

Assimilation von satellitenbasierten Reflexionsmessungen in einem Informationssystem für einen modernen Hopfenbaubetrieb

Hubert Linseisen¹, Ioannis Manakos², Eleftherios Katsikis² und Anastasios Delopoulos³

Abstract: Ziel des Artikels ist es, ortsbasierte Fernerkundungstechnologien verstärkt auch in die Praxis des Hopfenbaus zu bringen. Einleitend wird gezeigt, wie hierfür ein datenbasiertes Informationssystem mit Software und Datentransfer ausgestaltet sein muss. Der Schwerpunkt des Beitrags ist das Stickstoffmonitoring und die Ertragsschätzung im Hopfenbau durch Fernerkundungsdaten. Hierzu wurden Daten aus den letzten drei Jahren für einen Hopfenbaubetrieb aus der Hallertau ausgewertet. Gezeigt werden erste Schritte, welchen Beitrag hierbei die Fernerkundung leisten kann. Eine Diskussion mit Ausblick rundet den Beitrag ab.

Keywords: Hopfenbau, Fernerkundung, Informationssystem, GIS, GPS

1 Einleitung

Hopfen wird fast ausschließlich zur Bierproduktion verwendet. Weltweit werden auf gut 60 000 Hektar v. a. in den USA und Deutschland Hopfen angebaut. Die deutschen Anbaugebiete sind die Hallertau, Tettngang, Elbe-Saale und Spalt. Hopfen ist eine Dauerkultur. Die Stöcke werden in Reihen angelegt. Etwa 7 Meter hohe Säulen werden aufgestellt, an denen ein Eisengerüst befestigt wird. An das Eisengerüst werden Drähte befestigt, an denen die Pflanzen hochwachsen. Geerntet werden nur die nicht befruchteten weiblichen Blütenstände. Hopfen wächst äußerst schnell. Beginnend Anfang Mai wird die Gerüsthöhe schon Ende Juni/Anfang Juli erreicht.

Ein modernes Informationssystem für einen Hopfenbaubetrieb hat bestehende und zukünftige Anforderungen datentechnisch zu meistern. So sind hochwertige Geoinformationssysteme unerlässlich, um Daten der Fernerkundung mit u. a. Höhenmodellen, Datenlagen der Landwirtschaftsverwaltung zu halten und miteinander zu verknüpfen. Verknüpfungspunkt des Informationssystems sind die durch GPS ermittelten x-, y- und z-Koordinaten. Der Einsatz von GPS-Technologie im Hopfenbau ist aber noch überschaubar. Erfolgreich werden bereits beim Aufstellen der Gerüstanlagen und bei der

¹ Landwirtschaftsberater, Breitenwiese 6, 85283 Wolnzach, Hubert.Linseisen@web.de

² Information Technologies Institute, Centre for Research and Technology Hellas (CERTH), 6 km Harilaou-Thermi Rd., 57001, Thessaloniki, Greece, imanakos@iti.gr; lefkats@iti.gr

³ Information Processing Laboratory, Department of Electrical and Computer Engineering, Aristotle University of Thessaloniki, Information Processing Lab, AUTH Campus, GR-54124, Thessaloniki, Greece, antelopo@ece.auth.gr

Bepflanzung GPS-Systeme eingesetzt [Fu23]. Der Einsatz von GPS-Trackern bei Abreißgeräten wurde zur Ermittlung von teilflächenspezifischen Ertragskarten getestet [La10]. Durch Auswertungen sind Aussagen u. a. über die Erntemenge, die Lage der abgeernteten Reihen und die Fahrtzeiten möglich. Weiterhin sind Datenbanken erforderlich, um z. B. Wetterdaten zu speichern und betriebswirtschaftliche und ökologische Auswertungen zu speisen. Bewässerungscomputer mit ihrer Software sind in das Gesamtsystem zu integrieren. ISOBUS-Dateien für etwaige Anbaugeräte sind zu erstellen. Diese sind z. B. beim Düngerstreuen an die Besonderheiten im Hopfenbau anzupassen. So kann durch die derzeitige Software noch nicht dargestellt werden, wenn nur auf den Bifang gestreut wird [Kv22]. Ziel ist weiterhin auch für die Praxis, datentechnisch die Einzelpflanze ansprechen zu können. Dies ist derzeit schon v. a. im Versuchswesen interessant. Derzeit müssen die Pflanzen i.d.R. noch arbeitsaufwendig durch tragbare GPS-Vermessungssysteme lokalisiert werden. Probleme bereiten bei den dargestellten Komponenten die z. T. unterschiedlich verwendeten Datenformate. Wegen der Komplexität der dargestellten Software müsste diese teilweise überbetrieblich eingesetzt werden.

