

Zusatzmaterial zu:

Invasive Arten aus der Vogelperspektive – wie kann Fernerkundung zur Erfassung invasiver Pflanzen in Deutschland beitragen?

Supplement to:

Detecting invasive species from above – How can we make use
of remote sensing data to map invasive plant species in Germany?

Sandra Skowronek, Stefanie Stenzel und Hannes Feilhauer

Natur und Landschaft — 93. Jahrgang (2018) — Ausgabe 9/10: 434–438

Zusammenfassung

Mit Hilfe von geeigneten Fernerkundungs- und Felddatensätzen lassen sich bestimmte invasive gebietsfremde Pflanzenarten mit einer gewissen Genauigkeit erfassen. Insbesondere die Nutzung von Drohnen- und Satellitendaten kann für einige Arten eine sinnvolle Ergänzung zu klassischen Erfassungsmethoden darstellen. Die tatsächliche Machbarkeit einer fernerkundungsgestützten Kartierung ist jedoch immer vom jeweiligen Gebiet und den verfügbaren Daten abhängig. Dieser Artikel diskutiert, inwiefern die Fernerkundung einen Beitrag zur Erfassung invasiver gebietsfremder Pflanzenarten in Deutschland leisten kann. Zunächst wird ein Überblick über die zur Verfügung stehenden Datentypen gegeben und anhand eines Beispiels ein mögliches methodisches Vorgehen zur Erfassung invasiver gebietsfremder Pflanzenarten erläutert. Unter Einbeziehung bisheriger Studien zum Thema erfolgt dann eine Potenzialabschätzung des Erfassungserfolgs. Für etwa die Hälfte der 42 untersuchten Pflanzenarten ist die Nutzung von Fernerkundungsdaten generell Erfolg versprechend, hierbei handelt es sich vor allem um die größeren Arten und Arten mit charakteristischen Merkmalen, beispielsweise einer auffälligen Färbung der Blüten oder Blätter.

Fernerkundung – invasive gebietsfremde Arten – Kartierung – Luftbild – Monitoring – Satelliten – Drohnen

Abstract

Combining remote sensing and field data allows for the detection of some invasive alien plant species with sufficient accuracy. Especially the use of satellite or UAS (unmanned aerial system) data may provide a useful addition to classical approaches. The feasibility of remote sensing based detection, however, always depends on the study area and the available data. This article discusses the possibilities and limitations of remote sensing to contribute to the detection of invasive alien plant species in Germany. We provide an overview of the available data types and explain the methodology for detecting invasive alien plants. Taking into account previous studies on the topic, we estimate the potential for successfully detecting relevant invasive plant species in Germany. For about half of the 42 species examined, the use of remote sensing data may be successful, mainly for larger species and species with characteristic features such as colourful flowers or leaves.

Remote sensing – Invasive alien species – Mapping – Aerial photography – Monitoring – Satellites – Unmanned aerial vehicle

Manuskripteinreichung: 7. 12. 2017, Annahme: 10. 4. 2018

DOI: 10.17433/9.2018.50153623.434-438

Tab. A: Überblick über die Potenzialabschätzung. „Kostengünstige Daten verwendet?“: Ja = mindestens eine der Studien hat kostengünstige Daten verwendet, d. h. multispektrale Satellitendaten bzw. Drohrendaten oder Luftbilddaten. „Art groß, mittelgroß oder klein“: Klein = unter 50 cm, Mittel = 50 cm – 1,50 m, Groß = über 1,50 m.

Table A: Overview of assessment of potential. 'Low-cost data used?': Yes = at least one of the studies has used low-cost data, i. e. multispectral satellite data, or UAS data, or aerial photography. 'Species large, medium-sized or small': Small = less than 50 cm, Medium-sized = 50 cm – 1.50 m, Large = more than 1.50 m.

