

Phänologiebasierte Landnutzungsanalyse zur Ableitung von Feldfrüchten am Beispiel des Rureinzugsgebiets

GUIDO WALDHOFF¹ & GEORG BARETH¹

Zur regionalen Modellierung von Stoffflüssen in Agrarökosystemen sind Landnutzungsdaten, die die jährliche räumliche Verbreitung von Feldfrüchten enthalten, unverzichtbar. Dieser Beitrag behandelt daher die Ableitung von schlagbezogenen Feldfruchtinformationen für das Rureinzugsgebiet anhand von multitemporalen multispektralen Fernerkundungsdaten mit moderater räumlicher Auflösung unter Anwendung des Multidaten-Ansatzes (MDA). Zu deren besseren Unterscheidung wurde ein Modell zur Phänologie der wichtigsten Feldfrüchte im Rureinzugsgebiet entwickelt. Am Beispiel des Jahres 2010 werden die wesentlichen Aspekte der entwickelten Methodik, die erzielten Ergebnisse sowie die Möglichkeiten und Grenzen der Verfahrensweise aufgezeigt und diskutiert.

1 Einleitung

Für die regionale Agrarökosystemmodellierung, wie sie im Transregio 32 (TR32): *Patterns in Soil-Vegetation-Atmosphere-Systems: Monitoring, Modelling and Data Assimilation* (www.tr32.de) für das Rureinzugsgebiet durchgeführt wird, sind Landnutzungsdaten, die die jährliche räumliche Verteilung der dominierenden Feldfrüchte enthalten, von zentraler Bedeutung. Offizielle Landnutzungsdaten wie etwa Corine Land Cover (CLC) stellen diese Informationen nicht bereit. Die Fernerkundung ermöglicht jährliche Feldfruchtinformationen flächendeckend durch die Klassifikation von multispektralen Fernerkundungsdaten relativ arbeits- und kosteneffizient abzuleiten. Hinsichtlich einer effizienten Datenanalyse werden zur Landnutzungserfassung auf regionaler Skala in der Regel satellitengestützte optische Fernerkundungssysteme mit moderater räumlicher Auflösung eingesetzt. Eine monotemporale Datenanalyse greift jedoch in der Regel zu kurz, da Feldfrüchte fernerkundungsdaten-, phänologie- und managementbedingt nicht zu jeder Zeit detektierbar oder anhand ihrer spektralen Signaturen unterscheidbar sind (JENSEN 2007). Ein großes Potential besitzt daher die Berücksichtigung der Phänologie, um durch gezielte multitemporale Landnutzungsanalysen die Unterscheidung von Feldfrüchten mittels optischer Fernerkundungsdaten zu verbessern (DE WIT & CLEVERS 2004, VAN NIEL & MCVICAR 2004). Auf dieser Grundlage wurde eine Verfahrensweise für das Rureinzugsgebiet entwickelt, um die wichtigsten Feldfrüchte mittels multispektraler Fernerkundungsdaten besser zu differenzieren.

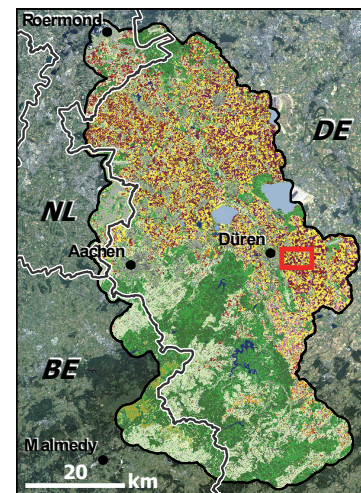


Abb. 1: Untersuchungsgebiet und Landnutzungsübersicht.

