) und somit die Schätzungen des Systems eine hohe Aussagekraft besitzen.

Dadurch, dass alle berechneten Transportpfade sich auf die einzelnen Wegsegmente beziehen, kann nun über die Information, welche Fruchtart angebaut und wie groß die bewirtschaftete Fläche der jeweiligen landwirtschaftlichen Parzelle ist, diese Information für jeden Transportpfad in den Wegsegmenten akkumuliert werden. Damit lässt sich der Grad der Nutzung (und auch der Beanspruchung!) jedes Segments des Wegenetzes abschätzen und damit auch die Wichtigkeit jedes Wegsegments für das landwirtschaftliche Transportgeschehen insgesamt einordnen. Abbildung 5 illustriert dieses Vorgehen. Es werden die Wege von Hofstelle A zu den beiden Parzellen A1 und A2 dargestellt sowie von Hofstelle B zu Parzelle B1. Über das Wegsegment e erfolgt die Bewirtschaftung von insgesamt 6 ha landwirtschaftlicher Nutzfläche.

Wenn nun ein solches virtuelles Modell der Kulturlandschaft vorliegt und Methoden bereitstehen, auf dieser Basis realistische Indikatoren wie z.B. die Wegbeanspruchung oder die Transportpfade zu berechnen, können das Modell und die Analysewerkzeuge natürlich auch für die Analyse der Auswirkung geplanter Veränderungen verwendet werden. Die enge Kopplung von Planung und Wirkungsanalyse bei raumbezogenen Entwicklungen wird von (Stei-

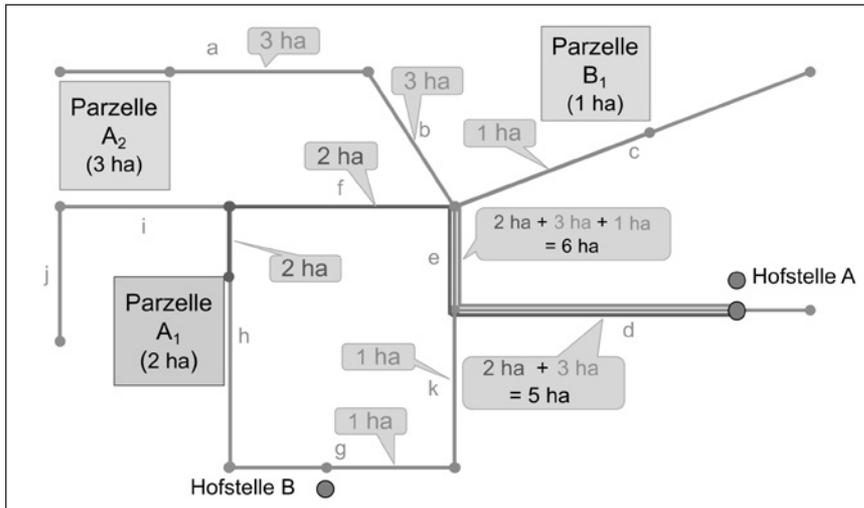


Abbildung 5: Abbildung 5 - Vom einzelnen Hof-Feld-Transportpfad zur Erschließungsfläche einzelner Segmente des Verkehrsnetzwerkes.

nitz 2012) unter dem Begriff „Geodesign“ propagiert. Ganz im Sinne des Geodesign wurde zuletzt ein Werkzeug zur Planungsunterstützung in Flurneuerungsverfahren realisiert, das eine unmittelbare Abschätzung der Auswirkungen von Änderungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen an dem landwirtschaftlichen Wegenetz sowohl für den lokalen als auch den überregionalen Verkehr ermöglicht. Dieses Werkzeug dient der Unterstützung des ALE bei der Entwicklung des landwirtschaftlichen Kernwegenetzes in Bayern. Das Werkzeug wurde im Rahmen des Pilotprojekts „Kernwegenetz NES-Allianz“ in der Praxis getestet, an der die 13 Kommunen bzw. Verwaltungsgemeinschaften der ILE-Region „NES-Allianz“ im unterfränkischen Landkreis Rhön-Grabfeld beteiligt waren.

