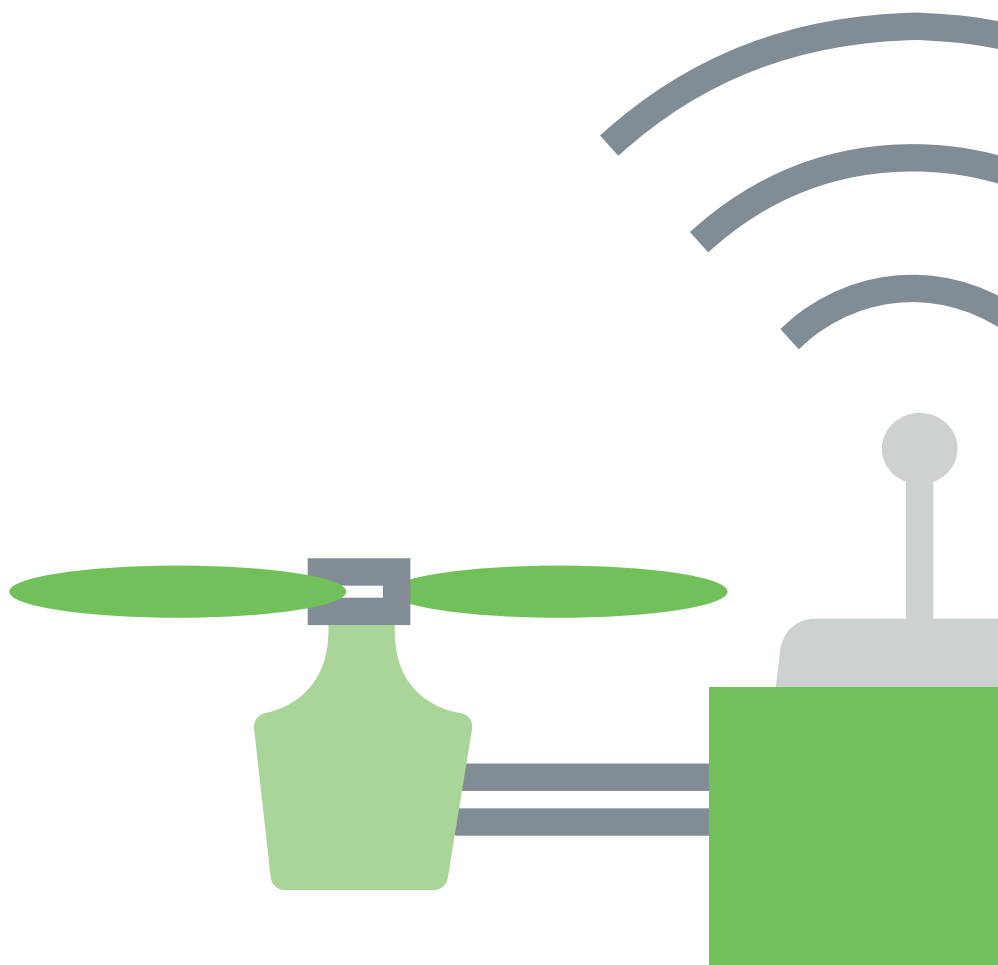


eurac
research

idm
SÜDTIROL
ALTO ADIGE

unibz

LAIMBURG



PROJEKT „MONALISA“
Wissenschaft und Technologie
zur Überwachung relevanter
Umweltparameter im Alpenraum

PROJEKT „MONALISA“

Wissenschaft und Technologie
zur Überwachung relevanter
Umweltparameter im Alpenraum

Autoren

Andrea Vilardi, Marc Zebisch, Georg Niedrist, Enrico Tomelleri, Claudia Notarnicola, Roberto Monsorno, Bartolomeo Ventura, Andrea Vianello, Mariapina Castelli, Felix Greifeneder, Giacomo Bertoldi, Sarah Asam, Abraham Mejia Aguilar, Jeroen Staab

Fabrizio Mazzetto, Giustino Tonon, Massimo Tagliavini, Damiano Zanotelli, Raimondo Gallo, Gianluca Ristorto, Renato Vidoni

Angelo Zanella, Nadja Sadar, Stefan Stürz, Michael Oberhuber, Rob Schouten, Pol Tijskens, Wouter Saeys, Robbe Van Beers, Nghia Nguyen, Lorenzo Spinelli, Maristella Vanoli, Anna Rizzolo, Alessandro Torricelli, Marina Buccheri, Maurizio Grassi, Pieter Verboven, Mattias van Dael, Dennis Cantre, Zi Wang, Peter Robatscher, Tao Liu

