



GeoCare

Geoinformationstechnologie für
landwirtschaftlichen Ressourcen-
schutz und Risikomanagement



Projektbericht

Projektträger:	Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE)
Finanzierung:	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL)
Förderkennzeichen:	2815702115
Geschäftszeichen:	313-06.01.-28-1-57.021-15
Projektlaufzeit:	26.04.2016 - 30.09.2019
Projektleiter:	Dr. Stephan Hartmann
Projektbearbeiter:	David Stäblein; Thomas Pawlik
Kooperation	GAF AG DWD Münchener Rückerversicherungs-Gesellschaft AG Christian-Albrechts-Universität zu Kiel Fachverband landwirtschaftlicher Trocknung in Bayern e.V.
Herausgegeben im:	März 2020

GeoCare
Geoinformationstechnologie für
landwirtschaftlichen Ressourcen-
schutz und Risikomanagement

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	5
1 Kurze Darstellung	7
1.1 Aufgabenstellung	7
1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	7
1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens	8
1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand	9
1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	11
2 Eingehende Darstellung	12
2.1 Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse	12
2.1.1 Datenaufnahme	12
2.1.2 Erstellung standortspezifischer Datengrundlagen für das Datenmodell	20
2.1.3 Datenakquise zur Validierung der Ergebnisse.....	20
2.1.4 Vorbereitung der Einbindung des Verfahrens in bestehende Datenstruktur	21
2.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	21
2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	21
2.4 Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans	21
2.5 Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen.....	22
2.6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen	22
3 Erfolgskontrollbericht.....	26
3.1 Beitrag zu förderpolitischen Zielen	26
3.2 Wissenschaftlich-technische Ergebnisse.....	26
3.3 Fortschreibung des Verwertungsplanes	27
3.3.1 Angestrebte Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und bereits erteilte Schutzrechte	27
3.3.2 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende	27
3.3.3 Wissenschaftliche und / oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende.....	27
3.3.4 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit	27
3.4 Arbeiten die zu keiner Lösung geführt haben	28
3.5 Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer	29
3.6 Einhaltung der Kosten- und Zeitplanung	29
4 Kurzfassung	30
5 Literaturverzeichnis	31

Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abbildung 1: Entwicklung und Verteilung der Grünlandfläche in Deutschland.....	8
Abbildung 2: Lage der Testgebiete des GeoCare Projekts in den Anbaugebieten für Grünland in Bayern	13
Abbildung 3: Kumulierte Erträge einiger Beispielparzellen auf den Testflächen des Jahres 2016	16
Abbildung 4: Beispiele der Veränderung in Nährstoffzusammensetzung und - gehalte in g/kg einzelner Parzellen.....	17

Tabellenverzeichnis

	Seite
Tabelle 1: Verbreitete Nutzungstypen und deren Schnitzzahl, Erträge und Nährstoffabfuhr (nach Wendland, et al. 2012).....	10
Tabelle 2: Beispielhafte Schnittzeitpunkte in den Testgebieten 2016.....	15
Tabelle 3: Prozentuelle Verteilung der Arten der Testgebiete des Jahres 2016	18
Tabelle 4: Bodenarten der aufgeführten Standorte in 20-30cm Tiefe	19
Tabelle 5: Düngedatum und -menge auf den Testflächen des Jahres 2016.....	20
Tabelle 6: Veröffentlichungen und Publikationen des Projektes GeoCare auf Tagungen und Konferenzen.....	23

Abkürzungsverzeichnis

AP	Arbeitspaket
BLTD	Bundesfachverband landwirtschaftlicher Trocknung
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
CAU	Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
DWD	Deutscher Wetterdienst
FM	Frischmasse
FOPROQ	FORAGE PRODUCTION QUALITY
GeoCare	Geoinformationstechnologie für landwirtschaftlichen Ressourcenschutz und Risikomanagement
GI ³ S	Grünlandertragsmodell der GAF AG
GIS	Geographisches Informationssystem
HBLFA	Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt
HS	Hydrosulfan
InVeKoS	Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem
KAS	Kalkammonsalpeter
LAI	Leaf Area Index
LfL	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
M	Meilenstein
MasterGras	Copernicus für Bayerns Grünland nutzen - Umsetzung der Projektergebnisse aus GeoCare und SatGrünSchnitt in der Ressort-IT des StMELF
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
nFK	nutzbare Feldkapazität
RADOLAN	Radar-Online-Aneichung
SAR	Synthetic Aperture Radar
SatGrünSchnitt	Satellitengestützte Schätzung von Grünland- und Feldfuttererträgen
StMELF	Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten
TM	Trockenmasse
TRD	Trockenraumdichte
WP	Welkepunkt
XA	Rohasche
XF	Rohfaser
XL	Rohfett
XP	Rohprotein
XZ	Zuckeranteil

1 Kurze Darstellung

1.1 Aufgabenstellung

Ziel dieses Projektes war eine Verbesserung der Ertragsabschätzung von Grünflächen, indem eine überregionalspezifische Grünlandmodellierung auf Grundlage von Schnittzeitpunkten mittels Sentinel-1 und DWD Daten durchgeführt wurde. Mit dieser robusten Modellierung ist es möglich einerseits den Schnittzeitpunkt für jede Grünlandfläche zu detektieren und den Ertrag zu prognostizieren, wodurch ein Beitrag zu einer effizienteren Agrarwirtschaft geleistet werden kann. Andererseits können Grünlanderträge schnell und kostengünstig für größere Räume quantifiziert werden, wodurch Handlungsempfehlungen und Entwicklungsstrategien für unregelmäßige Ertragsverläufe ermöglicht werden. Langfristig können diese Daten in einem Web-GIS zur Verfügung gestellt werden.

1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Die Ermittlung der gesamten Grünlandermenge eines Jahres ist auf Grund mangelnder Datenverfügbarkeit in vielen Regionen Deutschlands, unter anderem auch in Bayern, nicht flächendeckend durchführbar. Lediglich einige Testflächen der Landwirtschaftsämter und Institute werden für wissenschaftliche Zwecke regelmäßig erfasst, stellen aber nur einen Bruchteil der tatsächlich genutzten Fläche dar. Zusätzlich bedarf es für adäquate Ergebnisse einen hohen Anteil an aktuellen Daten, welche basierend auf einer gleichen Methodengrundlage erfasst werden, um eine Vergleichbarkeit der Daten zu ermöglichen. Bisher waren Expertenwissen und lokale Felderhebungen unabdingbar, damit Erträge geschätzt werden konnten. Im Gegensatz zu den meisten Ackerpflanzen, deren Erträge und Früchte in den Handel gelangen, wodurch spätestens beim Zwischenhändler die Menge und Qualität erfasst werden, bleibt der Grünlandertrag als Tierfutter meist auf dem Hof. Somit findet kaum eine öffentlich zugängliche Erfassung von Schnitterminen, der Erntemenge und der Anzahl der Schnitte statt. Die einzigen deutschlandweit zur Verfügung stehenden Informationen sind die InVeKoS- Daten, die den Nutzungstyp eines Schlages erfassen. Aus diesem Grund liegen nur Daten zu Schwankungen (der gesamten Anbaufläche) und regionaler Unterschiede vor. Deutschlandweite Schnitt- und Ertragszahlen, basierend auf Datenerhebungen (und nicht auf Schätzungen), fehlen jedoch bis dato (s. Abb. 1).

Mit Hilfe der Fernerkundung ist es möglich Veränderungen einer Fläche zu erfassen, indem in regelmäßigen Abständen Aufnahmen derselben Gebiete erstellt und Unterschiede analysiert werden. Durch das europäische Erdbeobachtungsprogramm „Copernicus“ stehen inzwischen Aufnahmen zweier Sentinel-1 Satelliten kostenlos zur Verfügung. Diese

Satelliten sind besonders gut für die regelmäßige Analyse von Grünlanderträgen geeignet, da ihre Aufnahmen mittels Radarrückstreuung Wolken durchdringen können und somit wetterunabhängig sind. Zudem wird durch die Nutzung zweier baugleicher Satelliten eine Erfassung jedes Punktes der Erde innerhalb von nur 6 Tagen ermöglicht.

Das Projekt „SatGrünschnitt“ belegte bereits mit nur einem Sentinel-1 Satelliten in einem kleinräumigen Gebiet, dass eine Schnittdetektion auf Grund der veränderten Radarrückstreuung grundsätzlich möglich ist, obwohl die Datengrundlage damals noch ausbaufähig war. Die Verfügbarkeit von zwei Sentinel-1 Satelliten sorgt für eine deutlich bessere Datenerfassung, wodurch noch genauere Ergebnisse möglich sind. Somit wird neben einer schnellen und homogenen Erfassungsmethode des überregionalen und aktuellen Zustandes der Flächen, auch die Erfassung der Erträge und der Schnitttermine präziser und kostengünstiger ermöglicht.

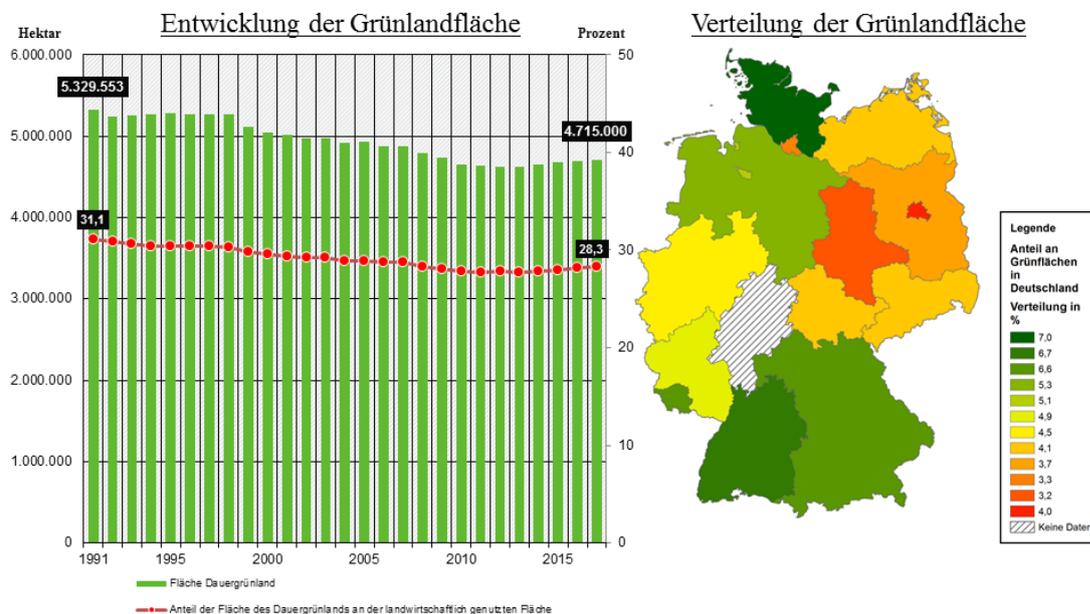


Abbildung 1: Entwicklung und Verteilung der Grünlandfläche in Deutschland

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Der Verlauf des Projektes wurde in vier Arbeitspakete (AP 2210, AP 2220, AP 2230 und AP 2300) mit sechs untergeordneten Meilensteinen (M1-6) für die LfL aufgeteilt.