Das Kernwegekonzept wurde im Auftrag der beteiligten Kommunen von der BBV Landsiedlung erarbeitet und vom zuständigen Amt für Ländliche Entwicklung (ALE) Unterfranken betreut. Mit Hilfe der Werkzeugs war es erstmals möglich, landesweit für einzelne Bestandteile des Wegesystems detaillierte und objektive Angaben zur regionalen und insbe-

sondere auch überregionalen, landwirtschaftlichen Erschließungsfläche abzuleiten und diese als zusätzliche Planungsgrundlage einfließen zu lassen. Abbildung 6 zeigt die Karte mit dem „Gefäßsystem des landwirtschaftlichen Transports“ in der ILE-Region, auf deren Basis die Definition der Kernwege mit den notwendigen Ausbau- und Ertüchtigungsmaßnahmen erfolgt ist. Weitergehende Informationen finden sich in (Machl et al. 2018).

### Fazit und Ausblick

Die Digitalisierung der Landwirtschaft beschränkt sich nicht nur auf den Anschluss von Sensoren und Geräten an das Internet (Internet of Things) und die Auswertung unstrukturierter Daten durch Big-Data-Analyseverfahren und Verfahren des maschinellen Lernens. Digitale semantische Modelle der Kulturlandschaft liefern ein strukturiertes und informationsreiches Abbild der physischen Realität, welches entscheidend zur tiefen Informationsintegration über verschiedene Disziplinen beiträgt. Es geht bei dem virtuellen Modell der Realität nicht um eine computergraphische Darstellung, sondern um einen digi-

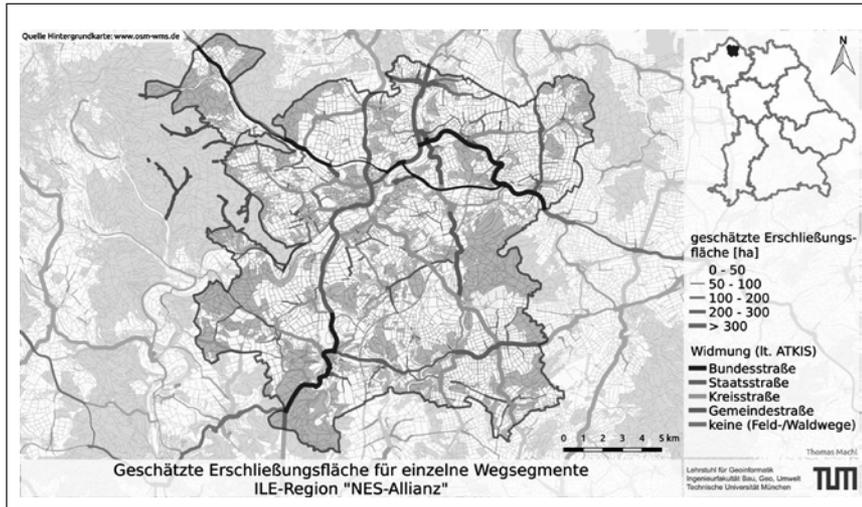


Abbildung 6: Geschätzte Erschließungsfläche für einzelne Wegsegmente innerhalb der unterfränkischen ILE-Region NES-Allianz; aus Datenschutzgründen sind in dieser Abbildung lediglich Verkehrswege eingeblendet, die von mehr als fünf Bewirtschaftern zur Anfahrt von Parzellen genutzt werden. Je dicker die Linienstärke, desto größer die Erschließungsfläche (siehe Kartenlegende).

talen Zwilling der wesentlichen landwirtschaftlichen Objekte mit ihren vielfältigen Eigenschaften und Beziehungen. Mit dem LandModellTUM wurde ein Datenmodell entwickelt (und in einer Geodatenbank realisiert), das in Bayern bereits für verschiedene Aufgaben eingesetzt wird. Dadurch, dass es sich auf standardisierten Geobasisdaten speist, ist es auch auf andere Bundesländer unmittelbar übertragbar. Zuletzt wurde das Modell in Hessen getestet. Sowohl das Datenmodell als auch die Analysemodule funktionierten auf Anhieb.

