

Flächenhafte Erfassung von Schnittterminen mittels Radartechnik zur Optimierung von Grünlandertragsschätzungen

Grant, K.¹, Siegmund, R.², Wagner, M.², Kluß, C.³, Herrmann, A.³, Taube, F.³ & Hartmann, S.¹

¹ Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung,
Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising

² GAF AG, München

³ Grünland und Futterbau/Ökologischer Landbau,
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel

Kerstin.Grant@lfl.bayern.de

Einleitung und Problemstellung

Zurzeit gibt es keine kostengünstige und praktikable Möglichkeit, flächendeckend genaue Ertragszahlen für Grünland zu erheben. Daher erfolgt bisher eine Schätzung der Erträge, die auf Stichproben und Expertenwissen beruht. Schnitttermin und Schnitthäufigkeit sind neben Klima, Boden, Pflanzenszusammensetzung und Düngung wichtige ertragsbestimmende Faktoren und werden als Eingangsdaten für Ertragsmodellierungen benötigt (vgl. HERRMANN *et al.*, 2005). Weiterhin werden in Abwesenheit von Ertragszahlen Düngemengen anhand der Schnitthäufigkeit abgeleitet (WENDLAND *et al.*, 2012). Eine flächenhafte Erfassung der Schnitttermine und -häufigkeit kann dazu beitragen, Ertragsschätzungen zu präzisieren sowie bei Plausibilitätskontrollen für Düngemiteleinsatz zu unterstützen. Weiterhin könnte diese flächenhafte Information auch relevant für Fragen des Naturschutzes sein (HERBEN und HUBER-SANNWALD, 2002). Daher ist es notwendig, eine kosten- und zeiteffiziente Methode zur Erfassung der Schnitttermine im Grünland zu finden. Mit Methoden der Fernerkundung können gut flächenhafte Veränderungen auf der Erdoberfläche erfasst werden. In dieser Studie wurden Radardaten genutzt, um über die Veränderung der Radarwellenrückstreuung in zeitlich nah aufeinanderfolgenden Radaraufnahmen die Schnitttermine auf Einzelschlagenebene zu detektieren. Langfristig sollen die frei und kostenlos verfügbaren Sentinel-1 Daten des europäischen Erdbeobachtungsprogramm Copernicus verwendet werden. Zusätzlich wurde in dieser Studie das Ertrags- und Qualitätsmodell FORPROQ auf verschiedene Grünlandtypen im Testgebiet angepasst. Durch eine Kombination der satellitengestützten Schnittterminerfassung mit dem Ertragsmodell können in Zukunft Grünlanderträge flächendeckend und kostengünstig geschätzt werden.

Detektion von Grünlandschnitten mittels RadARBildvergleich

Als Datengrundlage dieser Arbeit dienen Radaraufnahmen des COSMO-SkyMed Systems (CSK) vom 3. und 15. Oktober 2014 sowie Sentinel-1A Aufnahmen vom 5. und 17. Oktober 2014, die das Testgebiet südöstlich von München (Teile der Landkreise Ebersberg und Rosenheim) abdecken. Die COSMO-SkyMed Daten sind HH polarisierte X-Band SAR Bilddaten und liegen im Produktlevel 1A, also in Form von Single Look Complex (SLC) Daten, vor. Aufgenommen wurden die Radarszenen im HImage Modus. Die Daten sind komplexwertige Datenmatrizen, deren Werte die Intensität und Phase der Radarrückstreuung enthalten. Die Pixelauflösung beträgt 3 m x 3 m. Die Sentinel-1A Daten sind hochaufgelöste, VV/VH polarisierte C-Band SAR Bilddaten und liegen als GRHD Format, Produktlevel 1 vor. Sie wurden im Interferometric wide swath Modus aufgenommen und haben eine Pixelauflösung von 20 m x 20 m. Für die Georeferenzierung der Radarbilder wurde zunächst eine Orthokorrektur mit einem digitalen Geländemodell (Range Doppler Terrain Correction, SRTM) und eine Reprojektion in das Koordinatensystem 3-Grad Gauss-Krüger Zone 4 vorgenommen. Für die Datenanalyse sowie für die Vergleichbarkeit der Radaraufnahmen erfolgte eine absolute, radiometrische Kalibrierung. Für die CSK Aufnahmen erfolgte zusätzlich eine Specklefil-