2 Reflexionsmessungen im Hopfenbau

Ein Schwerpunkt der Darstellung sind zukünftige Verbesserungen des Stickstoffmonitorings und der Ertragserwartung von Hopfenpflanzen mit Hilfe von georeferenzierten, multispektralen Aufnahmen. Gesetzliche Regelungen führen auch im Hopfenbau immer weiter dazu, dass v. a. Stickstoff nur noch begrenzt eingesetzt werden kann. Auch im Hopfenbau werden N-Sensoren getestet. Je Hopfensorte ist dabei mit unterschiedlichen Reflexionskurven zu kalkulieren [Lu23]. Von Waldinger wurden Spektralmessungen bei der gängigen Sorte Herkules in einem Hopfengarten mit Bewässerung in drei verschiedenen Messhöhen durchgeführt. Die Reflexion des Pflanzenbestandes im üblichen Wellenlängenbereich von 325 bis 940 nm wurde dabei erfasst. Es konnten gute Korrelationen zu den Parametern Trockenmasse und damit dem Ertrag, N-Gehalt und zur N-Aufnahme sowie Stickstoffversorgung durch die ermittelten Vegetationsindizes festgestellt werden. Bei den Untersuchungen zeigte sich, dass u. a. der Hauptwendepunkt, im Englischen REIP (Red Edge Inflection Point) genannt, in mittlerer und oberer Messhöhe gut den N-Gehalt und die N-Aufnahme darstellen kann. So hatte der REIP am 20. Juni, kurz vor der 3. N-Gabe, bei mittlerer Messhöhe eine Korrelation von 0,75 zur Stickstoffaufnahme [Wa19; St21]. Die Korrelationen Ende Mai, vor der 2. N-Gabe, müssen durch weitere Versuche noch verbessert werden.

Zu prüfen ist, ob auch im Hopfenbau durch fast in Echtzeit verfügbare Satellitenbilder Messungen am Boden ersetzt oder zumindest ergänzt werden können. Auch die Ermittlung der Höhe der Hopfenpflanze könnte in die Entscheidung der N-Düngehöhe einfließen. Dies könnte in der Zukunft arbeitswirtschaftliche Erleichterungen bei der Bestandsbeurteilung bringen.

So wurden als erster Schritt 43 Satellitenbilder jeweils mit Pixeln, die für eine räumliche Auflösung von 10 Meter x 10 Meter stehen, ausgewertet. Die Daten stammen aus dem Zeitraum 25. Februar 2021 bis 21. August 2023. Zuerst wurde ein markanter Hopfengarten („Viehweide Umbruch“), für den mehrere georeferenzierte Datenlagen vorhanden sind, für den Betrieb Stefan Linseisen in Weikenhausen mit der Sorte Herkules ausgewertet (Abb. 1).