¹ Universität zu Köln, Geographisches Institut, GIS & FE, Albertus-Magnus-Platz, 50923 Köln; E-Mail: guido.waldhoff@uni-koeln.de; E-Mail: [\[guido.waldhoff, g.bareth\]@uni-koeln.de](mailto:[guido.waldhoff, g.bareth]@uni-koeln.de)

Der überwiegende Teil des Rureinzugsgebiets liegt im Südwesten von Nordrhein-Westfalen (NRW), es reicht allerdings auch in die Niederlande und Südwesten nach Belgien hinein (vgl. Abb. 1). Das betrachtete Gebiet umfasst eine Fläche von etwa 3000 km². Der Nordteil ist durch intensive ackerbauliche Nutzung (Börde) charakterisiert, wohingegen der Südtteil als Mittelgebirgsregion vor allem durch Grünland und Waldgebiete gekennzeichnet ist. Zu den wichtigsten Feldfrüchten im Rureinzugsgebiet zählen Winterweizen, Wintergerste, Winterraps, Zuckerrüben, Kartoffeln und Mais. In der Südhälfte nimmt Sommergerste eine bedeutende Rolle unter den Getreiden ein (IT.NRW 2009). Dieser Beitrag erläutert die entwickelte Verfahrensweise am Beispiel der Landnutzungsanalyse des Jahres 2010.

2 Modell zur phänologischen Entwicklung der dominanten Feldfrüchte im Rureinzugsgebiet

Zur Verbesserung der Feldfruchtclassifikation wurde eine Modellvorstellung konzipiert, welche das zeitliche Auftreten und die Phänologie der wichtigsten Feldfrüchte im Rureinzugsgebiet mit der darauf beruhenden und im Laufe der Vegetationsperiode veränderlichen Erscheinung der entsprechenden Ackerflächen in optischen Fernerkundungsdaten verknüpft. Abb. 2 illustriert diesbezüglich das Vorhandensein (definiert als weitestgehend geschlossene Pflanzendecke) und die Phänologie der Feldfrüchte durch das horizontale Ausmaß und die Färbung der einzelnen Balken für den Zeitraum April bis September bzw. bis zur Ernte (rechtes Ende der Farbbalken). Zur besseren zeitlichen Einordnung sind die Monate in vier Abschnitte gegliedert.

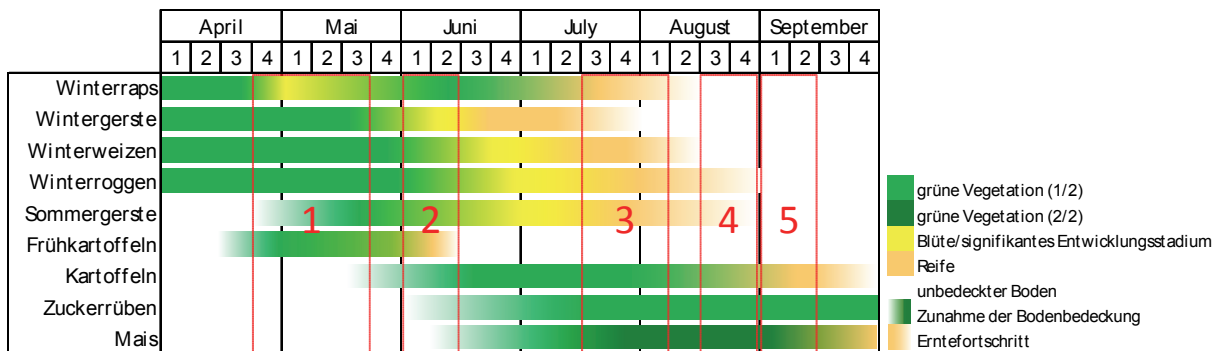


Abb. 2: Modell zum Auftreten und zur Phänologie der wichtigsten Feldfrüchte im Rureinzugsgebiet. Rote Kästen grenzen Aufnahmefenster (AF) für Fernerkundungsdaten ab. Abbildung basiert auf Kartierungen, Literatur (MEIER 2001, MUNZERT 2006, LWK NRW 2008, KBTL 2009, DIEPENBROCK et al. 2012) und Zeitungsrecherche zu regionalen Ernteterminen (diverse Lokalpresse).