terung mit einem adaptiven Frostfilter (window size 7*7) zur Verbesserung der allgemeinen Bildqualität und zur Erhöhung der Trennbarkeit. Alle Bearbeitungsschritte wurden mit dem Softwarepaket Sarscape (unter ENVI) und ERDAS Imagine durchgeführt. Zum Zweck der Visualisierung wurden die Daten als GeoTIFF (unsigned 8bit) exportiert und zusammen mit einem Shapefile der im Gelände kartierten Grünlandflächen mit bekannten Schnittterminen in ArcGIS analysiert. Die Grauwerte der Bilder geben die Radarsignalstärke wieder. Für jede Grünlandfläche wurden die Grauwerte aus den Rasterdaten extrahiert. Anhand dieser Werte wurden Mittelwerte der Grauwerte berechnet. Schnitte ergeben sich dadurch als Änderung in der mittleren Rückstreuintensität, also als Verschiebung der Grauwertverteilung zu helleren Tönen (Abb. 1).

Feststellung und Modellierung von Grünlandertrags- und Qualitätsverläufen

Während der Vegetationsperiode 2014 wurden an sechs Standorten mit Weidelgras dominierten Beständen im Testgebiet in regelmäßigen Abständen Proben genommen, um Aufwuchs- und Qualitätsverläufe festzustellen. In dieser Studie werden nur die Standorte Osterseeon, Grub und Karolinenfeld beschrieben. Der Versuchsstandort Osterseeon ist ein Sortenversuch für *Lolium perenne* der frühen Erntegruppe mit 6 Schnitten im Jahr 2014. Der Boden hat eine nutzbare Feldkapazität (nFK) von rund 14 Vol.% in den oberen 60 cm. Die Grünlandfläche in Grub hat eine lückige Grasnarbe. Der Grasertragsanteil liegt bei 93% (Hauptarten *Lolium perenne*, *Lolium x hybridum*, *Dactylis glomerata*), der Krautanteil bei 5% und der Kleeanteil beträgt 2%. Der Boden fällt immer wieder trocken und hat eine nutzbare Feldkapazität von 12 Vol.% in den oberen 25-30 cm. Die darunter liegenden 10-20 cm haben eine nFK von 9 Vol.%. Der Grünlandstandort Karolinenfeld befindet sich auf einem tiefreichenden Torfboden mit einer nFK von 55 Vol.% (Substanzvolumen 4+5, Zersetigungsgrad z4+z5 nach Bodenkundlicher Kartieranleitung KA5). Der Ertrag setzt sich anteilmäßig aus 89% Gras (Hauptarten *Lolium perenne* & *Poa pratensis*), 9% Kraut und 2% Klee zusammen. An allen drei Standorten befinden sich Wetterstationen des bayerischen Agrarmeteorologischen Messnetzes, dessen Daten mit in die Modellierung einfließen. Lücken in den Datensätzen wurden durch Daten von nächstliegenden Wetterstationen des Deutschen Wetterdienstes ausgefüllt.

Zur Ertrags- und Qualitätsmodellierung wurde das Modell FORPROQ (HERRMANN *et al.*, 2005) verwendet. Das Modell benötigt Informationen zu folgenden Parametern: tägliche Mittelwerte der Lufttemperatur, Tagessummen von Niederschlags und Globalstrahlung sowie Evapotranspirationsraten. Außerdem gehen Einzelschlag-spezifische Angaben wie das pflanzenverfügbare Bodenwasser ein. Eine Anpassung des Modells an die Standorte erfolgte durch einen modellinternen Optimierungsalgorithmus. Die Modellgüte wurde anhand folgender Parameter bewertet: R^2 , root mean square error (RMSE) und modelling efficiency (EF).

Ergebnisse und Diskussion

Schnittdetektion

Im Vergleich der Radaraufnahmen der jeweils zwei, 12 Tage auseinanderliegenden, Zeitpunkte im Oktober 2014 sind Oberflächenveränderungen in den Grünlandflächen sowohl in den hochaufgelösten CSK-Daten als auch in den weniger gut aufgelösten Sentinel-1A Daten ersichtlich. Diese Veränderungen wurden durch Schnittnutzungen im Grünland verursacht, welche durch *in situ* Beobachtungen verifiziert werden konnten. Visuell erkennt man eine Veränderung in der Intensität, die auf den Schnitt des Grünlandes hinweisen (Abb. 1). Die Abschätzung der Trennbarkeit der geschnittenen von den ungeschnittenen Flächen grob erfolgte durch die Betrachtung der Differenz der Grauwert-Mittelwerte. Änderungen der Rückstreuintensität in den einzelnen Flächen pro Radaraufnahme im Zeitraum zwischen zwei Aufnahmen wurden dadurch objektiv erkennbar. Von 154 betrachteten Grünlandflächen (insgesamt 436 ha) wurden 116 Schnitte durch den CSK-Datenvergleich und 111 Schnitte im Sentinel-1A Vergleich detektiert. Auf 25 Flächen konnten die Schnitte weder mit CSK noch mit Sentinel-1A erfasst werden. Mit den CSK Daten konnten 18 Schnitte detektiert werden, die nicht mit Sentinel-1A erfasst wurden. Im Gegensatz dazu wurden 13 Schnitte mit Sentinel-1A aber nicht mit CSK erkannt.