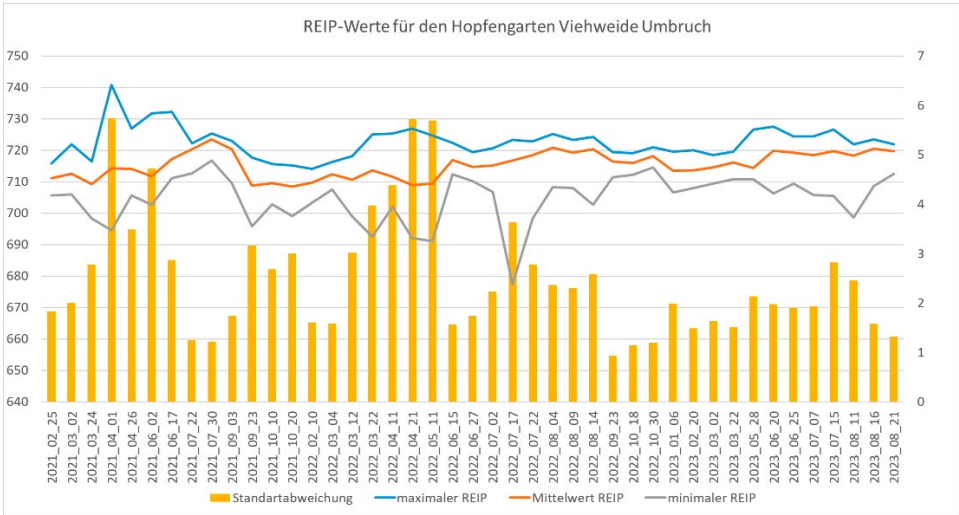


Abb. 1: Auswertungsübersicht von 43 Satellitendaten für den Hopfengarten Viehweide Umbruch (y-Achse links: REIP in nm; y-Achse rechts: Standardabweichung in nm; x-Achse: Datum)

Anfang Juli wird in der Regel die Gerüsthöhe erreicht. Durch die Seitenarmbildung erhält die Hopfenpflanze eine tonnige Form. Von oben gesehen sind der Boden und die Fahrspuren dann kaum mehr sichtbar. Der REIP steigt im Laufe der Vegetationsperiode. Da im Juli und August nur noch die Pflanzen sichtbar sind, ist hier auch die Standardabweichung geringer (Tab. 1).

Zeitraum	durchschnittl. REIP	durchschnittl. Standardabweichung
Mai/Juni 2021	714,5	3,8
Juli/August 2021	721,8	1,2
Mai/Juni 2022	713,7	3,0
Juli/August 2022	718,5	2,7
Mai/Juni 2023	717,8	2,0
Juli/August 2023	719,3	2,0

Tab. 1: REIP in nm und Standardabweichung in nm bei unterschiedlichen Zeiträumen beim Hopfengarten Viehweide Umbruch

Tendenziell konnten mit der Höhe des REIP u. a. im Juli und August im Hopfengarten Viehweide Umbruch mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,85 auf den Ertrag Rückschlüsse gezogen werden. Ein Rückgang des REIP im August, der bei den Reflexionsmessungen an der Pflanze festgestellt werden konnte, war bei dieser Datenbasis aber nicht feststellbar [Wa19]. Auch die Steigung des REIP kann nach diesen vorläufigen Daten im Hopfen gut den Ertrag ex ante und ex post abbilden. Das Bestimmtheitsmaß für die Daten schon im Mai und Juni war bei 0,85 (siehe Abb. 2; [Ge16; MKS22]).

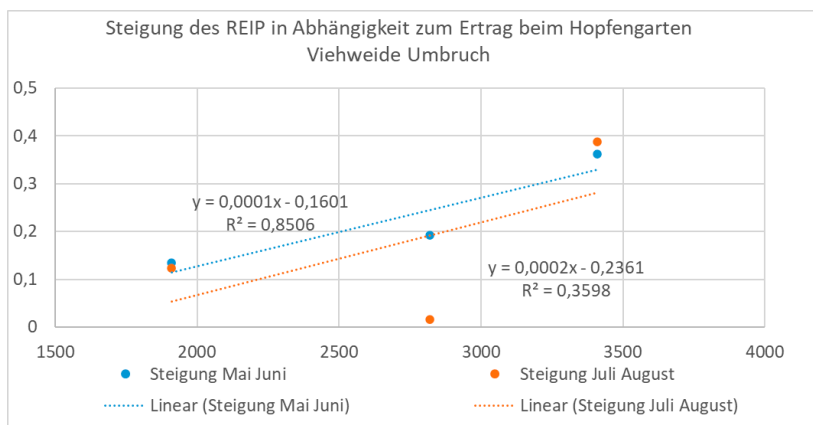


Abb. 2: Die Steigerung des REIP (y-Achse) in Abhängigkeit vom Ertrag (x-Achse in kg/ha) im Hopfengarten Viehweide Umbruch