Gruppe	Artname		Studien				Potenzialabschätzung				
	Wissenschaftlich	Deutsch	Wurden bisher Studien durchgeführt?	Kostengünstige Daten verwendet?	Erfolg mit kostengünstigen Daten?	Charakteristische Merkmale?	Art groß, mittelgroß oder klein?	Vorkommen primär im Untenwuchs oder submers?	Ähnliche heimische Arten?	Potenziell erfassbar?	
Bäume und Sträucher	<i>Acer negundo</i>	Eschen-Ahorn	Laufend	Ja	—	Bedingt	Groß	Nein	Bedingt	Ja	
	<i>Ailanthus altissima</i>	Götterbaum	Ja	Ja	Mittel	Bedingt	Groß	Nein	Nein	Ja	
	<i>Asclepias syriaca</i>	Seidenpflanze	Ja	—	—	Ja	Groß	Nein	Nein	Ja	
	<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	Pennsylvanische Esche	—	—	—	Ja	Groß	Nein	Bedingt	Unsicher	
	<i>Pinus strobus</i>	Weymouth-Kiefer	—	—	—	Ja	Groß	Nein	Bedingt	Ja	
	<i>Populus × canadensis</i>	Bastard-Pappel	—	—	—	Bedingt	Groß	Nein	Ja	Nein	
	<i>Prunus serotina</i>	Späte Traubenkirsche	Ja	Ja	Mittel	Bedingt	Groß	Bedingt	Bedingt	Ja	
	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	Gewöhnliche Douglasie	Ja	Ja	Ja	Bedingt	Groß	Nein	Bedingt	Ja	
	<i>Quercus rubra</i>	Rot-Eiche	Ja	—	—	Ja	Groß	Nein	Nein	Ja	
	<i>Rhododendron ponticum</i>	Pontischer Rhododendron	Ja	—	—	Ja	Groß	Nein	Bedingt	Unsicher	
	<i>Robinia pseudoacacia</i>	Robinie	Ja	Ja	Ja	Ja	Groß	Nein	Nein	Ja	
	<i>Rosa rugosa</i>	Kartoffel-Rose	Ja	Ja	Ja	Ja	Groß	Nein	Nein	Ja	
	<i>Syringa vulgaris</i>	Gewöhnlicher Flieder	—	—	—	Ja	Groß	Nein	Nein	Unsicher	
	<i>Cynodon dactylon</i>	Gewöhnliches Hundszahngras	—	—	—	Nein	Klein	Nein	Ja	Nein	
Kräuter und Gräser	<i>Epilobium ciliatum</i>	Drüsiges Weidenröschen	—	—	—	Nein	Klein	Nein	Ja	Nein	
	<i>Fallopia × bohemica</i>	Bastard-Staudenknöterich	—	—	—	—	—	—	—	—	
	<i>Fallopia japonica</i>	Japan-Staudenknöterich	Ja	Ja	Ja	Ja	Groß	Nein	Nein	Ja (<i>Fallopia spec.</i>)	
	<i>Fallopia sachalinensis</i>	Sachalin-Staudenknöterich	—	—	—	—	—	—	—	—	
	<i>Galeobdolon argentatum</i>	Silber-Goldnessel	—	—	—	Nein	Klein	Ja	Ja	Nein	
	<i>Heraclium mantegazzianum</i>	Riesen-Bärenklau	Ja	Ja	Ja	Ja	Groß	Nein	Nein	Ja	
	<i>Impatiens glandulifera</i>	Drüsiges Springkraut	Ja	Ja	Ja	Ja	Mittelgroß	Bedingt	Nein	Ja	
	<i>Lupinus polyphyllus</i>	Vielblättrige Lupine	Laufend	—	—	Ja	Mittel	Bedingt	Nein	Unsicher	
	<i>Lysichiton americanus</i>	Amerikanische Scheinkalla	—	—	—	Ja	Mittel	Ja	Nein	Nein	
	<i>Pheclimus spurius</i>	Kaukasus-Glanzfettheine	—	—	—	Ja	Klein	Bedingt	Nein	Nein	
	<i>Sarracenia purpurea</i>	Braunrote Schlauchpflanze	—	—	—	Ja	Klein	Nein	Nein	Unsicher	
	<i>Solidago canadensis</i>	Kanadische Goldrute	Ja	—	—	Ja	Mittel	Nein	Nein	Ja (<i>Solidago spec.</i>)	
	<i>Solidago gigantea</i>	Späte Goldrute	—	—	—	—	—	—	—	—	
	<i>Spartina anglica</i>	Salz-Schlickgras	Ähnliche Art	Ja	Ja	Bedingt	Mittel	Nein	Nein	Ja	
<i>Symphotrichum lanceolatum</i>	Lanzett-Herbstaster	—	—	—	Bedingt	Mittel	Nein	Bedingt	Unsicher		
<i>Symphotrichum novi-belgii</i>	Neubelgien-Herbstaster	—	—	—	Bedingt	Mittel	Nein	Bedingt	Unsicher		

Tab. A: Fortsetzung.
Table A: Continued.

Gruppe	Arthname		Studien				Potenzialabschätzung				Ähnliche heimische Arten?	Potenziell erfassbar?
	Wissenschaftlich	Deutsch	Wurden bisher Studien durchgeführt?	Kostengünstige Daten verwendet?	Erfolg mit kostengünstigen Daten?	Charakteristische Merkmale?	Art groß, mittelgroß oder klein?	Vorkommen primär im Unterwuchs oder submers?	Ähnliche heimische Arten?			
Hydrophyten	<i>Azolla filiculoides</i>	Großer Algenfarn	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Klein	Nein	Nein	Nein	Ja
	<i>Cabomba caroliniana</i>	Karolina Haarnixe	—	—	—	—	Nein	Mittel	Ja	Bedingt	Nein	Nein
	<i>Crassula helmsii</i>	Nadelkraut	—	—	—	—	Bedingt	Klein – mittel	Bedingt	Ja	Nein	Nein
	<i>Eichhornia crassipes</i>	Wasserhyazinthe	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Mittel	Nein	Nein	Ja	Nein
	<i>Elodea canadensis</i>	Kanadische Wasserpest	—	—	—	—	Nein	Mittel	Ja	Bedingt	Nein	Nein
	<i>Elodea nuttallii</i>	Schmalblättrige Wasserpest	Ja	Ja	—	—	Nein	Mittel	Ja	Bedingt	Nein	Nein
	<i>Hydrocotyle ranunculoides</i>	Hehnenfußähnlicher Wassernabel	—	—	—	—	Bedingt	Klein	Nein	Nein	Nein	Nein
	<i>Lagarosiphon major</i>	Afrikanische Wasserpest	—	—	—	—	Nein	Mittel	Ja	Bedingt	Nein	Nein
	<i>Ludwigia grandiflora</i>	Großblütiges Heusenkraut	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Mittel	Nein	Nein	Nein	Unsicher
	<i>Ludwigia × kentiana</i>	Kents Heusenkraut	—	—	—	—	Bedingt	Mittel	Nein	Bedingt	Nein	Nein
	<i>Myriophyllum aquaticum</i>	Brasilianisches Tausendblatt	Ja	—	—	—	Bedingt	Klein	Nein	Ja	Nein	Unsicher
	<i>Myriophyllum heterophyllum</i>	Verschiedenblättriges Tausendblatt	—	—	—	—	Bedingt	Klein	Nein	Ja	Nein	Unsicher

Tab. B: Bisherige Studien, die die Erfassbarkeit in Deutschland vorkommender invasiver gebietsfremder Arten mit Hilfe einer Kombination aus Fernerkundungs- und Felddaten untersucht haben, sowie die genutzten Datentypen und der Erfolg der Studien: nach Einschätzung der Autoren mit den verwendeten Daten im jeweiligen Untersuchungsgebiet relativ gut erfassbar (+), bedingt erfassbar (+/-), nicht erfassbar (-).