Aktuelle und künftige Entwicklungen zielen darauf ab, weitere Analysefunktionen für neue Aufgaben zu realisieren. Auch ist die Erweiterung der Modellierung um 3D-räumliche Repräsentationen geplant, damit auch die Gelände- und Oberflächeneigenschaften von Wegen und Parzellen in den Analysen berücksichtigt werden. Die explizite Verbindung der modellierten Objekte mit Sensoren und ihren Beobachtungen ist ein weiteres Forschungsthema. Das semantische Modell der Kulturlandschaft, die Sensoren, die Analysemodule und die darauf basierenden Anwendungen sollten mittel- bis langfristig in einer Smart Rural

Areas Data Infrastructure (SRADI) plattform- und herstellerübergreifend integriert werden.

### Danksagung

Mein Dank geht an Herrn Thomas Machl, M.Sc., der als Doktorand am Lehrstuhl für Geoinformatik der TUM das Forschungsprojekt “2D+t Landmodellierung” bearbeitet, und das LandModellTUM maßgeblich entwickelt und die in diesem Beitrag enthaltenen Abbildungen sowie die konkreten Analysefunktionen erstellt hat. Weiterer Dank gebührt dem Projektleiter Herrn Dr. Andreas Donaubaue. Schließlich danke ich dem Bayerischen Amt für Ländliche Entwicklung für die Förderung des Projekts.

### Literaturverzeichnis

- C. Astner, 2017: Untersuchung eines neuen Planungsansatzes zur Konzeption überregionaler Kernwegenetze für die Landwirtschaft. Masterarbeit. Technische Universität München, Lehrstuhl für Geoinformatik.
- R. Bromma, 2014: Konzeption und Umsetzung eines ländlichen Kernwegenetzes in der Allianz 'Fränkischer Süden'. In: Mitteilungen des DVW-Bayern e.V., Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement 139 (4): 379-389.