Als zweiter Schritt wurden weitere Felder in die Untersuchungen einbezogen. Ausgangsbasis für die weiteren Berechnungen war eine durch den Landwirt erstellte Ertragspotenzialkarte. Als Attribute der Karte sind die Sorte und die durchschnittlichen Erträge je Sorte der Jahre 2021, 2022 und 2023 hinterlegt. Errechnet wurden REIP-Größen für Felder mit den gängigen Sorten Tradition, Perle und Herkules. Diese Auswertungen sind noch nicht endgültig abgeschlossen. Für jedes Pixel wurde eine lineare Regressionsanalyse für die Zeiträume Mai und Juni und Juni und Juli durchgeführt, um eine Trendlinie für die REIP-Größen zu ermitteln. Die REIP-Werte wurden auf der vertikalen Achse angeordnet, jeder einzelne Tag des Betrachtungszeitraumes auf der horizontalen Achse. Diese Vorgehensweise erlaubt ein indirektes Monitoring des Pflanzenwachstums und eine Verknüpfung von Messungen, die am Boden erhoben wurden. Die REIP-Werte wurden nebeneinandergestellt und mit den Erträgen der Jahre 2021, 2022 und 2023 verglichen. Die Wetterbedingungen wurden in die Betrachtung einbezogen. So herrschten 2021 gute Wetterbedingungen. Das Jahr 2022 war gekennzeichnet durch ein Hagelereignis am 20. Juni. Das Jahr 2023 war anfangs zu trocken. Regen im Juli und August ermöglichte es noch, eine leicht unterdurchschnittliche Ernte einzufahren.

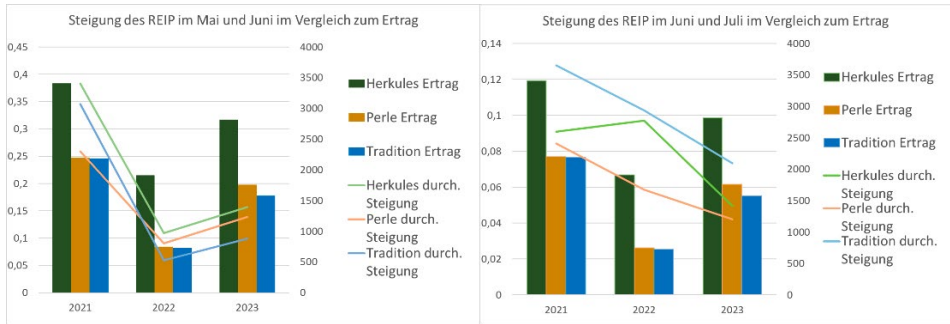


Abb. 3: y-Achse links: durchschnittliche Werte der Steigung des REIP in Mai/Juni und Juni/Juli (Sentinel-2 Daten), y-Achse rechts: Ertrag in kg/ha, x-Achse: Jahr

Die Steigung des REIP im Mai und Juni hat nach diesen Auswertungen das Potenzial, den Ertrag, u. U. auch nach Sorte, gut abzubilden. Die Daten für Juni und Juli sind weniger aussagekräftig. Das Hagelereignis 2022 spiegelt sich in den Auswertungen für Juni/Juli 2022 wider. Die Steigerungsraten des REIP waren relativ hoch und die Zusammenhänge mit dem Ertrag 2022 schwach (Abb. 3).