Table B: Previous studies that have examined the detectability of invasive alien species occurring in Germany by means of a combination of remote sensing and field data, types of data used, success of studies. Appraisals by authors for the data used in the respective study areas: relatively well detectable (+), detectable to a limited degree (+/-), not detectable (-).

Wissenschaftlicher Name	Deutscher Name	Bisherige Studien zur Erfassung	Genutzte Datentypen und Plattformen	Erfolg
<i>Ailanthus altissima</i>	Götterbaum	Ribeiro da Luz, Crowley 2010 Zhang, Qiu 2012 Burkholder et al. 2011 Gini et al. 2014	Thermalinfrarot (Flugzeug) Hyperspektral und LiDAR (Flugzeug) Hyperspektral (Labor) Multispektral (Drohne)	+ +/- + +/-
<i>Asclepias syriaca</i>	Seidenpflanze	Burai et al. 2011	Hyperspektral (Flugzeug)	+
<i>Azolla filiculoides</i>	Großer Algenfarn	Díaz-Delgado et al. 2008 Díaz-Delgado et al. 2010	Hyperspektral (Flugzeug) und Multispektral (Satellit)	+ +
<i>Eichhornia crassipes</i>	Wasserhyazinthe	Underwood et al. 2006 Santos et al. 2009 Hung et al. 2014	Hyperspektral (Flugzeug) Hyperspektral (Flugzeug) Multispektral (Drohne)	+ + +
<i>Elodea nuttallii</i>	Schmalblättrige Wasserpest	Wolf et al. 2013 Roessler et al. 2013	Hyperspektral (Labor) Multispektral (Satellit)	+ -
<i>Fallopia spec.</i>	Staudenknöteriche	Jones et al. 2011 Dorigo et al. 2012 Michez et al. 2016 Müllerová et al. 2017 Müllerová et al. 2017	Luftbild (Flugzeug) Luftbild VIS + NIR (Flugzeug) Luftbild VIS + NIR (Drohne) Luftbild VIS + NIR (Drohne) Multispektral (Satellit)	+ + + + +
<i>Heracleum mantegazzianum</i>	Riesen-Bärenklau	Michez et al. 2016 Müllerová et al. 2017 Müllerová et al. 2017	Luftbild VIS + NIR (Drohne) Luftbild VIS + NIR (Drohne) Multispektral (Satellit)	+ + +
<i>Impatiens glandulifera</i>	Drüsiges Springkraut	Michez et al. 2016	Luftbild VIS + NIR (Drohne)	+
<i>Ludwigia grandiflora</i>	Großblütiges Heusenkraut	Nicolas et al. 2011	Multispektral (Satellit)	+
<i>Myriophyllum aquaticum</i>	Brasilianisches Tausendblatt	Everitt et al. 2011	Hyperspektral (Labor)	+
<i>Prunus serotina</i>	Späte Traubenkirsche	Boschetti et al. 2007 Hantson et al. 2012	Hyperspektral (Flugzeug) Luftbild und LiDAR (Flugzeug)	+ +/-
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	Gewöhnliche Douglasie	Zimmermann et al. 2007 Jones et al. 2010	Multispektral (Satellit) Hyperspektral und LiDAR (Flugzeug)	+ +
<i>Quercus rubra</i>	Rot-Eiche	Boschetti et al. 2007 Dalponte et al. 2008	Hyperspektral (Flugzeug) Hyperspektral und LiDAR (Flugzeug)	+ +
<i>Rhododendron ponticum</i>	Pontischer Rhododendron	Taylor et al. 2013	Hyperspektral (Labor)	+
<i>Robinia pseudoacacia</i>	Robinie	Zhang, Qiu 2012 Somodi et al. 2012 Somodi et al. 2012 Gini et al. 2014	Hyperspektral und LiDAR (Flugzeug) Multispektral (Satellit) Luftbild (Flugzeug) Multispektral (Drohne)	+ +/- + +/-
<i>Rosa rugosa</i>	Kartoffelrose	Hantson et al. 2012 Sammet 2016	Luftbild und LiDAR (Flugzeug) Hyperspektral (Flugzeug)	+ +
<i>Solidago spec.</i>	Goldrute	Burai et al.	Hyperspektral (Flugzeug)	+

Quellen zu Tabelle B

Boschetti M., Boschetti L. et al. (2007): Tree species mapping with Airborne hyper-spectral MIVIS data: The Ticino Park study case. *International Journal of Remote Sensing* 28(6): 1 251 – 1 261. DOI: 10.1080/01431160600928542

Burai P., Laposi R. et al. (2011): Mapping invasive vegetation using AISA Eagle airborne hyper-spectral imagery in the Mid-Ipoly-Valley. *Workshop on Hyperspectral Image and Signal Processing, Evolution in Remote Sensing*. 3 – 6. DOI: 10.1109/WHISPERS.2011.6080947

Burkholder A., Warner T.A., Landenburg R. (2011): Seasonal Trends in Separability of Leaf Reflectance Spectra for *Ailanthus altissima* and Four Other Tree Species. pdf. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 77(8): 793 – 804.

Dalponte M., Bruzzone L., Gianelle D. (2008): Fusion of hyperspectral and LiDAR remote sensing data for classification of complex forest areas. *IEEE Transactions on Geoscience*

and Remote Sensing 46(5): 1 416 – 1 427. DOI: 10.1109/TGRS.2008.916480

Díaz-Delgado R., Bustamante J., Aragonés D. (2008): La teledetección como herramienta en la cartografía de especies invasoras: *Azolla filiculoides* en Doñana. *Invasiones Biológicas*, Publisher: Consejo Superior de Investigaciones Científicas (January): 159 – 163.