- H. Brunner, 2014: Vielfalt erhalten. Zukunft gestalten – Der Bayerische Weg in der Land- und Forstwirtschaft. Regierungserklärung am 1. Juli 2014.
- InVeKoS, 2016: InVeKoS-Daten-Gesetz vom 2. Dezember 2014 (BGBl. I S. 1928, 1931), das zuletzt durch Artikel 2 der Verordnung vom 8. März 2016 (BGBl. I S. 452) geändert worden ist.
- N. de Lange, 2013: Geoinformatik in Theorie und Praxis, Springer Verlag.
- J. de la Beaujardiere, 2006: OpenGIS Web Map Server Implementation Specification. Version 1.3.0. Open Geospatial Consortium. OGC Doc. No. 06-042.
- M. Craglia, A. Annoni, 2006: INSPIRE: An Innovative Approach to the Development of Spatial Data Infrastructures in Europe. In: Proceedings of the International Conference on Global Spatial Data Infrastructures (GSDI-9), 6-10 November 2006, Santiago, Chile.
- M. Demmel, 2014: Traktoren- und Transporttechnik. In: Landwirtschaftlicher Pflanzenbau. Bd. 13. BLV Buchverlag GmbH & Co. KG. München: 151–170.
- R. Diemann, 2001: Expertengespräch zur 21. DLKG-Tagung: „Schlagstruktur und Schlaggröße im Spannungsfeld gegensätzlicher Interessen“. In: Landnutzung und Landentwicklung 42 (3), S. 138–139.
- H. Dietzel, R. Diemann, R. Jacobs, R. Otto, 2000: Schlaggröße und Schlagform in Ackerbaugebieten der neuen Bundesländer. In: Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung (41), S. 1-6.
- E. W. Dijkstra, 1959: A note on two problems in connexion with graphs. In: Numerische Mathematik 1 (1): 269–271.
- DWA, 2016: Arbeitsblatt DWA-A 904-1: Richtlinien für den Ländlichen Wegebau (RLW) Teil 1: Richtlinien für die Anlage und Dimensionierung Ländlicher Wege. Hrsg. von DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
- G. Fischl, 2015: Werkzeuge zur Dekomposition komplexer Parzellengeometrien und zur Abschätzung von Fahrwegen. Masterarbeit. Technische Universität München, Lehrstuhl für Geoinformatik.
- GDI-DE, 2014: Architektur der Geodateninfrastruktur Deutschland (GDI-DE). Dokumentenreihe herausgegeben vom Arbeitskreis „Architektur“ der GDI-DE. Online verfügbar unter <https://www.geoportal.de/DE/GDI-DE/Media-Center/Dokumente/dokumente.html>
- M. Gutberlet, 2012: Ansprüche an Qualität und Ausbaustandards zukunftsorientierter Wegenetze. In: DLKG (Hrsg.): Wege in die Zukunft!? – Neue Anforderungen an ländliche Infrastrukturen. Schriftenreihe der DLKG (9): S. 53–58.
- ISO 19107, 2003: Geographic information - Spatial Schema. ISO Norm.
- ISO 19108, 2005: Geographic information - Temporal Schema. ISO Norm.
- ISO 19109, 2015: Geographic information - Rules for application schema. ISO Norm.
- ISO 19136, 2009: Geographic information - Geography Markup Language (GML). ISO Norm.
- P. Keller, R. Roschlaub, M. Seifert, 2007: Aufbau einer Geodateninfrastruktur Bayern (GDI-BY). Mitteilungen des DVW, Heft 3/2007.
- R. Kurstedt, 2013: ATKIS® Basis-DLM – fachliche Betrachtung amtlicher Geobasisdaten und deren bundesweite Nutzung. In G. Meinel, U. Schumacher, M. Behnisch (Hrsg.): Flächennutzungsmonitoring V – Methodik, Analyseergebnisse, Flächenmanagement, S. 141–146.
- M. Kröhl, 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 (9): 89–101.
- T. Machl, A. Donaubaue, H. Auernhammer, T. H. Kolbe, 2013: Shape and Ergonomics: Methods for Analyzing Shape and Geometric Parameters of Agricultural Parcels. EFTTA-WCCA-CIGR Conference on Sustainable Agriculture through ICT Innovation, Torino, Italy, 24-27 June 2013.
- T. Machl, A. Donaubaue, T. H. Kolbe, 2015: Landmodell = CityGML für die Agrarlandschaft? In: Geoinformationssysteme 2015 – Beiträge zur 2. Münchner GI-Runde. Wichmann Verlag.
- T. Machl, W. Ewald, A. Donaubaue, T. H. Kolbe, 2016: Entwicklung eines Werkzeugs zur landesweit flächendeckenden Analyse landwirtschaftlicher Transportbeziehungen in Bayern. Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement (ZfV), 3/2016, DOI 10.12902/zfv-0118-2016.
- T. Machl, W. Ewald, A. Donaubaue, T. H. Kolbe, 2018: Neue Wege zum landwirtschaftlichen Kernwegenetz? - Erfahrungen aus dem Einsatz neuartiger Planungsgrundlagen im Modellprojekt „Kernwegekonzept NES-Allianz“. Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement (ZfV), 2/2018, DOI 10.12902/zfv-0202-2018.
- B. Oesterreich, A. Scheithauer, 2013: Analyse und Design mit der UML 2.5: Objektorientierte Softwareentwicklung. 11. Auflage, De Gruyter Oldenbourg.
- A. Soboth, 2012: Notwendigkeiten und Möglichkeiten von Kooperationen gemeindeübergreifender Wegenetze. In: DLKG (Hrsg.): Wege in die Zukunft!? – Neue Anforderungen an ländliche Infrastrukturen. Schriftenreihe der DLKG (9): 39–44.
- C. Steinitz, 2012: A Framework for Geodesign – Changing Geography by Design. Esri Press, Redlands.
- P. A. Vretanos, 2010: OpenGIS Web Feature Service 2.0 Interface Standard. Open Geospatial Consortium. OGC Doc. No. 09-025r1