AP 2210, M1: Entwicklung und Integration radargestützter Schnittterminerfassung

- Wissensimplementierung aus dem Projekt SatGrünschnitt
- Identifizierung geeigneter Testgebiete
- Stichpunkt-Kontrollen von Schnitttermin und Ertrag zur Modelladaption
- Weiterentwicklung des Prototyps „Radarerfassung von Schnittterminen“

AP 2210, M2: Adaption der Modelle der Qualitäts- und Quantitätsergebnisse einzelner Schläge auf überregionale Testregionen

- Stichpunktdaten des Grünlandaufwuchses und Qualitätsentwicklung für Validierung und Anpassung Ertragsmodell
- Laboruntersuchungen für Qualitätsentwicklung an Versuchsstandorten

AP 2210, M3: Erstellung standortspezifischer Datengrundlagen für Modell-Default-Einstellung zur Grünlandbestandstypenkarte

- Entwicklung des Ertragsmodells zur flächendeckenden Bestimmung

AP 2220, M4: Testphase regionale Schnittterminerfassung

- Validierung und Anpassung der regionalen Schnittterminerfassung und Integration von Sentinel-1B Daten
- Vorbereitung des Verfahrens für den operationellen Betrieb
- Stichpunktartige Erhebung Schnitttermine, Erträge und Qualität im Grünland aller Testregionen zur Validierung flächendeckender Detektion
- Verifizierung der Grobklassifizierung der Grünlandbestandstypen abgeleitet von Schnittfrequenzkarten und lokaler Parameter

AP 2230, M5: Erfassung regionaler Schnitttermine**AP 2230, M6: Zusammenführung des Automatismus Schnitttermindetektion mit Ertrags- und Qualitätsmodell als Berechnungstool inklusive aller Parameter**

- Vorbereitung der Einbindung des Verfahrens in bestehende Datenstruktur

AP 2300: Genauigkeitssanalysen und Berichterstellung

- Modellevaluierung
- Ergebnisdarstellung
- Berichterstellung und Publikation

1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand

Eine Quantifizierung der Grünlanderträge ist im überregionalen Rahmen kaum ökonomisch durchführbar. Differenzen der Massenerträge variieren je nach Zusammensetzung der Arten und der Schnitthäufigkeit eines Feldes zwischen 55 – 110 dt/ha, wobei es auf Grund weiterer Einflussfaktoren zu erheblichen Schwankungen kommen kann (s. Tab. 1). Korrekturen der sogenannten „Faustzahlen“, die zur Abschätzung der Erträge Anwendung finden, müssen also regelmäßig durchgeführt werden (Diepolder et al. 2013). Ziel ist es daher, anstelle der Korrekturanpassung, gleich eine schnellere und genauere Methode mit Hilfe der Fernerkundung zu etablieren (Taravat et al. 2019). Eine Erfassung durch optische Sensoren ist bereits seit Anfang der 1990er Jahre möglich, dennoch liegt die größte Schwierigkeit in der häufigen Bewölkung, wodurch diese Erfassung nicht regelmäßig möglich ist (Voormansik 2014; Friedl et al. 1993). Aktuelle Erkenntnisse von Klingler et al. (2019) zeigen aber auch mittels Sentinel-2 Daten gute Resultate. Andere

Methoden, wie Lasererfassung sind zwar prinzipiell möglich, jedoch extrem kostenintensiv (Tamm et al. 2016). Der kontinuierliche Upload von Bodenaufnahmen aus wetterunabhängigen Radardaten durch das europäische Erdbeobachtungsprogramm Copernicus mittels Sentinel-1 Satelliten verändert die Datenbasis grundlegend, da regelmäßig Daten im 12 bzw. 6 Tagesrhythmus aufgenommen werden und zur freien Nutzung zur Verfügung stehen.

Tabelle 1: Verbreitete Nutzungstypen und deren Schnitzzahl, Erträge und Nährstoffabfuhr (nach Wendland, et al. 2012)

Anzahl der Nutzungen	Wiesentyp	TM- Ertrag (dt/ha)	Nährstoffabfuhr N (kg/ha)
1	Streuwiese	40	25
1*-2*	sehr ertragsarme Standorte	40-50	40-70
3	obergrasreiche Wiesen allgemein	75	160
3	typische Glatthaferwiese	75	150
3	Glatthaferwiesen in wechsellückiger Auenlage	70	135
3	Berg- Goldhaferwiesen	70	165
3-5	Wiesenfuchsschwanzwiese	80-100	170-285
3-5	Voralpine kräuterreiche Wiesen und Mähweiden	70-90	170-300
3**-5	Bestände mit hohem Anteil Weidelgras, Wiesenrispe	85-110	180-320
5-6	Bestände mit hohem Anteil (Bastard) Weidelgras , Wiesenrispe	120	350

* Trockenwiesen, flachgründige Standorte, bei fehlender oder nur geringer Düngung - z. B. trockene Glatthaferwiesen

** bei dreimaliger Nutzung Umwandlung in kräuterreiche Bestände, Weidelgraswiesen/-weiden werden in der Regel 4-6 mal genutzt

Eine grundsätzliche Unterscheidung zwischen Grünflächen zu Winterweizen und Mais ist bereits mit SAR Aufnahmen von Dusseux et al. (2014) belegt worden. Diese Unterscheidung ist für den ackerbaulichen Aspekt der Landnutzung grundsätzlich interessant, aber auf Grund der InVeKoS Datengrundlage in Europa nicht von Relevanz, da bereits alle Schlagnutzungen jährlich erfasst werden (EU-Parlament 17.12.2013; Betbeder et al. 2016). Viel schwieriger gestaltet sich die Detektion eines Schlages über einen bestimmten Zeitraum, bzw. dessen Veränderung. Besonders bei Flächen die jährlich mehreren Eingriffen unterliegen, ist die Fehlerquote noch „relativ“ hoch, da die Veränderung geringer sind als bei einem einmaligen Ernteprozess, der bereits gut erfasst wird (Baghdadi et al. 2009). Besonders die Veränderung der Grünlandflächen, die durch mehrere Schnitte während der Wachstumsperiode ihre Reflektion nur gering verändern, sind schwierig einzuordnen (Voormansik 2014; Voormansik et al. 2016; Grant et al. 2015). Aus diesem Grund können zusätzlich, wie bei Grant et al. (2016) beschrieben, RADOLAN Daten des DWD, die regionale Niederschläge erfassen, genutzt werden. Somit ist eine zusätzliche

Einschränkung der Schnittzeiträume möglich, da an Tagen mit und vor starkem Niederschlag kein Schnitt stattfindet und diese somit exkludiert werden können.

Eine Erfassung der Schnitthäufigkeit von Schlägen dient als Grundlagenbasis, aus der sich Erträge ermitteln lassen können (Grant et al. 2017). Die jährliche Schnitthäufigkeit, in Kombination mit Boden- und Klimadaten, lässt Rückschlüsse auf die Zusammensetzung der vorherrschenden Arten zu (s. Tab. 1). Eine genauere Quantifizierung der Erträge ist möglich, indem weitere Parameter standortspezifischer Daten aus in-situ Aufnahmen zu Klima, Nutzung, Bodenart, phänologischen Eigenschaften und Pflanzenzusammensetzung implementiert werden. Anstelle dessen können auch Sentinel-2 Aufnahmen mit biophysikalischen Parametern, wie Chlorophyllgehalt (mittels LAI und NDVI) aus ex-situ Aufnahmen verwendet werden (Herrmann et al. 2005; Oppelt 2010; Nouvellon et al. 2001; Betbeder et al. 2016). Somit können große Flächen innerhalb kürzester Zeit erfasst werden. Als generelles Ziel wird daher ein operationeller Dienst angestrebt, der in einem überregionalen Maßstab, kleinräumliche Unterschiede darstellt.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU)

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung

Grünland und Futterbau/Ökologischer Landbau

Hermann-Rodewald Str. 9, 24118 Kiel

Hauptakteure: Prof. Dr. Antje Herrmann, Prof. Dr. Friedhelm Taube, Christof Kluß

Ertragsmodellierung von Grünlandbeständen ist nicht Forschungsthema der LfL. Daher ist es sinnvoll ein vorhandenes Modell kostengünstig auf die Modellregion des Projektes anzupassen. Am Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der CAU wurde bereits ein, an norddeutsche Verhältnisse angepasstes, Ertragsmodell (FOPROQ) erarbeitet. Das Institut besitzt die Expertise der Ertragsmodellierung, sowie die Nutzerrechte an diesem Modell. Im Rahmen einer ersten Anpassung an bayerisches Grünland wird die Arbeitsgruppe Prof. Herrmann & Prof. Taube auch den zu erwartenden Arbeitsbedarf für eine hinreichend differenzierte Anpassung dieses Modells an die unterschiedlichen Regionen Bayerns ermitteln, um die Kosten weiterer regionaler Anpassungen abschätzen zu können.

Fachverband landwirtschaftlicher Trocknungen in Bayern e.V.

Im Bach 26, 86759 Wechingen

Hauptakteur: Roland Hofmockel

Der Bundesfachverband landwirtschaftlicher Trocknung ist ein seit 1972 organisierter Verein mit deutschlandweit 31 Trocknungsanlagen für Grünfütter, der als Genossenschaft von Unterverbänden in den Bundesländern geführt wird. Diese speziellen Trocknungsanlagen werden von über 16.000 Landwirten genutzt, da durch die technische Trocknung des BLTD Eiweiße und Vitamine in der Biomasse gebunden bleiben. Diese Kooperation schafft Vorteile für das Projekt GeoCare. Durch kurze Transportwege und der Expertise des BLTD ist eine sehr präzise Nährstoffanalyse nach der Trocknung des Grünschnitts möglich.