Díaz-Delgado R., Aragonés D. et al. (2010): Monitoring Marsh Dynamics Through Remote Sensing. In: C. Hurford, M. Schneider, I. Cowx (Hrsg.): *Conservation Monitoring in Freshwater Habitats A Practical Guide and Case Studies*. Springer Netherlands. Dordrecht: 1 – 415.

Dorigo W., Lucieer A. et al. (2012): Mapping invasive *Fallopia japonica* by combined spectral, spatial, and temporal analysis of digital orthophotos. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 19(1): 185 – 195. DOI: 10.1016/j.jag.2012.05.004

Everitt J.H., Yang C. et al. (2011): Evaluation of hyperspectral reflectance data for discriminating

six aquatic weeds. *Journal of Aquatic Plant Management* (49): 94 – 100.

Gini R., Passoni D. et al. (2012): Aerial Images From An UAV System: 3D Modeling and Tree Species Classification in a Park Area. *ISPRS – International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XXXIX-B1(September): 361 – 366*. DOI: 10.5194/isprsarchives-XXXIX-B1-361-2012

Gini R., Passoni D. et al. (2014): Use of Unmanned Aerial Systems for multispectral survey and tree classification: a test in a park area of northern Italy. *European Journal of Remote Sensing* 47(1): 251 – 269. DOI: 10.5721/EuJRS20144716

Hantson W., Kooistra L., Slim P.A. (2012): Mapping invasive woody species in coastal dunes in the Netherlands: A remote sensing approach using LiDAR and high-resolution aerial photographs. *Applied Vegetation Science* 15(4): 536 – 547. DOI: 10.1111/j.1654-109X.2012.01194.x

Hung C., Xu Z., Sukkarieh S. (2014): Feature learning based approach for weed classification using

- high resolution aerial images from a digital camera mounted on a UAV. *Remote Sensing* 6(12): 12037–12054. DOI: 10.3390/rs61212037
- Jones T.G., Coops N.C., Sharma T. (2010): Assessing the utility of airborne hyperspectral and LiDAR data for species distribution mapping in the coastal Pacific Northwest, Canada. *Remote Sensing of Environment* 114(12): 2841–2852. DOI: 10.1016/j.rse.2010.07.002
- Jones D., Pike S. et al. (2011): Object-based image analysis for detection of Japanese Knotweed s.l. taxa (polygonaceae) in Wales (UK). *Remote Sensing* 3(2): 319–342. DOI: 10.3390/rs3020319
- Michez A., Piégay H. et al. (2016): Mapping of riparian invasive species with supervised classification of Unmanned Aerial System (UAS) imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 44: 88–94. DOI: 10.1016/j.jag.2015.06.014
- Müllerová J., Brůna J. et al. (2017): Timing Is Important: Unmanned Aircraft vs. Satellite Imagery in Plant Invasion Monitoring. *Frontiers in Plant Science* 8 (May): 1–13. DOI: 10.3389/fpls.2017.00887
- Nicolas H., Simon M. et al. (2011): Mapping and Monitoring of an Aquatic Invasive Plant (*Ludwigia grandiflora*) with Multispectral Remote Sensing in a large wetland in West of France. In: Bohren C., Bertossa M. et al. (Hrsg.): 3rd International Symposium Environmental Weeds and Invasive Plants. 1–30.
- Ribeiro da Luz B., Crowley J.K. (2010): Identification of plant species by using high spatial and spectral resolution thermal infrared (8.0–13.5 µm) imagery. *Remote Sensing of Environment* 114(2): 404–413. DOI: 10.1016/j.rse.2009.09.019
- Roessler S., Wolf P. et al. (2013): Multispectral Remote Sensing of Invasive Aquatic Plants Using RapidEye. In: Krisp J.M., Meng L. et al. (Hrsg.): *Earth Observation of Global Changes (EOGC)*. Springer Berlin: 109–123.
- Sammet F. (2016): Mapping the invasive plant *Rosa rugosa* with hyperspectral data and One-Class Support Vector Machines. Masterarbeit im Master-Studiengang Franziska Sammet. FAU Erlangen-Nürnberg: 83 S.
- Santos M.J., Khanna S. et al. (2009): Use of Hyperspectral Remote Sensing to Evaluate Efficacy of Aquatic Plant Management. *Invasive Plant Science and Management* 2(3): 216–229. DOI: 10.1614/IPSM-08-115.1
- Somodi I., Čarni A. et al. (2012): Recognition of the invasive species *Robinia pseudacacia* from combined remote sensing and GIS sources. *Biological Conservation* 150(1): 59–67. DOI: 10.1016/j.biocon.2012.02.014
- Taylor S.L., Hill R.A., Edwards C. (2013): Characterising invasive non-native *Rhododendron ponticum* spectra signatures with spectroradiometry in the laboratory and field: Potential for remote mapping. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 81: 70–81. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2013.04.003
- Underwood E.C., Mulitsch M.J. et al. (2006): Mapping invasive aquatic vegetation in the sacramento–San Joaquin Delta using hyperspectral imagery. *Environmental Monitoring and Assessment* 121(1–3): 47–64. DOI: 10.1007/s10661-005-9106-4
- Wolf P., Rößler S. et al. (2013): Collecting in situ remote sensing reflectances of submersed macrophytes to build up a spectral library for lake monitoring. *European Journal of Remote Sensing* 46(1): 401–416. DOI: 10.5721/EuJRS.20134623
- Zhang C., Qiu F. (2012): Mapping Individual Tree Species in an Urban Forest Using Airborne Lidar Data and Hyperspectral Imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 78(10): 1079–1087. DOI: 10.14358/PERS.78.10.1079
- Zimmermann N.E., Edwards T.C. et al. (2007): Remote sensing-based predictors improve distribution models of rare, early successional and broadleaf tree species in Utah. *Journal of Applied Ecology* 44(5): 1057–1067. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2007.01348.x

Tab. C: Beispiele für in anderen Ländern invasive Arten, für die bereits Erfassungen mit Hilfe einer Kombination aus Fernerkundungs- und Felddaten durchgeführt wurden.