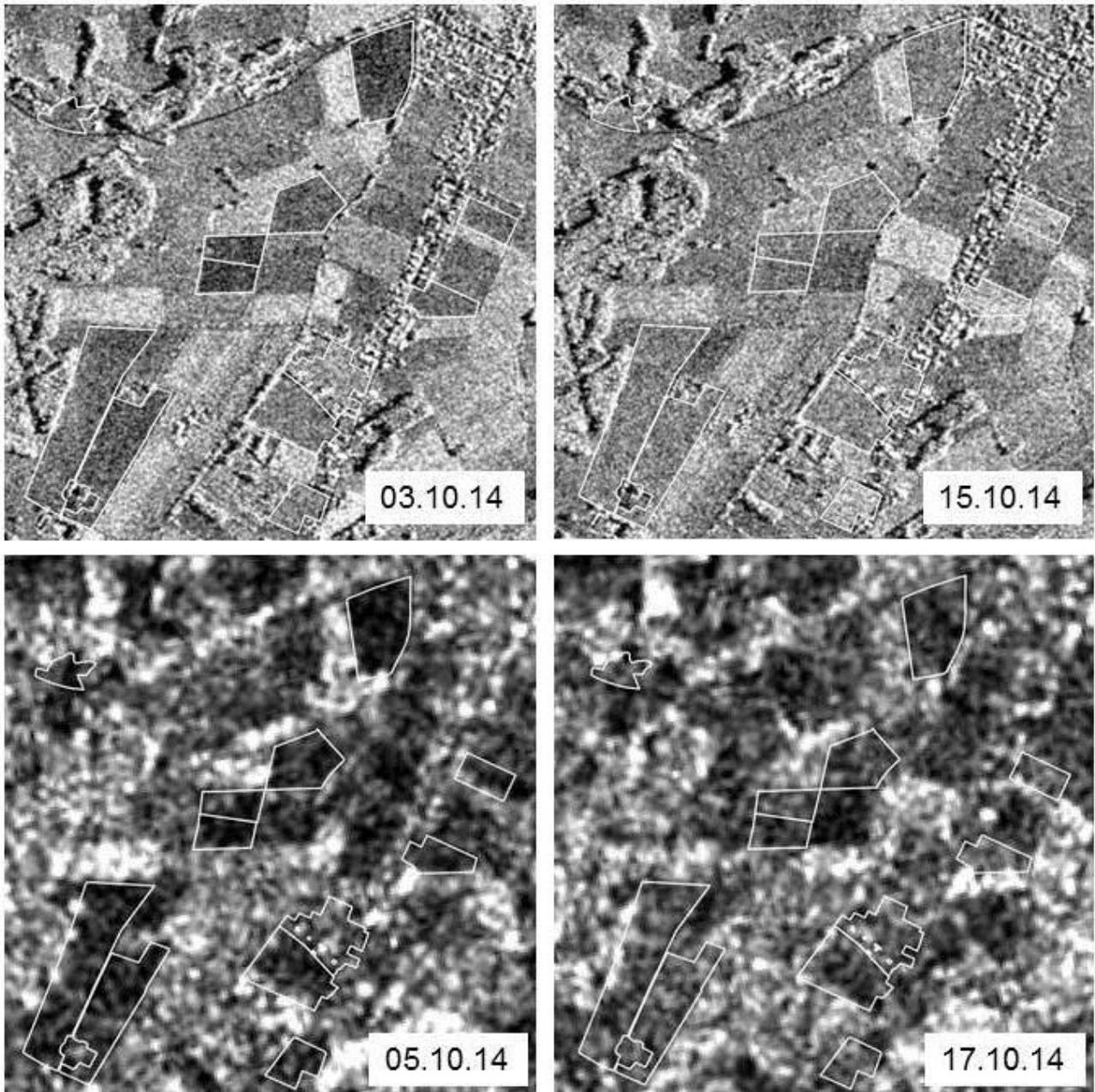


Abb. 1: Unterschiede in der Radarrückstreuintensität (sichtbar als Wechsel von dunkelgrau zu hellgrau) aufgrund durch Schnittnutzung verursachter Oberflächenveränderung auf Grünlandflächen (weiß umrandet); Radaraufnahmen des COSMO-SkyMed System vom 3. und 15. Oktober 2014 wurden von e-GEOS zur Verfügung gestellt. Radaraufnahmen vom 5. und 17. Oktober 2014 sind frei verfügbare Sentinel-1A aufnahmen.