2 Eingehende Darstellung

2.1 Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse

Die Resultate aus dem Projekt GeoCare werden im Folgenden dargestellt. Aus Gründen der Übersicht erfolgt dabei eine Einteilung der Ergebnisse in die Art der erhobenen Daten (2.1.1), die Aufbereitung der erfassten Daten an die Modellkomponente (2.1.2) und die Datenakquise zur Validierung der Ergebnisse (2.1.3).

2.1.1 Datenaufnahme

Die primäre Tätigkeit der LfL zur Erfüllung der ersten Meilensteine ist die Aufnahme der Schnittzeitpunkte und der dazugehörigen Messungen von Frisch- und Trockenmasse, wie auch Arten- und Bodenbestimmungen. Im weiteren Verlauf (AP 2220 - 2300) soll eine gemeinsame Validierung und Beurteilung der von den Projektpartnern (GAF AG und Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der CAU) gelieferten Daten erfolgen.

2.1.1.1 Identifizierung geeigneter Testgebiete

Die Testflächen in Bayern sollen ein möglichst vielschichtiges Bild der bayerischen Grünflächen wiedergeben. Hierfür wurden adäquate Flächen in ganz Bayern ausgewählt, welche über den gesamten Projektzeitraum (2016 - 2018) beobachtet wurden. Die ausgesuchten Flächen decken dabei einen Großteil der verschiedenen bayerischen Anbaugebiete ab (s. Abb. 2). Eine Ausnahme sind hierbei die Alpinen Regionen, da sich einerseits

die Erfassung via Satellit schwieriger gestaltet und andererseits die Grünlandflächen häufiger als Weide und Hutung genutzt werden.

Lage der GeoCare Testgebiete in Bayern

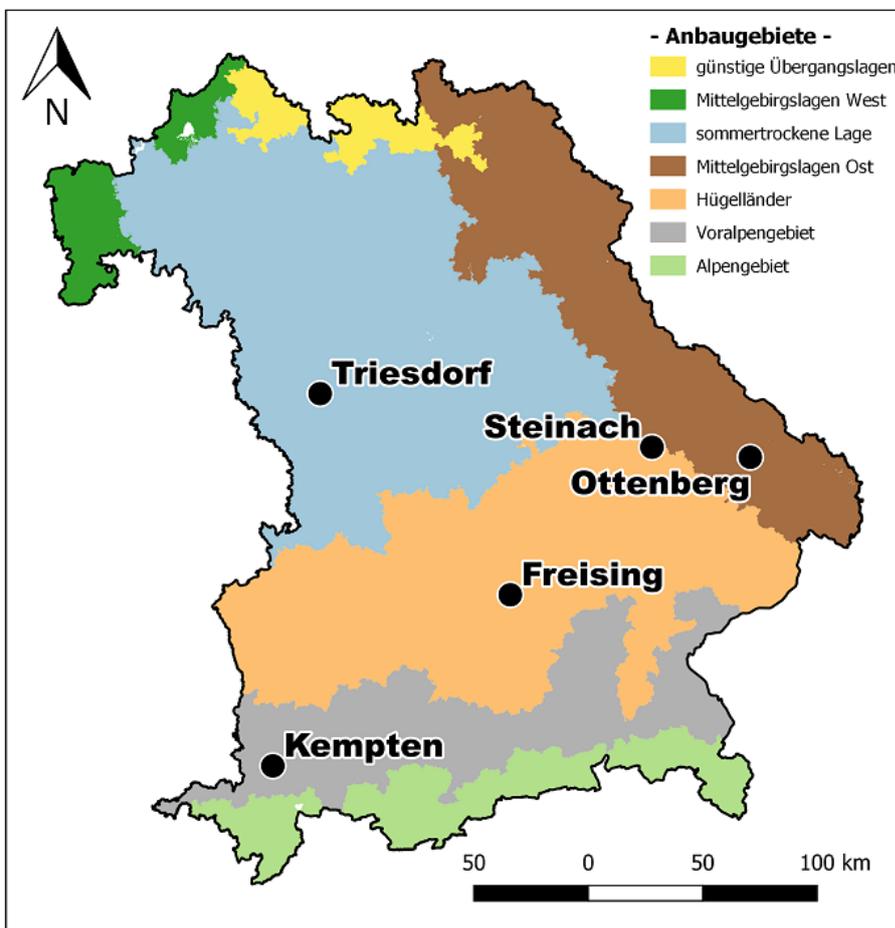


Abbildung 2: Lage der Testgebiete des GeoCare Projekts in den Anbaugebieten für Grünland in Bayern

Aufgrund der Unterschiede von Boden, Niederschlag und Temperatur zwischen den Testgebieten sind drei bis fünf Schnitte, je nach Kombination dieser Einflussfaktoren, am jeweiligen Standort möglich. Die Höhe über dem Meeresspiegel übt einen zusätzlichen Einfluss auf die Niederschlagsmenge und Temperatur aus. So liegt beispielsweise Kempten auf 675m, während Triesdorf nur 440m und Steinach lediglich 350m über dem Meeresspiegel liegt.

Betrachtet man die Temperaturkurven der Standorte ist auffallend, dass sich diese deutlich homogener verhalten als die Niederschlagsverteilung. Besonders wichtig ist hierbei die Beobachtung über mehrere Jahre, da in dem Untersuchungsjahr 2018 signifikant weniger Niederschlag fiel und in den Jahren 2017 und 2018 die Temperatur während der Vegetationsperiode über dem Mittel lag. Deutlich wird aus einem Vergleich der Temperatur- und Niederschlagsdaten, dass die höchst unterschiedliche Niederschlagsverteilung einen größeren Einfluss auf die Ertrags und Schnittmenge hat, als die räumlich homoge-

nerer Temperaturverteilung. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass eine große Menge an Felddaten der unterschiedlichen Standorte für die Trainings- und Testdaten benötigt wird, damit das neuronale Netz einen möglichst breiten Dateninput von Grünflächen erhält.

2.1.1.2 Erhebung der Schnitttermine und Erträge

Ab dem Jahr 2016 wurde an allen Standorten außer Freising, von Ende April bis Mitte Oktober in regelmäßigen Abständen (sieben bis 14 Tage) auf jeweils zwei bis drei Flächen pro Testgebiet die Anteile an Frischmasse (FM), Trockenmasse (TM), Rohfaser (XF), Rohprotein (XP), Rohfett (XL), Rohasche (XA) und Zuckeranteil (XZ) ermittelt (s. Abb. 4). Daneben erfolgte im Jahr 2016 an den Standorten Triesdorf, Kempten und Steinach eine genaue Untersuchung der Düngemenge, Artenzusammensetzung und Bodeneigenschaften (s. Tab. 3, 4 & 5). Die Auswertung des Grünschnittes bezüglich der Bestandteile und Qualität, die einen bedeutenden Einfluss für die Fütterung haben, erfolgte dabei über einen Unterauftrag mit dem Fachverband bayerischer Trocknungsgesellschaften e.V.. Bei der Auswertung durch die BLTD wurde, auf Grund von internen Problemen mit den Genossenschaften, nur 1/5 der gesamten Datensätze erfasst und / oder weitergeleitet. Eine Integration der erhaltenen Daten in eine, auf INVEKOS basierende, Shape Datei erfolgte durch die LfL und wurde an die Projektpartner weitergeleitet. Zusätzliche Daten aus Hessen, Sachsen und Österreich komplementierten diesen Datensatz.

Schnittzeitpunkte

Die Erfassung der Schnittzeitpunkte für die AP 2210, 2220 und 2230 erfolgte in Absprache mit den entsprechenden Außenstellen der LfL, die für das Projekt GeoCare Flächen zur Verfügung stellten.

Neben den Testflächen in Triesdorf, Kempten und Steinach, deren Schnittzeitpunkte in den Jahren 2016 und 2017 im ein bis zwei wöchentlichen Turnus aufgenommen wurden, sind zusätzlich Schnitttermine aus Gumpenstein (Österreich) für das Jahr 2017 im wöchentlichen Turnus erfasst worden. Im Jahr 2018 konnte eine tägliche Datenerhebung in Freising durchgeführt werden. Die aufgenommenen Daten aus dem Jahr 2016 waren in der Menge zu gering, wodurch die bereits genannten Flächen Gumpenstein (HBLFA Raumberg Gumpenstein) und Freising (LfL) in den Folgejahren 2017 und 2018 für den Datensatz zur Schnitterkennung und in das Ertragsmodellen integriert wurden.

Auf diesen Flächen wurden die üblichen Ertragsschnitte und ein Korrekturschnitt, mit geringem Ertrag (meist Ende September bis Mitte Oktober) vollzogen. Auf Grund der räum-

lichen Nähe, wurden einige Schnitte auf verschiedenen Flächen im gleichen Untersuchungsgebiet, am selben Tag vollzogen. Dies spricht dafür, dass die Eigenschaften und Artenzusammensetzung dieser Grünflächen ähnlich sein müssen (vgl. Tab. 3).

Bei einigen Flächen erfolgte ein verspäteter erster Schnitt. Dies kann auf ungünstige Bedingungen, wie sonnenabgewandte Hang- und Tallagen und großer Höhe hindeuten, wodurch eine Erwärmung des Bodens verzögert wird. Diese Eigenschaft führt, trotz insgesamt guter Ausgangsbedingungen zu einer Verzögerung beim Wachstum (Witwicki 2016). Ein langer Zeitraum zwischen dem vorletzten und letzten Schnitt charakterisiert eine Limitierung des Wachstums zum Ende der Wachstumsphase. Häufig ist dafür sommerlicher Trockenstress verantwortlich, da die nutzbare Feldkapazität (nFK) erschöpft ist und der Welkepunkt (WP) erreicht wurde (Schaumberger 2005).