Grüne Farbtöne symbolisieren das Vorhandensein bzw. die potenzielle Erfassbarkeit von grüner Vegetation. Verläufe von Grün zu Hellgrün, zu Gelb und schließlich zu Beige markieren bei Getreide und Raps die zeitliche Stellung bzw. den Übergang zu den Entwicklungsstadien Blüte, Fruchtentwicklung und Reife (Beige) in Anlehnung an MEIER (2001). Besonders die Positionen hellgrüner und gelber Bereiche der einzelnen Farbbalken zueinander kennzeichnen bei einigen Feldfrüchten die zeitliche Stellung bestimmter Entwicklungsstadien (zumeist die Blüte), die zu einer signifikanteren spektralen Erscheinung führen, wodurch die entsprechenden Feldfrüchte besser von anderen Feldfrüchten zu unterscheiden sein sollten. So ermöglicht etwa die (gelbe)

Blüte von Winterraps zwischen Ende April und Mitte Mai – als anschaulichstes Beispiel – eine deutliche Trennung von Wintergetreide, während sich die spektrale Erscheinung dieser Feldfrüchte in optischen Fernerkundungsdaten aus vielen anderen Phasen stark ähnelt. Bei Zuckerrüben und Mais ist die Ausbildung charakteristischer Wachstumsstadien weniger ausgeprägt. Vielmehr bilden sich im Laufe der Pflanzenentwicklung allmählich spektrale Unterschiede aus, die in Abb. 2 durch unterschiedliche Grüntöne angedeutet sind. Da die Phänologie der Feldfrüchte allerdings sowohl witterungs- und managementbedingt (z.B. Saat und Ernte) als auch je nach Region (z.B. Höhenlage oder Börde) jährlichen Schwankungen von bis zu mehreren Wochen unterliegen kann, ist die Lage der Balken vor allem relativ zu einander zu sehen (angedeutet durch deren zunehmende bzw. abnehmende Opazität).

Für die Analyse der Fernerkundungsdaten wurde diese Modellvorstellung um die Klassenzuweisung erweitert, die eine Ackerfläche mit einer bestimmten Feldfrucht auf Grundlage der Phänologie bei der Klassifikation von Daten aus einem bestimmten Zeitraum potentiell erhält. Daraus wurde abgeleitet wann die Klassifikation einer bestimmten Feldfrucht am besten möglich sein sollte. Die Fernerkundungsdaten aus einem bestimmten Zeitraum dienen in dieser Hinsicht primär dazu gezielt die direkte Klassifikation (nur) bestimmter Feldfrüchte zur ermöglichen.

Tab. 1: Ausgewählte Aufnahme Fenster (AF) für multispektrale Fernerkundungsdaten und deren Zweck.

AF	Zeitraum	angestrebte Erfassung/Zweck
1	Ende April - Ende Mai (ca. 25.04. - 25.05.)	<ul style="list-style-type: none"> • Wintergetreide, Winterraps • Sommergetreide (v.a. Braugerste) • Frühkartoffeln
2	Anfang - Mitte Juni (ca. 01.06. - 15.06.)	<ul style="list-style-type: none"> • Unterscheidung von Winterweizen und Wintergerste • Sommergetreide, Kartoffeln
3	2.Julihälfte - Anfang August (ca. 15.07. - 07.08.)	<ul style="list-style-type: none"> • Erntefortschritt von Wintergerste (v.a. in der Börde) • eventuell Unterscheidung von Kartoffeln, Zuckerrüben und Mais
4	Mitte - Ende August (ca. 15.08. - 31.08.)	<ul style="list-style-type: none"> • Erntefortschritt von Winterraps, Winterweizen und Winterroggen • Erntefortschritt in Eifel (v.a. Braugerste) • Unterscheidung von Mais, Zuckerrüben und Kartoffeln
5	Anfang - Mitte September (ca. 01.09. - 15.09.)	<ul style="list-style-type: none"> • Unterscheidung von Mais, Zuckerrüben und Kartoffeln