Dieser Vergleich zeigt, dass Schnitte im Grünland durch den Vergleich von zeitlich nah aufeinander folgenden Radarbildern detektiert werden können. In dieser Studie konnten 74% aller bekannten Schnitte mit beiden SAR Systemen trotz ihrer unterschiedlichen Aufnahmegeometrien (z.B. Polarisation, Wellenlänge, Pixelauflösung, Aufnahmezeit) und trotz des langen Zeitabstandes (12 Tage) erfasst werden. Möglicherweise könnten spezifische Feldbedingungen wie Wind, Bodentyp, Feuchtigkeit und Bäume oder auch Management dazu geführt haben, dass 25 Schnitte nicht detektiert wurden (BOUMAN und VAN KASTEREN, 1990a, b). Weitere Untersuchungen müssen dies klären. Die gröbere Auflösung und unterschiedliche Radarwellenlänge (C-Band) der Sentinel Daten könnten zur fehlenden Detektion der Schnitte auf 18 Grünlandflächen geführt haben. ZOUGHI *et al.* (1987) berichtet zum Beispiel, dass im Vergleich zu X-Band Aufnahmen, eher Bodeneigenschaften der dominante Faktor in der Radarsignalarückstreuung von Grünland bei C-Band Aufnahmen waren. Hingegen scheint die VV Polarisation der Sentinel-1 Daten von Vorteil zu sein und zur

Detektion der 13 Schnitte, die nicht mit CSK detektiert werden konnten, geführt zu haben. Dies liegt daran, dass horizontale Polarisation (HH) scheinbar sensitiver auf horizontale Objekte wie z.B. Bodenoberflächen reagiert, und die vertikale Polarisation (VV) eine stärkere Rückstreuung von dem Grasbestand bewirkt (ZOUGHİ *et al.*, 1987). Durch ihre gröbere Auflösung, und damit geringere Pixelzahl pro Fläche, die die Grauwertmittel bilden, sind die Ergebnisse auf Grundlage der Sentinel Daten weniger zuverlässig als die aus CSK Daten gewonnenen. Für eine Generalisierung und Validierung der Ergebnisse müssen daher weitere Analysen folgen, die mehr Grünlandflächen über ein ganzes Jahr betrachten und mehr Radaraufnahmen beinhalten. Eine Detektionsrate von 74% ist für verlässliche Schnitthäufigkeitsschätzungen noch nicht als zufriedenstellend zu betrachten. Daher muss ebenfalls überprüft werden, ob durch Bildprozessierungsschritte (wie z.B. Specklefilterung) oder durch andere Methoden das Ergebnis verbessert werden kann. Grünland ist ein sehr dynamisches System und kann innerhalb weniger Tage eine Wuchsveränderung von ca. 10 cm bei optimalen Bedingungen zeigen, so dass durch eine höhere zeitliche Auflösung der Radarbilder die Veränderung durch Wuchs besser erfasst werden könnte.

Ertrags- und Qualitätsverläufe

Die im Jahr 2014 erhobenen Erträge (in Trockenmasse g/m^2) sowie die modellierte Ertragskurven der drei Standorte Osterseeon, Grub und Karolinenfeld sind in Abbildung 2 dargestellt. Trotz unterschiedlicher Ertragsanteile der Arten zeigt sich eine stabile Ertragsmodellierung mit R^2 Werten zwischen 0.86 und 0.98.