Tabelle 2: Beispielhafte Schnittzeitpunkte in den Testgebieten 2016

Gebiet	Ottenberg	Steinach/Cham			Triesdorf		Kempten		
Fläche		Hagnzell	Bärnzell	Eiserszell	Brunnenwiese	Eichenwiese	Dorn&Distel	Leupartsried	Hängele
Schnitt 1	20.05.2016	09.05.2016	17.05.2016	17.05.2016	09.05.2016	09.05.2016	07.05.2016	07.05.2016	29.05.2016
Schnitt 2	27.06.2016	27.06.2016	04.07.2016	29.07.2016	17.06.2016	17.06.2016	21.06.2016	21.06.2016	06.07.2016
Schnitt 3	01.08.2016	03.08.2016	25.08.2016	28.09.2016	25.07.2016	25.07.2016	29.07.2016	28.07.2016	13.08.2016
Schnitt 4	19.09.2016	28.09.2016	19.10.2016		27.10.2016	27.10.2016	08.09.2016	08.09.2016	08.09.2016
Schnitt 5							12.10.2016	10.10.2016	10.10.2016

Erträge

Neben einer Erfassung der Schnitttermine wurde auch das Massenwachstum der Flächen untersucht, damit für das Ertragsmodell genügend Eingangsparameter vorliegen. Hierfür wurde in jeweils drei Parzellen auf allen Flächen Proben genommen und analysiert. Typisch für Grünland ist, dass das größte Wachstum in den ersten Monaten der Wachstumsphase stattfindet und anschließend konstant abnimmt. Kurz nach einer Mahd stagniert das Wachstum auf den geschnittenen Flächen. Aus diesem Grund wurden unmittelbar nach den Schnittterminen keine Daten erhoben, da kein großer Zuwachs zu erwarten ist. Auf vielen Flächen bleibt der Zeitraum zwischen den Mähterminen konstant, während die Zuwachskurve im Laufe der Wachstumsperiode abflacht. Gut sichtbar wird auch, dass auf fast allen Flächen zu Beginn ein etwa vergleichbares Wachstum stattfindet, welches sich nach dem ersten Schnitt stark differenziert.

Betrachtet man die Untersuchungsflächen indem man die Erträge der einzelnen Schläge über das Jahr kumuliert, so erkennt man die starken Ertragsunterschiede deutlich (s. Abb. 3). Bei den Flächen des gleichen Testgebietes ähnelt sich die Form der Wachstumskurven stark, auch wenn es zwischen den Flächen zu unterschiedlichen Massenerträgen kommt. In diesem Zuge fällt auch auf, dass auf den Flächen Brunnen- und Eichenwiese kein großer Massenzuwachs stattgefunden hat, da - mit Ausnahme des Kor-

rekturschnittes - nach dem Monat Juli kein Schnitt mehr durchgeführt wurde. Somit verringert sich der Zuwachs gegen null kg/m^2 , während die Testflächen aus der Region Steinach noch ein sehr starkes Wachstum aufzeigen. Der starke Zuwachs vor dem Schnitttermin und das darauffolgende Abflachen der Kurve entspricht dem typischen Wachstum nach einem Schnitt, dennoch wird durch die längere Kontrollpause der Phasenwechsel überstärkt dargestellt.

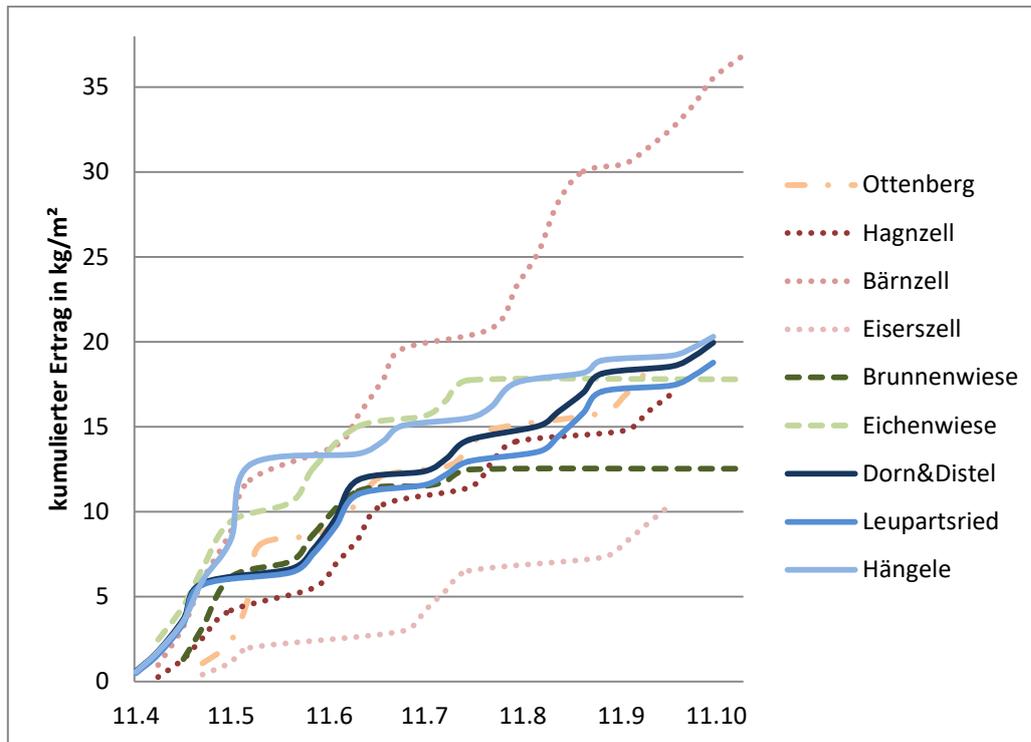


Abbildung 3: Kumulierte Erträge einiger Beispielparzellen auf den Testflächen des Jahres 2016

2.1.1.3 Qualitätsentwicklung und Laboruntersuchungen

Qualitätsentwicklung

Die Qualitätserfassung des Grünlandes erfolgte im Zuge der Ertragserhebung auf den Flächen durch die Trocknungsverbände. Auch diese Daten werden für die Modellierung der Erträge benötigt. Zusätzlich kann durch die Analyse der Bestandteile der optimale Schnittzeitpunkt definiert werden, um das bestmögliche Verhältnis aus Futtermenge und qualitativ hochwertigem Futter zu garantieren.

Dies wird erreicht, indem vor allem auf das richtige Verhältnis von Rohprotein und Rohfaser geachtet wird und je nach Fütterungsmethode (z.B. Frischfutter und Heu) unterschiedlich ausfallen sollte. Der Anteil an Rohfasern schwankt dabei konträr zum Rohproteingehalt. Der Zuckergehalt liegt zu Beginn der Wachstumsphase am höchsten und fällt im Laufe des Sommers ab. Am Ende der Wachstumsphase sind jedoch vereinzelt kleine-

re Anstiege im Zuckergehalt zu beobachten. Einheitliche Schwankungen sind, bei allen gemessenen futterrelevanten Eigenschaften des Grünlandes, nicht zu erkennen, was auf die unterschiedlichen klimatischen und geologischen Bedingungen, wie auch durch die Zusammensetzung der Arten begründet werden kann.

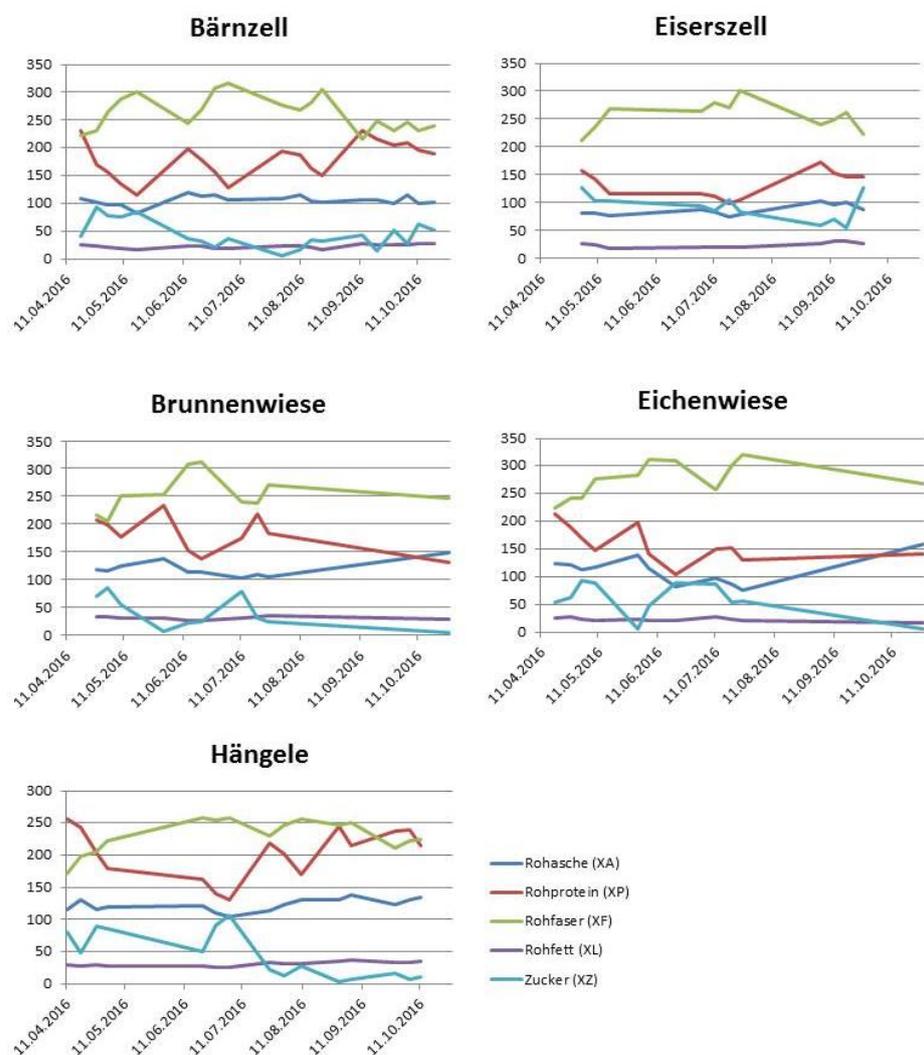


Abbildung 4: Beispiele der Veränderung in Nährstoffzusammensetzung und -gehalte in g/kg einzelner Parzellen

Artenzusammensetzung

Bei der Artenzusammensetzung ist auffallend, dass an den Standorten Triesdorf und Kempton, die sich durch eine hohe Schnitzzahl auszeichnen, das Deutsche Weidelgras (*Lolium perenne*) mit 55% die dominante Art darstellt, während in Ottenberg und Steinach der Anteil deutlich geringer ist. Die dominanten Arten bilden sich hier aus dem Wiesenfuchsschwanz (*Alopecurus pratensis*) mit 38,3%, dem Deutsche Weidelgras (*Lolium perenne*) mit 20,8% und dem Knautgras (*Dactylis glomerata*) mit 13,3%. Die Schwankungen der Anteile einzelner Arten sind im Vergleich zu den Standorten Triesdorf und Kemp-

ten beträchtlich (vgl. Tab. 3). Die prozentuale Verteilung aller Arten ist in Ottenberg und Steinach mit durchschnittlich 8,2% nicht nur geringer und folglich heterogener, als an den Standorten Triesdorf und Kempton, deren prozentualer Durchschnitt bei 12,8% liegt, sondern auch die Anzahl der unterschiedlichen Arten ist hier höher. So finden sich im Schnitt in Ottenberg und Steinach 12,8 Arten auf den Grünflächen, während in Triesdorf und Kempton nur acht Arten vorkommen.