Table C: Examples of species invasive in other countries for which detection has already been carried out by means of a combination of remote sensing and field data.

Wissenschaftlicher Name	Quelle	Land	Plattform	Datentyp
<i>Acacia mangium</i>	Lehmann et al. 2017	Brasilien	Drohne	Luftbilder (RGB und CIR)
<i>Acacia mangium</i>	Lehmann et al. 2017	Brasilien	Satellit (Worldview)	Multispektral
<i>Acacia melanoxylon</i>	Calviño-Cancela et al. 2014	Spanien	Gyrocopter	Hyperspektral
<i>Acacia nilotica</i>	Reid et al. 2011	Australien	Drohne	Luftbilder
<i>Alternanthera philoxeroides</i>	Göktoğan et al. 2010	Australien	Drohne	Multispektral
<i>Bromus tectorum</i>	Noujdina, Ustin 2009	USA	Flugzeug	Hyperspektral
<i>Cardaria draba</i>	Mundt et al. 2005	USA	Flugzeug	Hyperspektral
<i>Carduus nutans</i>	Narumalani et al. 2009	USA	Flugzeug	Hyperspektral
<i>Carduus nutans</i>	Mirik et al. 2013	USA	Flugzeug	Hyperspektral
<i>Carpobrotus aff. edulis und acinaciformis</i>	Calviño-Cancela et al. 2014	Spanien	Gyrocopter	Hyperspektral
<i>Carpobrotus edulis</i>	Underwood et al. 2007	USA	Flugzeug	Hyperspektral
<i>Centaurea maculosa</i>	Lass et al. 2005	USA	Flugzeug	Hyperspektral
<i>Centaurea maculosa</i>	Lawrence et al. 2006	USA	Flugzeug	Hyperspektral
<i>Centaurea solstitialis</i>	Skowronek et al. 2017	USA	Flugzeug	Hyperspektral
<i>Cirsium arvense</i>	Amiri et al. 2013	Iran	Satellit	Multispektral
<i>Cirsium arvense</i>	Narumalani et al. 2009	USA	Flugzeug	Hyperspektral
<i>Cortaderia jubata</i>	Underwood et al. 2007	USA	Flugzeug	Hyperspektral
<i>Cytisus scoparius</i>	Hill et al. 2016	Kanada	Satellit (Landsat)	Multispektral
<i>Egeria densa</i>	Underwood et al. 2006	USA	Flugzeug	Hyperspektral
<i>Elaeagnus angustifolia</i>	Narumalani et al. 2009	USA	Flugzeug	Hyperspektral
<i>Eucalyptus globulus</i>	Underwood et al. 2007	USA	Flugzeug	Hyperspektral
<i>Euphorbia esula</i>	Parker Williams, Hunt 2002	USA	Flugzeug	Hyperspektral
<i>Euphorbia esula</i>	Glenn et al. 2005	USA	Flugzeug	Hyperspektral
<i>Euphorbia esula</i>	Lawrence et al. 2006	USA	Flugzeug	Hyperspektral
<i>Frangula alnus und Rhamnus cathartica</i>	Becker et al. 2013	USA	Satellit (Landsat)	Multispektral
<i>Fraxinus uhdei</i>	Asner et al. 2008	USA	Flugzeug	Hyperspektral und LiDAR
<i>Gypsophila paniculata</i>	Lass et al. 2005	USA	Flugzeug	Hyperspektral
<i>Hakea sericea</i>	Alvarez-Taboada et al. 2017	Portugal	Satellit (Worldview)	Multispektral
<i>Hakea sericea</i>	Alvarez-Taboada et al. 2017	Portugal	Drohne	Luftbilder
<i>Hedera helix</i>	Chance et al. 2016	Kanada	Flugzeug	Hyperspektral und LiDAR
<i>Hydrocharis morsus-ranae</i>	Proctor et al. 2012	Kanada	Satellit (Quickbird)	Multispektral
<i>Iris pseudacorus</i>	Hill et al. 2017	Kanada	Drohne	Luftbilder
<i>Lepidium latifolium</i>	Andrew, Ustin 2008	USA	Flugzeug	Hyperspektral
<i>Leucaena leucocephala</i>	Tsai et al. 2007	Taiwan	Satellit (Hyperion)	Hyperspektral
<i>Ligustrum lucidum</i>	Gavier-Pizarro et al. 2012	Argentinien	Satellit (Landsat)	Multispektral
<i>Linaria dalmatica</i>	Blumenthal et al. 2007	USA	Drohne	Luftbilder
<i>Lonicera maackii</i>	Shouse et al. 2012	USA	Flugzeug	Luftbilder
<i>Lonicera maackii</i>	Shouse et al. 2012	USA	Satellit (Landsat)	Multispektral
<i>Lythrum salicaria</i>	Laba et al. 2008	USA	Satellit (Landsat)	Multispektral
<i>Morella faya</i>	Asner et al. 2008	USA	Flugzeug	Hyperspektral und LiDAR
<i>Morella faya</i>	Somers, Asner 2013	USA	Satellit (Hyperion)	Hyperspektral
<i>Nassella trichotoma</i>	Hung et al. 2014	Australien	Drohne	Luftbilder
<i>Oxalis pes-caprae</i>	Calviño-Cancela et al. 2014	Spanien	Gyrocopter	Hyperspektral
<i>Parkinsonia aculeata</i>	Reid et al. 2011	Australien	Drohne	Luftbilder
<i>Phalaris aquatica</i>	Skowronek et al. 2017	USA	Flugzeug	Hyperspektral
<i>Phragmites australis</i>	Zaman et al. 2011	USA	Drohne	Multispektral
<i>Phragmites australis</i>	Laba et al. 2008	USA	Satellit (Landsat)	Multispektral
<i>Phragmites australis</i>	Pengra et al. 2007	USA	Satellit (Hyperion)	Hyperspektral
<i>Pinus nigra</i>	Hantson et al. 2012	Niederlande	Flugzeug	LiDAR und Luftbilder
<i>Prosopis juliflora</i>	Rembold et al. 2015	Somalia	Satellit (Landsat)	Multispektral
<i>Psidium cattleianum</i>	Asner et al. 2008	USA	Flugzeug	Hyperspektral und LiDAR
<i>Psidium cattleianum</i>	Somers, Asner 2013	USA	Satellit (Hyperion)	Hyperspektral
<i>Psidium cattleianum</i>	Barbosa et al. 2016	USA	Flugzeug	Hyperspektral und LiDAR
<i>Psidium guajava</i>	Walsh et al. 2008	Ecuador	Satellit (Quickbird)	Multispektral
<i>Psidium guajava</i>	Walsh et al. 2008	Ecuador	Satellit (Hyperion)	Hyperspektral
<i>Pteridium arachnoideum</i>	Silva et al. 2014	Ecuador	Ballon	Luftbilder (RGB und NIR)
<i>Pueraria montana</i>	Cheng 2007	USA	Flugzeug	Hyperspektral
<i>Rubus armeniacus</i>	Chance et al. 2016	Kanada	Flugzeug	Hyperspektral und LiDAR
<i>Salvinia molesta</i>	Göktoğan et al. 2010	Australien	Drohne	Multispektral
<i>Salvinia molesta</i>	Everitt et al. 2008	USA	Satellit (Quickbird)	Multispektral
<i>Solanum mauritianum</i>	Peerbhay et al. 2016	Südafrika	Satellit (Worldview)	Multispektral und LiDAR
<i>Solanum mauritianum</i>	Peerbhay et al. 2016	Südafrika	Flugzeug	Hyperspektral und LiDAR