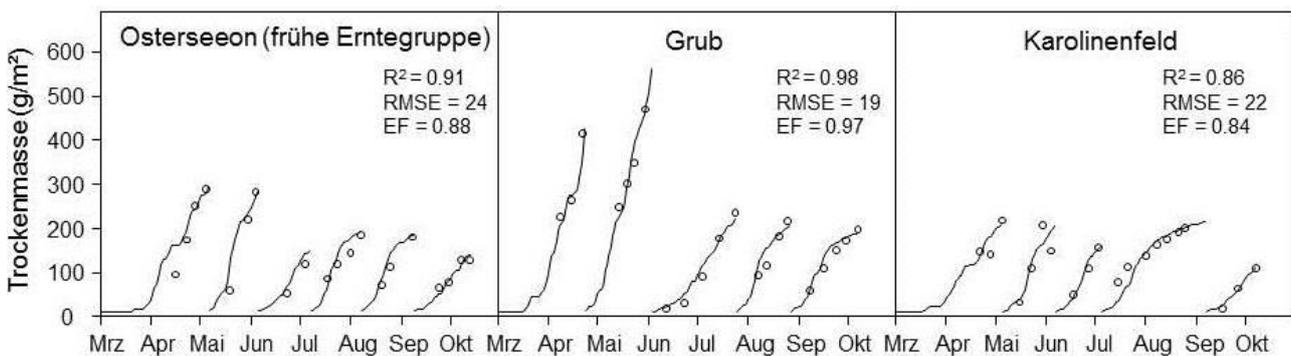


Abb. 2: Modellierte Ertragskurven und erhobene Erträge (Punkte) an ausgewählten Standorten im Testgebiet für 2014: Osterseeon (Sortenversuch Deutsches Weidelgras), Grub und Karolinenfeld (Dauergrünland), Modellgüte quantifiziert mittels R^2 , root mean square error (RMSE) und modelling efficiency (EF)

Die Modellierung der Rohproteingehalte (Abb. 3) zeigt im Vergleich zur Ertragsmodellierung weniger zufriedenstellende Ergebnisse, mit R^2 -Werte zwischen 0.70 und 0.87. Man erkennt, dass der Rohproteingehalt in Osterseeon zu Aufwuchsbeginn leicht unterschätzt wird. Diese könnte durch den 100% Anteil von *Lolium perenne* liegen. Hingegen wird der Rohproteingehalt in Grub z.T. überschätzt. Eine Ursache hierfür könnte die schlechtere Wasserversorgung des immer wieder trockenfallenden Standorts und dadurch stärkere Halmbildung sein. Diese Ergebnisse zeigen, dass für die Modellierung der Qualität noch weiterer Anpassungsbedarf besteht. Durch zusätzliche Ertrags- und Qualitätserhebungen über mehrere Jahre könnte eine genauere Prognosegüte der Qualitätsmodellierung erreicht werden.

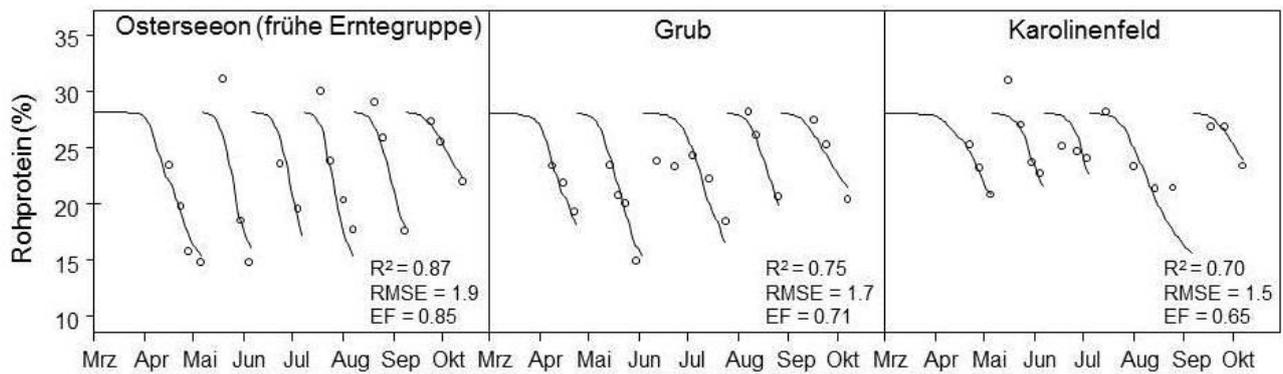


Abb. 3: Modellierte Rohproteingehalte und gemessene Werte (Punkte) an ausgewählten Standorten im Testgebiet für 2014: Osterseeon (Sortenversuch Deutsches Weidelgras), Grub und Karolinenfeld (Dauergrünland), Modelgüte angegeben durch R^2 , root mean square error (RMSE) und modelling efficiency (EF)

Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Studie zeigt, dass Grünlandschnitte über den Radarbildvergleich erkennbar sind. 74% der untersuchten Flächen zeigten eine deutliche Veränderung der Radarsignale nach dem Schnitt bei einem Vergleich von 12 Tage auseinanderliegenden Radaraufnahmen. Weitere Untersuchungen quantitativer und statistischer Art müssen zeigen, was die Gründe für geringe oder ausbleibende Grauwertänderung sind und wie mit solchen Flächen umgegangen werden muss, um den Fehler der Methode zu reduzieren. Im Jahr 2016 wird der baugleiche Satellit Sentinel-1B gestartet, so dass Radaraufnahmen alle 6 Tage verfügbar werden. Durch die flächendeckende und zeitlich enge Abdeckung mit Radaraufnahmen mit den beiden Sentinel-1-Satelliten können Schnitte erfasst und auf Zeiträume von sechs Tagen eingegrenzt werden. Für eine zeitlich noch höhere Auflösung könnten Sentinel-1 Daten mit kommerziellen Radardaten kombiniert werden. Die Methode der Schnitttermindetektion wird in weiteren Schritten automatisiert und mit dem Ertragsmodell verknüpft werden (Abb. 4). Langfristig könnte diese Methode in Form eines webbasierten Prognose-tool zur Verfügung gestellt werden, das Schnitttermine zum optimalen Ertrags- und Qualitätszeitpunkt empfiehlt.

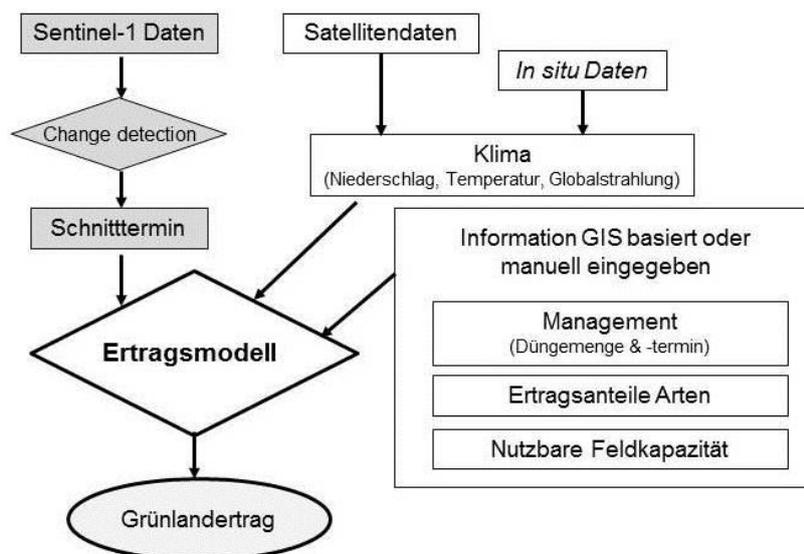


Abb. 4: Skizze der Kombination aus satellitengestützter Schnitttermindetektion mit Ertragsmodell zur flächendeckenden Ertragsmodellierung (verändert nach GRANT *et al.*, 2015)

Literatur

- BOUMAN, B. and VAN KASTEREN, H. (1990a): Ground-Based X-Band (3-cm Wave) Radar Backscattering of Agricultural Crops. I. Sugar Beet and Potato; Backscattering and Crop Growth, *Remote Sensing of Environment*, 34, 93-105
- BOUMAN, B. and VAN KASTEREN, H. (1990b): Ground-Based X-Band (3-cm Wave) Radar Backscattering of Agricultural Crops. II. Wheat, Barley, and Oats; The Impact of Canopy Structure. *Remote Sensing of Environment*, 34, 107–119
- GRANT, K., SIEGMUND, R., WAGNER, M. & HARTMANN, S. (2015): Satellite-based assessment of grassland yields, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XL-7/W3
- HERBEN, T. and HUBER-SANNWALD, E. (2002): Effect of management on species richness of grasslands sward-scale processes lead to large-scale patterns, *Grassland Science in Europe* 7, 635-643
- HERRMANN, A., KELM, M., KORNER, A. & TAUBE, F. (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, 141-158
- WENDLAND, M., DIEPOLDER, M. & CAPRIEL, P. (2012): Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland – Gelbes Heft, LfL- Information, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising, 1-97
- ZOUGH, R., BREDOW, J. & MOORE, R. (1987): Evaluation and comparison of dominant backscattering sources at 10 GHz in two treatments of tall-grass prairie, *Remote Sensing of Environment*, 22, 395-412