Folglich können aus den Erkenntnissen der Artenzusammensetzung und deren Anteile folgende Annahmen getroffen werden. Die Arten werden grundlegend durch die räumliche Lage der Standorte in Bayern definiert. Zum einen erfolgt dies direkt, durch klimatische Einflüsse (s. Abb. 2), Bodentyp und Bodenart (s. Tab. 4). Zum anderen indirekt, da durch die Schnitthäufigkeit bestimmte Arten und deren Dominanz gefördert wird (s. Tab. 3).

Die Zusammensetzung der Arten, die für das Projekt GeoCare (AP2220) aufgenommen wurde, stimmt dabei mit den Daten aus dem Bericht Grünlandmonitoring der LfL überein (Kuhn et al. 2011). Abweichungen sind meist nur im einstelligen Prozentbereich. Lediglich beim Deutschen Weidelgras gibt es zwischen dem Grünlandmonitoring und den erhobenen Felddaten Differenzen, die im Bereich zwischen 10-25% liegen.

Tabelle 3: Prozentuelle Verteilung der Arten der Testgebiete des Jahres 2016

Jahr 2016	Wissenschaftlicher Name	Deutscher Name	Ottenberg	Steinach/Cham			Triesdorf		Kempton			
			4-Schnitt	Hagnzell 4-Schnitt	Bärnzell 4-Schnitt	Eiserszell 3-Schnitt	Brunnenwiese 4-Schnitt	Eichenwiese 4-Schnitt	Dorn&Distel 5-Schnitt	Leopardried 5-Schnitt	Hängele 5-Schnitt	
	<i>Achillea spec. (vmtl. millefolium)</i>	Schafgarbe		5				1				
	<i>Agropyron repens</i>	Kriech-Quecke						2	2			
	<i>Agrostis stolonifera</i>	Weißes Straußgras		1								
	<i>Alopecurus pratensis</i>	Wiesen Fuchsschwanz	18	50	55	30	5	20	5	10	35	
	<i>Anthoxanthum odoratum</i>	Ruchgras		1	1							
	<i>Cerastium spec.</i>	Hornkraut		1								
	<i>Dactylis glomerata</i>	Knautgras	26	20	5	2	10	10	5	7	2	
	<i>Gallium spec. (vmtl. mollugo)</i>	Labkraut		1								
	<i>Heracleum spec.</i>	Bärenklau	1							1		
	<i>Holcus lanatus</i>	Wolliges Honiggras		1	2	5						
	<i>Leontodon autumnalis</i>	Herbst-Löwenzahn		3								
	<i>Lolium perenne</i>	Deutsches Weidelgras	15	3	25	40	60	55	65	50	45	
	<i>Plantago lanceolata</i>	Spitzwegerich	1	1		2						
	<i>Poa pratense</i>	Wiesen-Rispe	25	3	2	5	15	7	10	5	5	
	<i>Poa trivialis</i>	Gemeine Rispe		1	1	1		2				0,5
	<i>Stellaria media</i>	Vogel-Sternmiere		1				1				
	<i>Ranunculus acris</i>	Scharfer Hahnenfuß				1						
	<i>Ranunculus repens</i>	Kriechender Hahnenfuß	1		1	1						
	<i>Rumex spec.</i>	Ampfer	1							1		
	<i>Taraxacum spec.</i>	Löwenzahn	5	4	2	10	5	1	10	20	10	
	<i>Trifolium repens</i>	Wiesenklees	1	3	5	3	2	2	5	5	2	
	<i>Trisetum flavescens</i>	Wiesen-Goldhafer	6	0,5	1					1		0,5
	<i>Veronica arvensis</i>	Feld-Ehrenpreis		0,5								

Bodeneigenschaften

Die Eigenschaften der Böden der untersuchten Grünlandflächen lassen Rückschlüsse auf die Schnitthäufigkeit zu und sind sie für die Modellierung der Ertragsmenge unabdingbar, da sie einen nicht zu unterschätzenden Einfluss auf das Massenwachstum und den zeitlichen Verlauf der Wachstumsphase darstellen (Käding H. et al. 2006).

Ein Großteil der Böden der Untersuchungsflächen in Triesdorf, Steinach und Ottenberg weisen einen hohen Anteil von lehmigem Sand auf, wobei vereinzelte Stellen deutlich

höhere Schluff- und Tonanteile zeigen. Da die Schluffmengen mit zunehmender Tiefe nur schwach ansteigen, kann davon ausgegangen werden, dass es sich bei diesen Standorten um alte Ablagerungen handelt, die möglicherweise aus Schmelzwasserabsätzen oder äolischer Umlagerung der pleistozänen Eisschicht transportiert wurden (Bahlburg & Breitzkreuz 2018).

Im Bereich Kempten zeigen die Böden eine deutlich gleichmäßigere Verteilung in ihrer Zusammensetzung, da es sich hierbei um Areale handelt, die direkt vor dem Gletscherückgang überdeckt waren. Folglich sind viele Flächen in der Nähe von Kempten durch kleine Moränen und Schuttablagerungen in eine hügelige Voralpenlandschaft gebettet. Diese Bodenart (Lt2) besitzt durch ihre schwächeren Schluff- und Tonanteil eine geringe nFK, da Wasser besonders in den feinkörnigen schluff- und tonhaltigen Böden gebunden wird (Blume et al. 2016).

Alle Böden zeigen eine mittlere Bodendichte (1,45-1,65 g/cm³), die mittels einer Trockenraumdichteanalyse (TRD) ausgewertet wurde. Die Werte liegen dabei im oberen Mittel, der für Grünflächen üblichen TRD (Blume et al. 2016). Der Skelettanteil im Boden variiert stark zwischen den Untersuchungsgebieten, liegt jedoch mit einem Mittel von 2,18 Vol% in einem üblichen Rahmen für Acker- und Grünflächen (Blume et al. 2016).

Tabelle 4: Bodenarten der aufgeführten Standorte in 20-30cm Tiefe. (Lt2: schwach toniger Lehm, Sl4: stark lehmiger Sand, Slu: schluffig-lehmiger Sand, Ut4: stark toniger Schluff)

Schlag	Ottenberg	Steinach/Cham			Triesdorf		Kempten		
		Hagnzell	Bärzell	Eiserzell	Brunnenwiese	Eichenwiese	Dorn&Distel	Leupartsried	Hängele
Bodenart	Sl4	Sl4	Ut4	Sl4	Sl4	Sl4	Lt2	Slu	Lt2
nFK (Vol%)	18	18	21	18	18	18	14	21	14
TRD	1,56	1,56	1,47	1,54	1,55	1,57	1,48	1,52	1,48
Skelettanteil (Vol%)	4,79	8,01	0,28	2,99	0,00	0,22	2,24	1,09	0,00

Düngung

Auf den Testflächen erfolgten Düngegaben in Form von biologischen (Gülle, Gärreste), sowie chemischen (Kalkammonsalpeter (KAS), Hydrosulfan (HS)) Düngemitteln.

Die Ausbringung von biologischen Düngern erfolgte auf den Parzellen ausschließlich nach einem Grünlandschnitt. Chemische Düngergaben konnten auch als Zwischendüngung zu unregelmäßigen Zeitpunkten erfolgen.

Die Düngemengen variierten je nach Ertrag der Parzellen, jedoch nicht in großem Ausmaß. Ertragreicherer Flurstücker erhielten größere Mengen Düngemittel um die, durch die Ernte entfernten, Nährstoffe wieder auszugleichen (vgl. Tab. 5).

Tabelle 5: Düngedatum und -menge auf den Testflächen des Jahres 2016

Ort	Datum	Art	Menge m ³ /ha	N kg/m ³	Ort	Datum	Art	Menge m ³ /ha	N kg/m ³
Ottenberg	23.3.	Rindergülle	15	2,8	Dorn & Distel	24.3.	Gärrest	17	3
	28.5.	Rindergülle	20	2,8		4.4.	KAS		27*
	4.7.	Rindergülle	20	2,8		13.5.	Gärrest	20	3
	8.8.	Rindergülle	20	2,8		23.5.	KAS		27*
Bärnzell	24.3.	Rindergülle	20	2,8		30.6.	Gärrest	23	3
	27.5.	Rindergülle	20	2,8		5.8.	Gärrest	24	3
	11.7.	Rindergülle	10	2,8		8.8.	KAS		27*
	29.8.	Rindergülle	20	2,8		16.9.	Gärrest	28	3
Hagnzell	23.3.	KAS		60*		19.10.	Gärrest	14	3
	12.5.	KAS		50*	Leupartsried	22.3.	Gärrest	17	3
	1.7.	KAS		50*		4.4.	KAS		27*
Eiserszell	24.3.	Rindergülle	20	2,8		12.5.	Gärrest	20	3
	27.5.	Rindergülle	20	2,8		23.5.	KAS		27*
	30.7.	Rindergülle	10	2,8		29.6.	Gärrest	23	3
Brunnenwiese	17.3.	Gärrest	18	3,90		4.8.	Gärrest	20	3
	12.5.	Gärrest	18			8.8.	KAS		27*
	12.7.	HS		40*		14.9.	Gärrest	28	3
	8.11.	Gärrest	18	3,61		19.10.	Gärrest	14	3
Eichenwiese	17.3.	Gärrest	18	3,90	Hängele	21.3.	Gärrest	17	3
	12.5.	Gärrest	18			4.4.	KAS		27*
	12.7.	HS		40*		23.5.	KAS		27*
	8.11.	Gärrest	18	3,61		25.5.	Gärrest	25	3
Kalkammonsalpeter: KAS, Hydrosulfan: HS						10.7.	Gärrest	25	3
						8.8.	KAS		27*
						17.8.	Gärrest	25	3
						12.9.	Gärrest	28	3
Werte aus Wendland et al. 2012 für alle Gülle und Dünger Nährstoffwerte, die nicht im Betrieb beprobt wurden						19.10.	Gärrest	14	3
					*: Menge kg/ha				