Tab. C: Fortsetzung.

Table C: Continued.

Wissenschaftlicher Name	Quelle	Land	Plattform	Datentyp
<i>Solanum viarum</i>	Hung et al. 2014	Australien	Drohne	Luftbilder
<i>Solidago altissima</i>	Ishii, Washitani 2013	Japan	Flugzeug	Hyperspektral
<i>Spartina alterniflora</i>	Ai et al. 2016	China	Satellit (Landsat)	Multispektral
<i>Spartina alterniflora</i>	Wan et al. 2014	China	Drohne	Luftbilder
<i>Stachys byzanthina</i>	Amiri et al. 2013	Iran	Satellit	Multispektral
<i>Tamarix</i> sp.	Tai, Wang 2014	USA	Satellit (Modis)	Multispektral
<i>Tamarix</i> sp.	Evangelista et al. 2009	USA	Satellit (Landsat)	Multispektral
<i>Tamarix</i> spp.	Hamada et al. 2007	USA	Flugzeug	Hyperspektral
<i>Tamarix</i> spp.	Pu et al. 2008	USA	Flugzeug	Hyperspektral
<i>Tamarix</i> spp.	Narumalani et al. 2009	USA	Flugzeug	Hyperspektral
<i>Trapa natans</i>	Laba et al. 2008	USA	Satellit (Landsat)	Multispektral