Hinsichtlich einer effizienten Analyse und zur Begrenzung des Datenaufkommens wurden auf Grundlage dieses Modells fünf Zeiträume (Aufnahmefenster, AF) ausgewählt, aus denen jeweils eine Fernerkundungsdatenabdeckung (Zeitschnitt, ZS) zur multitemporalen Analyse resultieren sollte (rote Kästen in Abb. 2). Dabei wurde berücksichtigt, dass eine verbesserte Unterscheidung mitunter auch mit weniger als fünf ZS möglich ist, falls nicht für alle AF Daten akquiriert werden können. Tab. 1 erläutert die ausgewählten AF sowie den damit angestrebten Zweck, wobei die Datumsangaben als Richtwerte zu verstehen sind.

3 Daten und Methoden

In der Analyse für 2010 kamen Daten der Systeme RapidEye und Landsat-5 zum Einsatz. Die verwendeten RapidEye-Szenen wurden dazu vom RapidEye Science Archive (RESA) bezogen. In anderen Jahren wurden zusätzlich Daten von ASTER, Landsat-7 &-8 und IRS-P6 eingesetzt, um eine höhere räumliche und temporale Abdeckung zu erzielen. Für die Systemauswahl waren

vor allem die Aspekte Datenkosten und Datenverfügbarkeit, Szenengröße und Wiederkehrrate entscheidend. Tab. 2 fasst die wichtigsten Eigenschaften der ausgewählten Systeme zusammen.

Tab. 2: Verwendete multispektrale Fernerkundungssysteme zur multitemporalen Feldfruchtklassifikation.

System (Sensor)	Anzahl der Bänder	räuml. Auflösung (m)	Wiederkehrrate (Tage)
ASTER (VNIR)	3	15	16
RapidEye	5	5	(theoretisch) 1
IRS-P6	4	23,5	14
Landsat-5 (TM)	7	30	14,5
Landsat-7 (ETM+)	7	30	14,5

Um einzelne Schläge effizient differenzieren zu können, wurden die Analysen in einer räumlichen Auflösung von 15 m durchgeführt. RapidEye-Daten wurden daher auf 15 m Pixelgröße heruntergerechnet. Die Pixelgröße von Landsat- und IRS-P6-Daten wurde ebenfalls angepasst. Da der Fokus auf der Erfassung von Ackerflächen lag, wurde dies als vertretbar erachtet. Die weitere Datenaufbereitung umfasste neben gängigen Arbeitsschritten insbesondere die geometrische Registrierung aller Datensätze an einen Basis-Layer, um eine möglichst genaue Lageübereinstimmung zu erzielen. Als Basis-Layer wurde das Wegenetz des Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystems (ATKIS) eingesetzt. Eine atmosphärische Korrektur wurde als nicht notwendig erachtet (SONG et al. 2001), da die Trainingsdaten für die überwachte Klassifikation jeder Szene individuell aus den Daten selbst entnommen wurden. Die Grundlage für Trainingsgebiete bildeten intensive Geländekartierungen, die jährlich zu mehreren Zeitpunkten während der Vegetationsperiode durchgeführt wurden. Zur Klassifikation wurden die pixelbasierten Verfahren Maximum Likelihood Klassifikation (MLC) und Support Vector Machines (SVM) eingesetzt. Alle Klassifikationsergebnisse wurden durch eine moderate räumliche Filterung nachbearbeitet.