2.1.2 Erstellung standortspezifischer Datengrundlagen für das Datenmodell

Seitens der LfL wurden alle gewonnenen Daten in eine Geodatabase integriert. Als Grundlage dienten hierfür die nutzungsschlaggenauen Karten der entsprechenden Jahre aus der InVeKoS-Datenbank. Diese InVeKoS-Datensätze wurden durch die LfL auf die Parzellen der Testgebiete reduziert und anonymisiert. Anschließend erfolgte die Integration der neuen Daten (Schnittzeitpunkte, Erträge, Düngegaben, Laborwerte etc.) in den Datensatz. Die aufbereiteten Karten wurden als Shape-files an die Projektpartner weitergeleitet.

2.1.3 Datenakquise zur Validierung der Ergebnisse

Zur Validierung der Ergebnisse erfolgte eine stichpunktartige Erhebung von Schnittterminen ab dem Jahr 2017. Diese Datenerfassung konnte auf Grund eines Personalwechsels seitens der LfL im täglichen, statt eines wöchentlichen Turnus erfolgen.

Durch einen Kälteeinbruch im Q2 2017 erfolgte der erste Schnitt auf etlichen Wiesen verspätet. Zudem erfolgte auf diesen Wiesen ein Schnitt weniger als üblich. Somit gab es mehr drei- und vierschnittige Wiesen als in den vorhergehenden Jahren. Besonders diese Wiesen weisen eine hohe Heterogenität in Ertrag und Zusammensetzung auf. Eine Modellanpassung für diese Grünlandfläche ist dabei besonders schwierig.

Die Auswertung der Proben erfolgte wiederum durch den Fachverband bayerischer Trocknungsgesellschaften e.V.

2.1.4 Vorbereitung der Einbindung des Verfahrens in bestehende Datenstruktur

Durch das Projekt GeoCare konnte die Datengrundlage des Vorgängerprojektes Sat-GrünSchnitt weiter ausgebaut und die vorhandenen Ergebnisse weiter optimiert und auf kleinräumigen Maßstab erweitert werden. Die Resultate aus GeoCare legen somit die Grundlage für das Folgeprojekt MasterGras. In diesem Projekt wird die Umsetzung einer bayernweiten Schnittdetektion und Ertragsschätzung im Grünland angestrebt. Hierbei sollen die ermittelten Ertragszahlen durch regelmäßige Aktualisierung der Geodaten in wöchentlichen Intervallen auf dem aktuellsten Stand gehalten werden. Eine Datenabfrage soll mittels eines interaktiven Web-Interfaces umgesetzt werden.

2.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die angefallenen Projektkosten der LfL können in vier Gruppen aufgeteilt werden. Den größten Teil von 81% nehmen die Personalausgaben ein. 10% der Finanzierung entfallen auf Laborkosten. Etwa 5% der Projektkosten sind durch die Vergabe an Aufträgen resultiert. Vor allem aus angefallenen Kosten für die Externalisierung der Trocknung. 4% der Finanzierung wurden für Dienstreisen benötigt.

2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die im Zuge des Projektes durchgeführte Arbeit, entspricht dem vorher definierten Ziel (s. Langantrag). Dieses Projekt ist in seiner Umsetzung nötig, da eine Schätzung der Erntemenge von Grünland, wie auch deren Termindetektion langfristig zu einer Qualitäts- und Quantitätssicherung führt. Nach aktuellem Stand findet nur in Niedersachsen und Schleswig-Holstein eine solche Prognose, in Form von Schnittdetektion statt. Die in diesem Projekt entwickelten Methoden liefern gute Ergebnisse zur Schnitthäufigkeit und Ertragszahlen auf Basis unterschiedlicher Datenimplementierung.

2.4 Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Das wirtschaftliche Potential und die Erfolgsaussichten haben sich mit Abschluss des Projektes im Vergleich zur Antragsstellung nicht verändert. Im Zuge des Projektes sind

keine Erfindungen oder Schutzrechtsanmeldungen von Seite der LfL erfolgt. Das Ziel, die technische Umsetzung einer flächendeckenden Erfassung der Schnitthäufigkeit und der Erträge in ganz Bayern nach Abschluss des Projektes ist bei entsprechender Finanzierung und Aufsetzung eines Folgeprojektes zur Implementierung der Daten in ein Open-GIS realistisch. Weitere Möglichkeiten zur Validierung der Düngeabgaben und Bildung von ökologischen wertvollen „Grünen Bändern“ durch Integration von Grünlandflächen sind umsetzbar. Weiterhin könnten sich (im Kontext mit weiteren Daten) Hinweise auf die zu erwartende Diversität der Grünlandarten in bestimmten Regionen, sowie über Zeitreihenanalysen (Erfassung, Regionalisierung und Quantifizierung von Nutzungsänderungen) Argumentationsgrundlagen für die Politikberatung ergeben. Damit kann die LfL als Mittelbehörde des Bundeslandes Bayern ihr Ziel einer ressourceneffizienten und steuermittelsparenden Unterstützung bei der Umsetzung des Dienstauftrages erfüllen. In Folgeprojekten sollte daher der Fokus auf diesen Themenbereich weiter vertieft werden, wie auch eine Ausweitung und Adaption auf Flächen in ganz Deutschland stattfinden. Die mit diesem Projekt gewonnenen Ergebnisse für Bayern bzw. die hier genutzte Software / Satellitendatenkombination ist grundsätzlich von allen Länder- & Bundesdienststellen in Deutschland nutzbar (z.B. im Rahmen der, vom wissenschaftlichen Beirat für Biodiversität und genetische Ressourcen beim Bundeslandwirtschaftsministerium geforderten, „nationalen Grünlandstrategie“). Diese Adaption ist allerdings nur möglich, wenn ein deutschlandweiter Zugriff auf anonymisierte InVeKoS- Nutzungsdaten zur Verfügung gestellt wird, da eine Grünlanddetektion auf Basis von Sentinel-1 A und B Daten zu Ungenauigkeiten und eventuellen Falschdetektionen führt. Nach aktuellem Stand muss daher für die deutschlandweite Projektausweitung zuerst eine Möglichkeit eines anonymisierten Zugriffes auf InVeKoS- Daten stattfinden.

2.5 Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Während der Durchführung des Vorhabens gab es bei anderen Stellen keine wesentlichen Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens.

2.6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen

Die Erkenntnisse und erzielten Ergebnisse aus dem Projekt GeoCare wurden auf Fachtagungen und Konferenz vorgestellt. Zusätzlich wurde in dazugehörigen Tagungsbänden und Fachzeitschriften publiziert (s. Tab. 6).

Tabelle 6: Veröffentlichungen und Publikationen des Projektes GeoCare auf Tagungen und Konferenzen

Datum	Tagung/Zeitschrift	Beitragsform	Titel
05.2016	DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt); Fachpublikum Vertreter von Bundes- und Landesbehörden	Vortrag	Satellitengestützte Schätzung von Grünland- und Feldfuttererträgen
06.2016	Führungsakademie Bayern: Schule & Beratung	Vortrag	Satellitengestützte Ertragsermittlung im Grünland: Nutzung von Radardaten in der Landwirtschaft
06.2016	Geofachdaten LfL, Freising	Vortrag	Satellitengestützte Schätzung von Grünland- und Feldfuttererträgen
06.2016	LfL; GIS-Anwender an der LfL	Vortrag	Nutzung von Sentinel-Radardaten für die Schätzung von Grünland- und Feldfuttererträgen
07.2016	Kollegen des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung und FZ Pflanzenbau der ÄELF	Vortrag	Information zu den Projekten SatGrünschnitt und GeoCare
08.2016	60. Jahrestagung der AGGF, „Nachhaltige Milchproduktion: Forschung und Praxis im Dialog“	Artikel	Regionalisierte Erfassung von Nutzungsintensitäten im Grünland
09.2016	Universität Marburg und GfÖ e.V.; Wissenschaftler	Vortrag	Satellite-based monitoring of grassland – Assessment of cutting dates and frequency using Sentinel data
10.2016	Schule und Beratung (SUB), Schule und Beratung - Fachinformationen aus der Landwirtschaftsverwaltung in Bayern	Artikel	Satellitengestützte Ertragsermittlung im Grünland - Flächendeckende Ertragsermittlung über Radardaten
01.2017	top agrar	Artikel	Schnitt-Termine per Satellitenbild ermitteln
03.2017	dlz agrarmagazin	Artikel	Vom Weltraum auf Wiesen und Weiden
03.2017	Elite Magazin für Milcherzeuger	Artikel	Schnittzeitpunkt und Erträge künftig satellitengestützt abschätzen?
03.2017	Nationales Copernicus Forum 2017	Poster	Flächendeckende Bestimmung der Schnitthäufigkeit im Grünland mit Sentinel-1 Daten
03.2017	Genossenschaftsverband Bayern; Geschäftsführer, Vorstands- und Aufsichtsratsmitglieder von Trocknungsgenossenschaften	Vortrag	Satellitengestützte Ertragserfassung
03.2017	Nationales Copernicus Forum 2017	Vortrag	GeoCare - Geoinformationstechnologie für landwirtschaftlichen Ressourcenschutz und Risikomanagement
05.2017	Berater der Erzeugerring	Vortrag	Ergebnisse aus dem Raum Rosenheim/Osterseeon zu den Projekten SatGrünschnitt und GeoCare