Quellen zu Tabelle C

- Ai J., Gao W. et al. (2016): Integrating pan-sharpening and classifier ensemble techniques to map an invasive plant (*Spartina alterniflora*) in an estuarine wetland using Landsat 8 imagery. *Journal of Applied Remote Sensing* 10(2): 26001. DOI: 10.1117/1.JRS.10.026001
- Alvarez-Taboada F., Paredes C., Julián-Pelaz J. (2017): Mapping of the invasive species *Hakea sericea* using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and worldview-2 imagery and an object-oriented approach. *Remote Sensing* 9(9): 1–17. DOI: 10.3390/rs9090913
- Amiri M., Solaimani K., Miryaghoubzadeh M. (2013): Fuzzy Classification for Mapping Invasive Species from Multispectral Imagery. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing* 41(4): 749–755. DOI: 10.1007/s12524-013-0261-8
- Andrew M., Ustin S. (2008): The role of environmental context in mapping invasive plants with hyperspectral image data. *Remote Sensing of Environment* 112(12): 4301–4317. DOI: 10.1016/j.rse.2008.07.016
- Asner G.P., Knapp D.E. et al. (2008): Invasive species detection in Hawaiian rainforests using airborne imaging spectroscopy and LiDAR. *Remote Sensing of Environment* 112(5): 1942–1955. DOI: 10.1016/j.rse.2007.11.016
- Barbosa J.M., Asner G.P. et al. (2016): Determining subcanopy *Psidium cattleianum* invasion in Hawaiian forests using imaging spectroscopy. *Remote Sensing* 8(1): 1–17. DOI: 10.3390/rs8010033
- Becker R.H., Zmijewski K.A., Crail T. (2013): Seeing the forest for the invasives: Mapping buckthorn in the Oak Openings. *Biological Invasions* 15(2): 315–326. DOI: 10.1007/s10530-012-0288-8
- Blumenthal D., Booth D.T. et al. (2007): Large-scale Aerial Images Capture Details of Invasive Plant Populations. *Rangeland Ecology & Management* 60(5): 523–528. DOI: 10.2111/1551-5028(2007)60[523:LAICDO]2.0.CO;2
- Calviño-Cancela M., Méndez-Rial R. et al. (2014): Alien plant monitoring with ultralight airborne imaging spectroscopy. *PLoS ONE* 9(7): 1–9. DOI: 10.1371/journal.pone.0102381
- Chance C.M., Coops N.C. et al. (2016): Spectral Wavelength Selection and Detection of Two Invasive Plant Species in an Urban Area. *Canadian Journal of Remote Sensing* 42(1): 27–40. DOI: 10.1080/07038992.2016.1143330
- Cheng Y.-B. (2007): Mapping an invasive species, kudzu (*Pueraria montana*), using hyperspectral imagery in western Georgia. *Journal of Applied Remote Sensing* 1(1): 13514. DOI: 10.1117/1.2749266
- Evangelista P.H., Stohlgren T.J. et al. (2009): Mapping invasive tamarisk (*Tamarix*): A comparison of single-scene and time-series analyses of remotely sensed data. *Remote Sensing* 1(3): 519–533. DOI: 10.3390/rs1030519
- Everitt J.H., Fletcher R.S. et al. (2008): Mapping giant *salvinia* with satellite imagery and image analysis. *Environmental Monitoring and Assessment* 139(1–3): 35–40. DOI: 10.1007/s10661-007-9807-y
- Gavier-Pizarro G.I., Kuemmerle T. et al. (2012): Monitoring the invasion of an exotic tree (*Ligustrum lucidum*) from 1983 to 2006 with Landsat TM/ETM+ satellite data and Support Vector Machines in Córdoba, Argentina. *Remote Sensing of Environment* 122: 134–145. DOI: 10.1016/j.rse.2011.09.023
- Glenn N.F., Mundt J.T. et al. (2005): Hyperspectral data processing for repeat detection of small infestations of leafy spurge. *Remote Sensing of Environment* 95(3): 399–412. DOI: 10.1016/j.rse.2005.01.003
- Göktoğan A.H., Sukkarieh S. et al. (2010): A Rotary-wing Unmanned Air Vehicle for Aquatic Weed Surveillance and Management. *Journal of Intelligent and Robotic Systems* 57(1–4): 467–484. DOI: 10.1007/s10846-009-9371-5
- Hamada Y., Stow D.A. et al. (2007): Detecting Tamarisk species (*Tamarix* spp.) in riparian habitats of Southern California using high spatial resolution hyperspectral imagery. *Remote Sensing of Environment* 109(2): 237–248. DOI: 10.1016/j.rse.2007.01.003
- Hantson W., Kooistra L., Slim P.A. (2012): Mapping invasive woody species in coastal dunes in the Netherlands: A remote sensing approach using LiDAR and high-resolution aerial photographs. *Applied Vegetation Science* 15(4): 536–547. DOI: 10.1111/j.1654-109X.2012.01194.x
- Hill D.A., Prasad R., Leckie D.G. (2016): Mapping of Scotch Broom (*Cytisus scoparius*) with Landsat Imagery. *Weed Technology* 30(2): 539–558. DOI: 10.1614/WT-D-15-00038.1
- Hill D.J., Tarasoff C. et al. (2017): Utility of unmanned aerial vehicles for mapping invasive plant species: a case study on yellow flag iris (*Iris pseudacorus* L.). *International Journal of Remote Sensing* 38(8–10): 2083–2105. DOI: 10.1080/01431161.2016.1264030
- Hung C., Xu Z., Sukkarieh S. (2014): Feature learning based approach for weed classification using high resolution aerial images from a digital camera mounted on a UAV. *Remote Sensing* 6(12): 12037–12054. DOI: 10.3390/rs61212037
- Ishii J., Washitani I. (2013): Early detection of the invasive alien plant *Solidago altissima* in moist tall grassland using hyperspectral imagery. *International Journal of Remote Sensing* 34(16): 5926–5936. DOI: 10.1080/01431161.2013.799790
- Laba M., Downs R. et al. (2008): Mapping invasive wetland plants in the Hudson River National Estuarine Research Reserve using quickbird satellite imagery. *Remote Sensing of Environment* 112(1): 286–300. DOI: 10.1016/j.rse.2007.05.003
- Lass L.W., Prather T.S. et al. (2005): A review of remote sensing of invasive weeds and example of the early detection of spotted knapweed (*Centaurea maculosa*) and babysbreath (*Gypsophila paniculata*) with a hyperspectral sensor. *Weed Science* 53(2): 242–251. DOI: 10.1614/WS-04-044R2
- Lawrence R.L., Wood S.D., Sheley R.L. (2006): Mapping invasive plants using hyperspectral imagery and Breiman Cutler classifications (Random Forest). *Remote Sensing of Environment* 100(3): 356–362. DOI: 10.1016/j.rse.2005.10.014
- Lehmann J.R.K., Prinz T. et al. (2017): Open-Source Processing and Analysis of Aerial Imagery Acquired with a Low-Cost Unmanned Aerial System to Support Invasive Plant Management. *Frontiers in Environmental Science* 5 (July): 1–16. DOI: 10.3389/fenvs.2017.00044
- Mirik M., Ansley R.J. et al. (2013): Remote distinction of a noxious weed (Musk Thistle: *Carduus nutans*) using airborne hyperspectral imagery and the support vector machine classifier. *Remote Sensing* 5(2): 612–630. DOI: 10.3390/rs5020612
- Mundt J.T., Glenn N.F. et al. (2005): Discrimination of hoary cress and determination of its detection limits via hyperspectral image processing and accuracy assessment techniques. *Remote Sensing of Environment* 96(3–4): 509–517. DOI: 10.1016/j.rse.2005.04.004
- Narumalani S., Mishra D.R. et al. (2009): Detecting and Mapping Four Invasive Species Along The Floodplain of North Platte River, Nebraska.