Zur Unterstützung und Erweiterung der Fernerkundungsanalysen kamen ausgewählte Geobasisdaten und Fachdaten mittels GIS zum Einsatz. Das technische und konzeptionelle Grundgerüst bildete hierzu der Multidaten-Ansatz (MDA), der zur Erzeugung von Landnutzungsdaten mit gesteigertem Informationsgehalt konzipiert wurde (BARETH 2008) und in dieser Studie im Rasterdatenmodell zur Umsetzung kam. Nach der separaten überwachten Klassifikation der Fernerkundungsdaten aus den einzelnen AF, im Folgenden als Zeitschnitte (ZS) bezeichnet, erfolgte im GIS eine räumliche und thematische Verschneidung der Klassifikationsergebnisse mit weiteren Daten. Diese umfassen etwa Objektarten des ATKIS oder andere äquivalente Daten, um landwirtschaftlich genutzte Flächen abzugrenzen und um Ackerland, Grünland oder andere Vegetationsflächen zu trennen (SMITH & FULLER 2001). Um die Unterscheidung von Feldfrüchten weiter zu verbessern, wurden zudem regionsabhängige Unterschiede im Spektrum der angebauten Feldfrüchte auf Basis von Agrarstatistiken oder räumlich variierende Vegetationszeiträume (etwa lokalklimatisch bedingt) durch die Trennung von Landschaftsräumen berücksichtigt. Auf diese Weise können zum Beispiel Feldfrüchte besser ausgeschlossen werden, die in einer Region nicht vorkommen, aber eine hohe spektrale Ähnlichkeit zu anderen Feldfrüchten besitzen und ansonsten zu Fehlklassifikationen führen könnten. Die Erzeugung der finalen MDA-Landnutzungsklassifikation erfolgte durch die Kombination der Feldfruchtinformationen aus den klassifizierten ZS mittels wissenschaftlicher Produktionsregeln.

4 Fallstudie: MDA-Feldfruchtclassifikation 2010

Abb. 3 zeigt die Fernerkundungsdatengrundlage für das Jahr 2010. Insgesamt standen Szenen von fünf Aufnahmetermen zur Verfügung, die für die spätere Feldfruchtanalyse zu drei ZS zusammengefasst wurden. Insbesondere für AF2 waren keine Daten verfügbar. Für den zweiten ZS musste auf Szenen aus dem Zeitraum zwischen AF2 und AF3 zurückgegriffen werden.

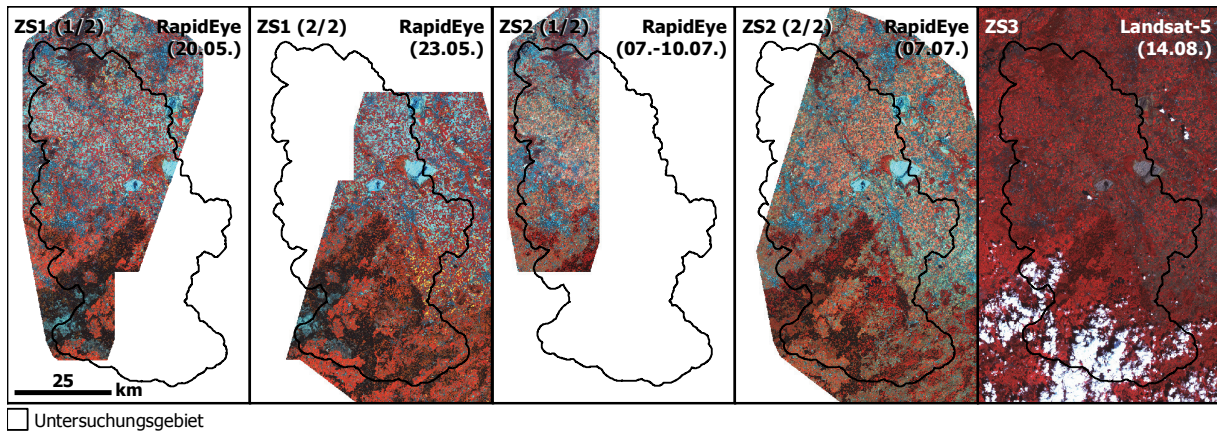


Abb. 3: Fernerkundungsdatengrundlage für die Landnutzungsanalyse 2010 des Rureinzugsgebiets, eingeordnet in drei Zeitschnitte (ZS) (Datenquellen: RESA 2010, USGS 2010).