08.2017	61. Jahrestagung der AGGF, „Nachhaltige Futterproduktion auf Niedermoorgrünland“	Artikel	Satellitengestützte Erfassung von Schnitffrequenz und Grünlandertrag auf organischen Böden
10.2017	Grünlandheft "Spitalhof" - Versuchs- und Beratungsergebnisse	Artikel	Satellitengestützte Schätzung von Grünlanderträgen
11.2017	57. Jahrestagung des DLG-Ausschusses Gräser, Klee und Zwischenfrüchte	Vortrag	Berichte zum Stand von laufenden Projekten der Arbeitsgruppe IPZ 4b der LfL gefördert im Rahmen des Programms zur Innovationsförderung des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft des BMEL.
02.2018	top agrar	Artikel	Ertrag von oben bestimmen: Erste Anwendungen des Copernicus-Satellitenprogramms auf dem Markt
04.2018	Infotag Digital Farming im StMELF	Infostand	Infotag Digital Farming
07.2018	Arbeitsgruppe Fernerkundliche Methoden	Vortrag	„Datenmanagement“ und „Spektrale Bildanalyse mittels R“.
07.2018	Allgäuer Festwoche	Infostand	Projektvorstellung bei der Allgäuer Festwoche
09.2018	StMELF	Vortrag	Information zum Stand des Projektes GeoCare
09.2018	SUSALPS Conference 2018	Poster	Comparison of different methods for the detection of cutting frequency of grassland with radar satellite data
10.2018	Innovationstagen 2018	Vortrag	Geoinformationstechnologie für landwirtschaftlichen Ressourcenschutz und Risikomanagement
09.2019	Workshop "Precision farming - using new technologies to optimise grassland systems"	Vortrag	Determination of cutting frequencies from SAR for estimation of crop yields and pollen flight

Im Folgenden sind alle Publikationen in Fachzeitschriften und Tagungsbänden aufgeführt, die im Zuge des Projektes GeoCare an der LfL entstanden sind:

Malß S. et al. (2018): The use of radar satellite images for the detection of cutting frequency of grassland; Proceedings of the 27th European Grassland Federation General Meeting on "Sustainable Meat and Milk Production from Grasslands"

Hartmann, S., Wagner, K. (2018): Ertrag von oben bestimmen. top agrar, 2, Hrsg.: Landwirtschaftsverlag GmbH, 96 – 98

Hartmann, S. (2017): Schnittzeitpunkt und Erträge künftig satellitengestützt abschätzen?. Elite Magazin für Milcherzeuger, 2, Hrsg.: Landwirtschaftsverlag GmbH, 34

Grant, K. et al. (2017): Satellitengestützten Erfassung von Schnittfrequenz und Grünlandertrag auf organischen Böden. Tagungsband der 61. Jahrestagung der AGGF, „Nachhaltige Futterproduktion auf Niedermoorgrünland“, Hrsg.: Professur für Landnutzungssysteme am Albrecht Daniel Thaer-Institut für Agrar- und Gartenbauwissenschaften der Humboldt-Universität zu Berlin, 57 – 60

Grant, K., Hartmann, S. (2017): Satellitengestützte Schätzung von Grünlanderträgen. Grünlandheft "Spitalhof" - Versuchs- und Beratungsergebnisse. Hrsg.: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft.

Grant, K., Hartmann, S. (2017): Schnitt-Termine per Satellitenbild ermitteln. top agrar, 6, Hrsg.: Landwirtschaftsverlag GmbH, 64

Grant, K. (2017): Ertrag per Satellit erfassen. top agrar, 10, Hrsg.: Landwirtschaftsverlag GmbH, 76

Grant, K., Hartmann, S. (2017): Vom Weltraum auf Wiesen und Weiden. dlz agrarmagazin, 3, Hrsg.: DLG Verlag GmbH, 84

Grant, K., Hartmann, S. (2016): Satellitengestützte Ertragsermittlung im Grünland - Flächendeckende Ertragsermittlung über Radardaten. Schule und Beratung (SUB), 9-10/2016, Schule und Beratung - Fachinformationen aus der Landwirtschaftsverwaltung in Bayern, Hrsg.: Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, 31 – 34

Siegmund, R., et al. (2019): Grassland monitoring based on Sentinel-1. Proc. SPIE 11149, Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology 21, 1114902

3 Erfolgskontrollbericht

3.1 Beitrag zu förderpolitischen Zielen

Ziel des Projektes war es, eine flächendeckende Ertragsabschätzung im Grünland über die satellitengestützte Bestimmung der Schnittzeitpunkte in Verknüpfung mit einem Wachstumsmodell zu entwickeln. Die Ergebnisse dieses Vorhabens schaffen für das Ressort eine personal- und kosteneffiziente Grundlage für die Politikberatung, die Beratung von landwirtschaftlichen Organisationen, bis hin zum Einzellandwirt und Verbundpartner. Sie liefert dem Ressort darüber hinaus eine valide Grundlage in der Diskussion mit z.B. dem StUMV oder NGO's. Des Weiteren wurde eine Basis bereitgestellt, welche es ermöglicht, einen permanenten Dienst (Web-Application) zum Abruf und Prognose von Ertragszahlen im Grünland für den Freistaat und die benachbarten Bundesländer (Ländergruppe Mitte-Süd) zu schaffen (Siehe Schlussbericht Kapitel 2.4).

3.2 Wissenschaftlich-technische Ergebnisse

Während der Projektlaufzeit wurde das Verfahren zur Probennahme und Laboranalysen mit den Projektpartnern optimiert. Auch die Schnittterminerfassung einzelner Schläge zur Modellvalidierung wurde während des Projektes kontinuierlich verbessert. Das Wissen des Ressorts zum Thema Geodatenbanken, Geodatafiles und Geoinformationssystemen wurde weiter ausgebaut und der Datenaustausch zur Modellentwicklung, -kalibration und -validierung unter den Projektpartnern optimiert.

Erhebung weiterer Referenzdaten (AP 2210 & 2220): Im Testgebiet Freising wurden täglich Grünlandschnitte auf über hundert Flächen kontrolliert und erfasst. Diese dienen zur Generierung von Validierungsdaten, um das Modell zur Schnittterminerkennung besser kalibrieren und validieren zu können.

Laboruntersuchung Futterqualität (AP2210): Wegen der Trockenheit während der Vegetationsphase 2018 konnten nicht alle Schnitte beprobt werden, so dass weniger Daten zur Verfügung standen (84 Proben von 4 Testflächen). Diese Proben wurden im Labor ausgewertet und die Ergebnisse an die Projektpartner weitergeleitet.

Übergreifende Genauigkeitsanalysen, Modellevaluierung (AP2230):

Schnittterminerfassung: Die Schnittterminerfassung mittels Ratio Detection Methode seitens der GAF AG zeigt eine Genauigkeit von 83%. Eine noch höhere Genauigkeit von 91% zeigte das Machine Learning Modell. Im Folgeprojekt MasterGras sollen diese guten Ergebnisse weiter ausgebaut und optimiert werden.

Ertragsmodelle: Die beiden Ertragsmodelle der Universität Kiel (Prof. Taube / Prof. Oppelt) konnten - trotz längerer und intensiver Bemühungen - keine hinreichenden Ergebnisse liefern. Daher wurden beide Modelle im weiteren Projektverlauf nicht weiter verfolgt.

Um diese Lücke in der Ertragsschätzung zu schließen wurde kurzfristig von der GAF AG, mit fachlicher Unterstützung Seitens DWD und LfL das Ertragsmodell GI³S entwickelt. Dieses Modell zeigt mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,82 ein hohes Potential zur Ertragsschätzung im Grünland. Dieses Ertragsmodell soll in das Folgeprojekt MasterGras integriert und weiter optimiert werden.

3.3 Fortschreibung des Verwertungsplanes

3.3.1 Angestrebte Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und bereits erteilte Schutzrechte

Es sind keine Erfindungen oder Schutzrechtsanmeldungen durch die LfL erfolgt.

3.3.2 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende

Die wirtschaftlichen Erfolgsaussichten nach Projektende haben sich im Vergleich zur Antragsstellung nicht geändert.

3.3.3 Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende

Die wissenschaftlichen/technischen Erfolgsaussicht für die automatisierte, flächendeckende Erfassung der Schnitthäufigkeit der Testregionen scheint weiterhin realistisch. Die Erwartung, dass das Grünlandertrags- und Qualitätsmodell bis Projektende regionale Ertragsdaten in den Testregionen für die Grünlandflächen liefern wird wurde erfüllt. Bereits ohne Ertragsmodell können sich mit Hilfe vorhandener Ertragstabellen aus der Schnitthäufigkeit und weiteren Faktoren wie dem Bestandstyp Ertragszahlen ableiten, mit deren Hilfe sich Düngegaben auf Plausibilität überprüfen lassen.

3.3.4 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Ein Antrag auf Förderung eines folgenden Forschungs- und Entwicklungsvorhabens (FuE) durch das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten unter dem Kurztitel „MasterGras“ ist eingereicht und genehmigt worden.

Das Ziel von „MasterGras“ ist die technische Umsetzung der Ergebnisse aus GeoCare als permanenten, automatisierten, flächendeckenden Service in der Ressort-IT des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF).

Es soll ein, für die praktische Arbeit des Ressorts (Politikberatung/Maßnahmenkontrolle) nutzbares Werkzeug zur flächendeckenden Erfassung von Schnitthäufigkeiten (Nutzungsintensitäten) und Erträgen auf Grünland und im Feldfutterbau in Bayern geschaffen werden. Für eine Umsetzung als permanenten Service ist zum überwiegenden Teil Programmierarbeit (Einbindung in die bestehenden IT-Strukturen) und Validierung der Ergebnisse notwendig.

Angestrebt ist die Erweiterung des Services auf benachbarte Bundesländer - im ersten Schritt auf jene, die bereits jetzt kostenfrei dem Projekt GeoCare Daten bereitstellen sowie die Entwicklung einer Handlungsempfehlung in Zusammenarbeit mit dem DWD für Grünlandwirte.

3.4 Arbeiten die zu keiner Lösung geführt haben

AP2220: Verifizierung der Grobklassifizierung der Grünlandsbestandstypen, abgeleitet von Schnittfrequenzkarten und Standortinformation.