- Weed Technology 23(1): 99 – 107. DOI: 10.1614/WT-08-007.1
- Noujdina N.V., Ustin S.L. (2009): Mapping downy brome (*Bromus tectorum*) using multivariate AVIRIS data. *Weed Science* 56(1): 173 – 179. DOI: 10.1614/WS-07-009.1
- Parker Williams A., Hunt E.R. (2002): Estimation of leafy spurge cover from hyperspectral imagery using mixture tuned matched filtering. *Remote Sensing of Environment* 82(2 – 3): 446 – 456. DOI: 10.1016/S0034-4257(02)00061-5
- Peerbhay K., Mutanga O. et al. (2016): Mapping *Solanum mauritianum* plant invasions using WorldView-2 imagery and unsupervised random forests. *Remote Sensing of Environment* 182: 39 – 48. DOI: 10.1016/j.rse.2016.04.025
- Pengra B.W., Johnston C.A., Loveland T.R. (2007): Mapping an invasive plant, *Phragmites australis*, in coastal wetlands using the EO-1 Hyperion hyperspectral sensor. *Remote Sensing of Environment* 108(1): 74 – 81. DOI: 10.1016/j.rse.2006.11.002
- Proctor C., Robinson V., He Y. (2012): Multispectral detection of European frog-bit in the South Nation River using Quickbird imagery. *Canadian Journal of Remote Sensing* 38(4): 476 – 486. DOI: 10.5589/m12-040
- Pu R., Gong P. et al. (2008): Invasive species change detection using artificial neural networks and CASI hyperspectral imagery. *Environmental Monitoring and Assessment* 140(1–3): 15 – 32. DOI: 10.1007/s10661-007-9843-7
- Reid A., Ramos F., Sukkarieh S. (2011): Multi-class classification of vegetation in natural environments using an Unmanned Aerial system. 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation. 2953 – 2959. DOI: 10.1109/ICRA.2011.5980061
- Rembold F., Leonardi U. et al. (2015): Mapping areas invaded by *Prosopis juliflora* in Somaliland on Landsat 8 imagery: 963723. DOI: 10.1117/12.2193133
- Shouse M., Liang L., Fei S. (2012): Identification of understory invasive exotic plants with remote sensing: In urban forests. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 21(1): 525 – 534. DOI: 10.1016/j.jag.2012.07.010
- Silva B., Lehnert L. et al. (2014): Mapping two competing grassland species from a low-altitude helium balloon. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 7(7): 3 038 – 3 049. DOI: 10.1109/JSTARS.2014.2321896
- Skowronek S., Asner G.P., Feilhauer H. (2017): Performance of one-class classifiers for invasive species mapping using airborne imaging spectroscopy. *Ecological Informatics* 37: 66 – 76. DOI: 10.1016/j.ecoinf.2016.11.005
- Somers B., Asner G.P. (2013): Invasive species mapping in hawaiian rainforests using multi-temporal hyperion spaceborne imaging spectroscopy. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 6(2): 351 – 359. DOI: 10.1109/JSTARS.2012.2203796
- Tai X., Wang L. (2014): Develop an Ensemble Support Vector Data Description method for improving invasive tamarisk mapping at regional scale. *International Journal of Remote Sensing* 35(19): 7030 – 7045. DOI: 10.1080/01431161.2014.965283
- Tsai F., Lin E.-K., Yoshino K. (2007): Spectrally segmented principal component analysis of hyperspectral imagery for mapping invasive plant species. *International Journal of Remote Sensing* 28(5): 1 023 – 1 039. DOI: 10.1080/01431160600887706
- Underwood E.C., Mulitsch M.J. et al. (2006): Mapping invasive aquatic vegetation in the Sacramento – San Joaquin Delta using hyperspectral imagery. *Environmental Monitoring and Assessment* 121(1 – 3): 47 – 64. DOI: 10.1007/s10661-005-9106-4
- Underwood E.C., Ustin S.L., Ramirez C.M. (2007): A comparison of spatial and spectral image resolution for mapping invasive plants in coastal California. *Environmental Management* 39(1): 63 – 83. DOI: 10.1007/s00267-005-0228-9
- Walsh S.J., McCleary A.L. et al. (2008): QuickBird and Hyperion data analysis of an invasive plant species in the Galapagos Islands of Ecuador: Implications for control and land use management. *Remote Sensing of Environment* 112(5): 1927 – 1941. DOI: 10.1016/j.rse.2007.06.028
- Wan H., Wang Q. et al. (2014): Monitoring the invasion of *Spartina alterniflora* using very high resolution unmanned aerial vehicle imagery in Beihai, Guangxi (China). *Scientific World Journal* 2014: 1 – 7. DOI: 10.1155/2014/638296
- Zaman B., Jensen A.M., McKee M. (2011): Use of high-resolution multispectral imagery acquired with an autonomous unmanned aerial vehicle to quantify the spread of an invasive wetlands species. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*: 803 – 806. DOI: 10.1109/IGARSS.2011.6049252

Dr. Sandra Skowronek
Korrespondierende Autorin
Bundesamt für Naturschutz
Konstantinstraße 110
53179 Bonn
E-Mail: sandra.skowronek@bfn.de



Studium der Geoökologie an der TU Bergakademie Freiberg mit Auslandsjahr an der Universität Almeria (Spanien) und Diplomarbeit an der Universität Bozen (Italien); anschließend 2-jährige Tätigkeit als Landschaftsplanerin bei ANUVA Stadt- und Umweltplanung in Nürnberg; dann Promotion zum Thema „Erfassung invasiver Pflanzenarten mithilfe von Hyperspektraldaten“ an der Universität Erlangen-Nürnberg mit Auslandsjahr an der Carnegie Institution for Sciences in Stanford (USA); seit Anfang 2017 wissenschaftliche Mitarbeiterin am Bundesamt für Naturschutz, Themenschwerpunkt invasive Pflanzenarten.

Dr. Stefanie Stenzel
Bundesamt für Naturschutz
Konstantinstraße 110
53179 Bonn
E-Mail: stefanie.stenzel@bfn.de

Dr. Hannes Feilhauer
Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg
Institut für Geographie
Wetterkreuz 15
91058 Erlangen
E-Mail: hannes.feilhauer@fau.de