Da für die Klassifikation der Feldfrüchte nur Ackerflächen von Belang waren, wurden alle übrigen Flächen anhand der genannten Zusatzdaten im GIS ausmaskiert. Die überwachte Klassifikation erfolgte für jede Szene separat, erst dann wurden die (Klassifikations-)Zeitschnitte gebildet. Anschließend erfolgte die Zusammenführung der einzelnen Klassifikationsergebnisse sowie der Zusatzdaten zu einem Rasterdatensatz. Dieser bildete die Basis zur Produktion der finalen MDA-Feldfruchtclassifikation durch die Kombination ausgewählter Klassifikationsergebnisse für die einzelnen Feldfrüchte aus den drei ZS. Sofern eine Feldfrucht in mehreren Szenen klassifiziert wurde, erfolgte üblicherweise die Übernahme des Ergebnisses mit der höchsten Genauigkeit. In einigen Fällen erfolgte allerdings auch die Zusammenführung mehrerer Klassifikationen für eine Feldfrucht, um das Endergebnis zu optimieren.

Tab. 3: Error-Matrix der finalen MDA-Feldfruchtclassifikation für 2010. Kürzel: WW=Winterweizen, WG=Wintergerste, WR=Wintererbsen, B/SF=Boden/Sommerfrucht, M=Mais, GT=Getreide, KT=Kartoffeln, ZR=Zuckerrüben, SG=Sommergerste, KD=keine Daten, *=bereits geerntet.

		Referenzdaten (Pixel)									
		WR	KT	M	ZR	WW	WG	SG	Total	CE (%)	UA (%)
Klassifikation (Pixel)	WR	7486	0	0	0	0	0	5	7491	0,07	99,93
	KT	0	6907	3	147	0	0	0	7057	2,13	97,87
	M	8	6	8315	228	46	0	127	8730	4,75	95,25
	ZR	0	2187	212	18080	0	0	2	20481	11,72	88,28
	WW	0	81	0	0	16382	1499	52	18014	9,06	90,94
	WG	7	5	0	0	651	6342	154	7159	11,41	88,59
	SG	0	0	0	0	140	0	4004	4144	3,38	96,62
	Total	7501	9186	8530	18455	17219	7841	4344	91908		
	OE (%)	0,20	24,81	2,52	2,03	4,86	19,12	7,83		OA (%)	92,39
	PA (%)	99,8	75,19	97,48	97,97	95,14	80,88	92,17		Kappa	0,91

Tab. 3 enthält die Error-Matrix der finalen MDA-Feldfrucht-klassifikation für die ein Kappa-Wert von 0,91 berechnet wurde. Abb. 4 zeigt einen Ausschnitt der finalen MDA-Feldfrucht-klassifikation für einen Bereich östlich von Düren (siehe roter Kasten Abb. 1).

Wie Tab. 3 zu entnehmen ist, wurde besonders Winterraps auf Basis der Daten aus dem ersten AF mit einer sehr hohen Genauigkeit bestimmt und konnte somit sehr gut von Wintergetreide differenziert werden. Die Unterscheidung von Winterweizen und Wintergerste erfolgte hingegen mit gewissen Einschränkungen. So wurden etwa 20 % der Testpixel für Wintergerste als Winterweizen klassifiziert. Die Klassifikationen beider Getreidearten zeichnen sich aber dennoch durch eine jeweils hohe User's Accuracy aus.