Die Auflösung der unterschiedlichen Eingangsparameter (Sattelitendaten, Bodenkarten, Niederschlagsdaten, Höhenmodell) ist zu different um eine großflächige schlaggenaue Klassifizierung durchzuführen. Eine Analyse einzelner Schläge wäre mit vorliegenden Daten möglich, jedoch aufgrund der kleinräumigen Arten- und Bestandsverteilung sehr ungenau. Eine Detektion von Ausreißern, welche auf Grund von z.B. Unterversorgung (Wasser, Nährstoffe Licht), schnell wechselnder Bodenarten (Fluvialer Lössablagerungen, Karstgestein im Untergrund, zu Staunässe neigende Böden) oder anderer Faktoren die sich stark von ihren umliegenden Parzellen unterscheiden wäre möglich. Wie bereits im Schlussbericht Kapitel 2.1.1.3 erwähnt stimmt in einer ersten Evaluierung die Grobklassifizierung der Artenzusammensetzung, die für das Projekt GeoCare (AP2220) aufgenommen wurde, mit den Daten aus dem Bericht Grünlandmonitoring der LfL überein (Kuhn et al. 2011). Abweichungen sind meist nur im einstelligen Prozentbereich. Diese, von der Grobklassifizierung abweichenden Flächen der Grünlandsbestandstypen könnten mittels vorliegender Daten identifiziert werden. Eine Analyse der Eingangsparameter könnte Aufschluss über die Ursache der Differenz liefern. Eine tieferegreifende Analyse dieser Fragestellung und Evaluierung weiterer Ergebnisse wird im Folgeprojekt MasterGras angestrebt.

3.5 Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer

Bisherige Forschungsergebnisse können für Präsentationen und Vorträge genutzt werden (Siehe Schlussbericht Kapitel 2.5). Die technische Umsetzung der Ergebnisse des Projekts GeoCare, als internen Web-Service für das Ressort, wird im Folgeprojekt MasterGras umgesetzt (Siehe Schlussbericht Kapitel 3.3.4).

3.6 Einhaltung der Kosten- und Zeitplanung

Der spätere Projektbeginn hat vor allem bei den Kooperationspartnern zu Verzögerung bei der Einstellung von Personal geführt. Daher zeichneten sich bereits früh Änderungen im Arbeitsplan ab. Dies betraf auch die LfL, da viele der Arbeiten in Abstimmung mit den Kooperationspartnern erfolgen mussten bzw. Aufgaben, wie die gemeinsame Auswertung der Arbeitsergebnisse mehrerer Kooperationspartner betrafen.

Zusätzlich führte eine stark eingeschränkte und verspätete Datenerfassung und -weitergabe seitens des Fachverbandes bayerischer Trocknungsgesellschaften zu großen Verzögerungen. Es wurden nur 1/5 der vereinbarten Probenmenge erfasst und/oder weitergegeben. (Beispielsweise wurden die Ergebnisse des Frühjahres 2017 erst 2018 vorgelegt) Dies hatte zur Folge, dass die LfL nur eine sehr geringe Stichprobengröße zur Modellkalibrierung und -validierung an die Projektpartner weitergeben konnte. Dies verzögerte die Modellentwicklung der Kooperationspartner zusätzlich. Zudem führte die stark verringerte Probenmenge zu Ungenauigkeiten bei der Kalibrierung der Datenmodelle. Eine Kompensation wurde Seitens der LfL durch Implementation weiterer Testgebiete versucht, jedoch wurde nicht der ursprünglich geplante Umfang erreicht.

Am Stärksten betroffen war dadurch das Arbeitspaket 2300. Die übergreifende Modellevaluierung sowie die Publikation der Ergebnisse konnten erst erfolgen, nachdem die Arbeiten an den Modellansätzen abgeschlossen waren.

4 Kurzfassung

Ziel des Projektes „GeoCare“ war die Erfassung der landwirtschaftlichen Grünlanderträge in Bayern, um angewandte Managementmaßnahmen und die zukünftige Produktionsfähigkeit zu optimieren. Mittels frei verfügbarer Geodaten des europäischen Erdbeobachtungsprogramms „Copernicus“, wie auch durch Feldaufnahmen wurde eine Anwendung geschaffen, welche eine schlaggenaue Schnittdetektion ermöglicht. Großes Potential bietet hierfür die Kombination aus phänologischen Grünlandmodellen und Radardaten. Bis dato werden Grünlanderträge auf Basis lokaler Datenerhebung und Expertenwissen geschätzt. Um eine zukunftsorientierte agrarökonomische Perspektive zu schaffen muss diese äußerst kosten- und zeitintensive Erfassung im Zuge der Landwirtschaft 4.0 und der Big Data Verfügbarkeit verbessert werden. Eine kleinräumige Erfassung von Grünlandschnitten wurde 2016 durch das Projekt „SatGrünschnitt“ erstmals möglich. Im Projekt „GeoCare“ konnte dies, durch neue Datenverfügbarkeit und -integration, auf eine überregionale Fläche ausgeweitet werden.

Die Erfassung von Schnittterminen und -häufigkeiten ist neben Faktoren, wie Düngung, Boden und Klima wichtiger Bestandteil zur Bestimmung von Ertrag und Futterqualität. Zusätzlich erhält eine verbesserte Erfassung der Felderträge in Zukunft eine große Bedeutung, da er für die geforderte Berechnung von Düngegaben Voraussetzung ist und zu deren Kontrolle genutzt werden kann. Dies kann einerseits langfristige Schäden durch Überdüngung und andererseits Unterdüngung von Flächen mit hohem Ertragspotential reduzieren. Auch besteht die Möglichkeit mit diesem Werkzeug eine Grundlage für die Politikberatung zu schaffen.

Das hier entwickelte Verfahren kann in Zukunft für Fragen transnationaler Grünlandertragserfassung und Bestimmung von optimalen Schnittterminen weiter ausgebaut werden.

5 Literaturverzeichnis

- Baghdadi, N., et al. (2009): Potential of SAR sensors TerraSAR-X, ASAR/ENVISAT and PALSAR/ALOS for monitoring sugarcane crops on Reunion Island. *Remote Sensing of Environment*, **113**, 1724 - 1738
- Bahlburg, H., & Breitzkreuz, C. (2018): Grundlagen der Geologie. *Springer-Verlag*
- Betbeder, J., et al. (2016): Assimilation of LAI and dry biomass data from optical and SAR images into an agro-meteorological model to estimate soybean yield. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, **9**(6), 2540-2553
- Blume, H. P., et al. (2016): Scheffer/Schachtschabel: Lehrbuch der Bodenkunde. *Springer-Verlag*
- Diepolder, M., et al. (2013): Rohproteinerträge und -gehalte bayerischer Grünlandflächen. Mehr Eiweiß vom Grünland und Feldfutterbau - Potenziale, Chancen und Risiken. *Tagungsband der AGGF*, **57**, 136 - 140
- Dusseux, P., et al. (2014): Combined use of multi-temporal optical and radar satellite images for grassland monitoring. *Remote Sensing*, **6**(7), 6163 - 6182
- EU-Parlament (17.12.2013): Verordnung (EU) Nr. 1305/2013 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Dezember 2013 über die Förderung der ländlichen Entwicklung durch den Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums (ELER). *Amtsblatt der Europäischen Union*, **347** 487 - 548 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:32013R1305> (Stand: 12.05.2019)
- Friedl, M. A., et al. (1994): Estimating grassland biomass and leaf area index using ground and satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, **15**(7), 1401 - 1420
- Grant, K., et al. (2017): Satellitengestützte Erfassung von Schnitffrequenz und Grünlandertrag auf organischen Böden. *Tagungsband der AGGF*, **61**, 57 - 60
- Grant, K., et al. (2015): Satellite-based assessment of grassland yields. The International Archives of Photogrammetry, *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, **40**(7), 15.
- Grant, K.; et al. (2016): Optimierung der satellitengestützten Erfassung von Schnittterminen durch RADOLAN-Niederschlagsdaten. *Tagungsband der AGGF*, **60**, 133 - 136
- Herrmann, A., et al. (2005): Performance of grassland under different cutting regimes as affected by sward composition, nitrogen input, soil conditions and weather - a simulation study. *European Journal of Agronomy*, **22**(2), 141-158
- Käding, H., et al. (2006): Modell zur Errechnung von Ertrag und Futterqualität des Grünlandes in Nordostdeutschland anhand von Standort- und Bewirtschaftungsmerkmalen. Handbuch für Modellanwender. *Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung, Institut für Landnutzungssysteme und Landschaftsökologie*
- Klingler, A. et al. (2019): Vergleich unterschiedlicher Methoden zur Schätzung von Blattflächenindex in Dauergrünlandbeständen. Dreiländertagung der DGPF, der OVG und der SGPF, *Publikationen der DGPF*, **28**, 301 - 309
- Kuhn, G., et al. (2011): Grünlandmonitoring Bayern: Ersterhebung der Vegetation 2002-2008. *LfL*, **3**
- Nouvellon, Y., et al. (2001): Coupling a grassland ecosystem model with Landsat imagery for a 10-year simulation of carbon and water budgets. *Remote Sensing of Environment*, **78**, 131-149
- Oppelt, N. M. (2010): Use of remote sensing data to assist crop modeling. *Journal of Applied Remote Sensing*, **4**(1), 041896

Schaumberger, A. (2005): Ertragsanalyse im österreichischen Grünland mittels GIS unter besonderer Berücksichtigung klimatischer Veränderungen. Diplomarbeit. *Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein*

Tamm, T., et al. (2016): Relating Sentinel-1 interferometric coherence to mowing events on grasslands. *Remote Sensing*, **8**(10), 802

Taravat, A., et al. (2019): Automatic Grassland Cutting Status Detection in the Context of Spatiotemporal Sentinel-1 Imagery Analysis and Artificial Neural Networks. *Remote Sensing*, **11**(6), 711 - 724

Voormansik, K. (2014): X-band synthetic aperture radar applications for environmental monitoring. *Doctoral dissertation*. University of Tartu

Voormansik, K., et al. (2015): Observations of cutting practices in agricultural grasslands using polarimetric SAR. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, **9**(4), 1382 - 1396

Wendland, M., et al. (2012): Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland. 10. unveränderte Auflage. LfL-Information. *Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)*

Witwicki, D. L., et al. (2016): Effects of climate and water balance across grasslands of varying C3 and C4 grass cover. *Ecosphere*, **7**(11)