3 Diskussion mit Ausblick

Das Zusammenfügen von Teilflächenergebnissen in Verbindung mit der Stickstoffausbringmenge und dem Ertrag dürfte weitere Korrelationen hervorbringen und für die Abbildung robusterer Zusammenhänge sorgen, die Voraussetzung für das Bestandsmonitoring und die Ertragsschätzung sein können. Notwendig wäre ein langjähriges Wissen über die Felder und deren Erträge, damit man die Hopfengärten in Hohertrags-, Mitteltrags- und Niedrigertragszonen einordnen kann. Diese Information müsste mit quantitativen Daten verknüpft werden, um eine Verbesserung der Resultate zu erreichen. Techniken der künstlichen Intelligenz wecken die Hoffnung, Hilfe bei der Auswertung von Reflexionsmustern zu erhalten, die auch die Pflanzenhöhe schätzen können [Al22]. Bereits in einem frühen Vegetationsstadium waren bei diesen ersten Schritten gute Zusammenhänge zum Ertrag sichtbar. Die Resultate stehen im Gegensatz zu den Ergebnissen aus bodennahen Reflexionsmessungen an der Pflanze, bei denen erst Anfang Juni brauchbare Reflexionskurven ermittelt werden konnten [Wa19; St21]. Das Potenzial für Aussagen mit Hilfe von Satellitenaufnahmen im Mai und Juni könnte tendenziell höher sein, soweit die Störfaktoren ausgeschaltet werden können. Weiterhin sollte durch intensivere Forschungsarbeit versucht werden, die hier ermittelten ersten Ergebnisse mit Reflexionsdaten, die direkt an der Hopfenpflanze erhoben wurden, besser zu verknüpfen. In der Fläche und in der Zeit hochauflösende Satellitenbilder haben das Potenzial, auch im Hopfenbau einen Beitrag zur Entscheidungsunterstützung bei den verschiedenen Arbeiten (v. a. der Stickstoffdüngung) zu liefern. Dies gilt insbesondere bei bewässerten Hopfengärten, in denen ein Störfaktor, die Wasserverfügbarkeit, ausgeschaltet ist.

Literaturverzeichnis

- [Al22] Alagialoglou, L. et al.: A learnable model with calibrated uncertainty quantification for estimating canopy height from spaceborne sequential imagery, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 60, S. 1-13, 2022, Art no. 4410913, <https://doi.org/10.1109/TGRS.2022.3171407>
- [Fu23] Fuss, E.: persönliches Gespräch zum GPS-Einsatz bei der Firma Fuss, Lutzmannsdorf, Mainburg, am 7.10.2023.
- [Ge16] Geipel, J. et al.: A Programmable Aerial Multispectral Camera System for In-Season Crop Biomass and Nitrogen Content Estimation, *Agriculture* 2016, 6, 4, 2016, <https://doi.org/10.3390/agriculture6010004>
- [Kv22] Kverneland Group Deutschland GmbH, Applikationskarten für Kverneland Terminals, Soest, 2022.
- [La10] Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL): Jahresbericht Hopfen 2010, Freising-Weihenstephan, 2011.
- [Lu23] Lutz, K.: persönliches Gespräch zum Einsatz von Satellitendaten zur N-Düngung im Hopfen, Hüll, am 25.1.2023.
- [MKS22] Marszalek, M.; Korner, M.; Schmidhalter, U.: Prediction of multi-year winter wheat yields at the field level with satellite and climatological data, *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 194, 2022, ISSN 0168-1699, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169922000941>
- [St21] Stampfl, J.: Bedarfsgerechte Stickstoffernährung von Hopfen (*Humulus lupulus* L.) durch Düngesysteme mit Fertigation, Dissertation an der Universität Hohenheim, Institut für Kulturpflanzenwissenschaft, Stuttgart, 2021.
- [Wa19] Waldinger, M.: Auswirkung differenzierter Stickstoffdüngung auf Wachstumsverlauf und Ertragsbildung von Hopfen – Möglichkeiten der Nutzung von Reflexionsmessungen, Bachelorarbeit an der Technischen Universität München, Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, Freising-Weihenstephan, 2019.