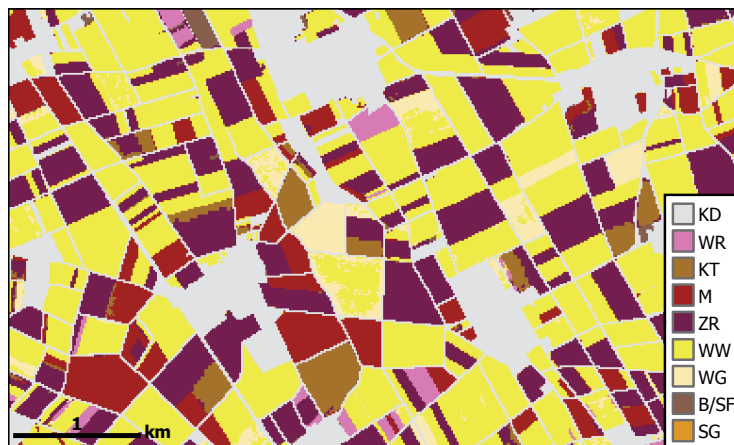


Abb. 4: Ausschnitt der MDA-Feldfrucht-klassifikation 2010 des Rureinzugsgebiets für ein Gebiet östlich von Düren. Zur Erläuterung der Kürzel vgl. Tab. 3.

Bei Sommerfrüchten konnte die Verbreitung von Mais durch Daten aus einem späteren AF gut von anderen Feldfrüchten unterschieden werden. Mais verfügt daher in der finalen MDA-Feldfrucht-klassifikation über die zweithöchste Genauigkeit. Hinsichtlich der Unterscheidung von Kartoffeln und Zuckerrüben ergab die Error-Matrix hingegen, dass etwa ein Viertel der Testgebiete für Kartoffeln als Zuckerrüben klassifiziert wurden. Beide Feldfrüchte konnten aber dennoch jeweils mit einer hohen User's Accuracy räumlich dargestellt werden. Durch die Berücksichtigung des regional eingeschränkten Anbaus von Sommergerste war auch in diesem Falle eine gute Trennung von anderen Feldfrüchten möglich.

5 Diskussion und Ausblick

Das Ergebnis der MDA-Feldfrucht-klassifikation für das Jahr 2010 zeigt, dass der entwickelte phänologiebasierte multitemporale Ansatz, trotz des erhöhten Analyseaufwands gegenüber einer monotemporalen Analyse, eine deutlich bessere Klassifikation von Feldfrüchten auf regionaler Skala ermöglicht. Analyseergebnisse für weitere Jahre untermauern dies. Durch die Abgrenzung von Ackerflächen kann sich bei der Klassifikation auf Feldfrüchte konzentriert werden, so dass die oftmals problematische Unterscheidung von anderen Vegetationsklassen (etwa Grünland oder Laubwald) weitestgehend entfällt.

Allerdings wurde auch bei dieser Studie der größte Schwachpunkt von optischen Fernerkundungsdaten deutlich. Im Fall des Jahres 2010 konnte aufgrund von Bewölkung nur auf drei ZS zurückgegriffen werden, so dass die entwickelte Methodik mit einer deutlich geringeren Fernerkundungsdatenbasis durchgeführt werden musste. Trotz des Zurückgreifens auf mehrere Aufnahmesysteme wurde auch in weiteren Jahren eine Vollabdeckung für alle Aufnahme Fenster eines Jahres nicht erreicht. Weiterhin konnte oftmals auch nicht für alle Bereiche des Untersuchungsgebiets auf die gleiche multitemporale Datengrundlage zurückgegriffen werden. Als Resultat blieben wie auch in 2010 die oftmals beschriebenen Unsicherheiten bei der Unterscheidung von Zuckerrüben und Kartoffeln oder von Winterweizen und Wintergerste zurück. Im letzteren Fall wird dies für 2010 besonders auf das Fehlen von Daten aus dem zweiten AF zurückgeführt.

Zur weiteren Verbesserung der Klassifikationsgenauigkeit von Feldfrüchten weisen zahlreiche Studien wie von KOPPE et al. (2012) auf das Potential der synergetischen Nutzung von optischen und Radar-Fernerkundungsdaten hin. Die Weiterentwicklung der vorgestellten Methodik wird daher beispielsweise auch auf die Integration von Sentinel-1-Daten abzielen. Mit dem Start von Sentinel-2 sollte sich die Datenlage auch für optische Daten verbessern.

Beim Vergleich der Klassifikationsergebnisse mehrerer Jahre werden die starken jährlichen Nutzungsänderungen auf Ackerland deutlich. Die nächste Entwicklungsstufe von Landnutzungsinformationen zur verbesserten Agrarökosystemmodellierung liegt daher in der kombinierten mehrjährigen Landnutzungsanalyse zur Ableitung von flächendeckenden Informationen zu tatsächlich praktizierten Fruchtfolgen.

6 Literaturverzeichnis

- BARETH, G., 2008: Multi-Data Approach (MDA) for Enhanced Land Use/Land Cover Mapping. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences **37** (B8), S. 1059-1066.
- DE WIT, A. J. W. & CLEVERS, J. G. P. W., 2004: Efficiency and accuracy of per-field classification for operational crop mapping. International Journal of Remote Sensing **25** (20), S. 4091-4112.
- DIEPENBROCK, W., ELLMER, F. & LÉON, J., 2012: Ackerbau, Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung - Grundwissen Bachelor. UTB, Stuttgart.
- IT.NRW - Information und Technik Nordrhein-Westfalen (Geschäftsbereich Statistik), 2009: Agrarstrukturerhebung in Nordrhein-Westfalen 2007 Gemeinde- und Kreisstatistik der landwirtschaftlichen Betriebe – Betriebsgrößen, Bodennutzung und Viehhaltung; sozialökonomische Betriebstypen und betriebswirtschaftliche Ausrichtung; Arbeitskräfte –. Düsseldorf, <https://webshop.it.nrw.de/gratis/C969%20200751.pdf>, 25.10.2013.
- JENSEN, J. R., 2007: Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective. Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River.
- KBTL, 2009: Faustzahlen für die Landwirtschaft. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., Darmstadt.
- KOPPE, W., GNYP, M. L., HENNIG, S. D., LI, F., MIAO, Y., CHEN, X., JIA, L. & BARETH, G., 2012: Multi-Temporal Hyperspectral and Radar Remote Sensing for Estimating Winter Wheat

- Biomass in the North China Plain. PFG Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation **3**, S. 281-298.
- LWK NRW - Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, 2008: Anbau von Kartoffeln - Ratgeber 2008. Bonn, <http://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/kartoffeln/anbau-pdf.pdf>, 22.01.2009.
- MEIER, U., 2001: Entwicklungsstadien mono- und dikotyler Pflanzen - BBCH Monografie. Biologische Bundesanstalt für Land und Forstwirtschaft, http://www.jki.bund.de/fileadmin/dam_uploads/_veroeff/bbch/BBCH-Skala_deutsch.pdf, 10.01.2013.
- MUNZERT, M., 2006: Pflanzliche Erzeugung - Die Landwirtschaft. BLV Buchverlag GmbH & Co. KG, München.
- SMITH, G.M. & FULLER, R. M., 2001: An integrated approach to land cover classification: An example in the Island of Jersey. *International Journal of Remote Sensing* **22** (16), S. 3123-3142.
- SONG, C., WOODCOCK, C. E., SETO, K. C., LENNEY, M. P. & MACOMBER, S. A., 2001: Classification and Change Detection Using Landsat TM Data: When and How to Correct Atmospheric Effects? *Remote Sensing of Environment* **75** (2), S. 230-244.
- VAN NIEL, T. G. & MCVICAR, T. R., 2004: Determining temporal windows for crop discrimination with remote sensing: a case study in south-eastern Australia. *Computers and Electronics in Agriculture* **45** (1-3), S. 91-108.