Johannes Brunner

Übersetzer

Von italienisch nach deutsch: Bonetti & Peroni, Bozen

Von deutsch nach italienisch: Daniela Dellantonio e Federica Giaccon

INHALT

05 Einleitung

Andrea Vilardi, Marc Zebisch

06 Zusammenfassung

10 Forschungsbereiche

10 Wasser und Kohlenstoff

10 In-situ network

Georg Niedrist, Eurac Research

13 Kontinuierliche Überwachung der Schneebedeckung anhand von MODIS-Satellitendaten

Claudia Notarnicola, Eurac Research

15 Zahl der Drohnen steigt Auch in Südtirol

15 Modellierung der Evapotranspiration anhand von UAV-Daten

Mariapina Castelli, Eurac Research

16 Modellierung und Fernerkundung des Bodenfeuchtegehalts

Giacomo Bertoldi, Felix Greifeneder, Eurac Research

18 Untersuchung der Kohlenstoff- und Wasserflüsse in einer Kalterer Apfelwiese

Damiano Zanotelli, Massimo Tagliavini, Freie Universität Bozen

20 Daten für das Notfallmanagement

21 Vegetation und Boden

21 In-Situ Messungen

Georg Niedrist, Eurac Research

22 Fernerkundungsbasiertes Vegetationsmonitoring

Sarah Asam, Eurac Research

26 Drohnen und *proximity sensing* für Vegetationsparameter

Enrico Tomelleri, Eurac Research

29 Klimawandel und Veränderungen der forstwirtschaftlichen Produktivität in Berggebieten

Giustino Tonon, Freie Universität Bozen

30 Entwicklung von Instrumenten zur Untersuchung der Wälder und zur Schätzung der Waldbiomasse aus *LiDAR*-Daten

Giustino Tonon, Freie Universität Bozen

31 Ein mobiles Labor für kleinräumiges Vegetationsmonitoring

Fabrizio Mazzetto, Raimondo Gallo, Gianluca Ristorto, Renato Vidoni, Freie Universität Bozen

34 Berechnung: weniger ist mehr

35 Die Automatisierung des operativen Monitorings und digitale Betriebshefte

Fabrizio Mazzetto, Raimondo Gallo, Freie Universität Bozen

42 Der gläserne Apfel

Angelo Zanella, Land- und forstwirtschaftliches Versuchszentrum Laimburg

43 Die Apfel-Qualität vorhersagen und garantieren

44 Knackigkeit mittels Licht ertasten

45 Den Apfel innen durchleuchten

46 Die Gesundheit im Apfel erkennen

47 Schlussfolgerungen

47 In enger Zusammenarbeit

47 Datenbank

Roberto Monsorno, Eurac Research

48 Datenerhebung und -verwaltung: Harmonisierung

49 Datennutzung

50 Zahlen

50 Die Grenzen der Technik

50 Von Umweltdaten zur Apfelqualität

51 Das MONALISA-Portal

52 Webservices für Rasterdaten

52 Zugang zur SOS-Datenbank mittels SOS4R plugin

52 Schlussfolgerungen

53 Zusammenarbeit Forschung - Unternehmen

Johannes Brunner, IDM Südtirol

54 Die beteiligten Unternehmen

54 Cisma

55 GecoSistema

56 Mountain-eering Srl

56 Territorium OnLine

58 Schlussfolgerungen: Das Projekt MONALISA und der NOI – Nature Of Innovation, Technologiepark Bozen

Andrea Vilardi

59 Veröffentlichungen

Einleitung

Andrea Vilardi, Marc Zebisch

Ziel des Projektes MONALISA (*Monitoring key environmental parameters in the alpine environment involving science, technology and application*) waren Test und Entwicklung von Methoden für ein Monitoring von ausgewählten Umweltparametern, die für Land- und Forstwirtschaft von Interesse sind (z.B. Vegetationszustand oder Bodenfeuchte). Das Monitoring umfasst dabei verschiedene Ebenen, von einem alpenweiten Monitoring mittels Satellitentechnik über ausgewählte Testgebiete bis hin zur zerstörungsfreien Analyse einzelner Äpfel im Labor. Das von 2013 bis 2017 laufende Projekt verfolgte neben den wissenschaftlichen Zielen zwei weitere Absichten: Erstens sollten die Zusammenarbeit zwischen den lokalen wissenschaftlichen Kompetenzzentren in einem für Südtirol bedeutsames Thema gefördert werden. Am Projekt gearbeitet haben die Südtiroler Forschungsinstitute Eurac Research, die Freie Universität Bozen, das Land- und Forstwirtschaftliches Versuchszentrum Laimburg und IDM. Unterstützt wurde das Projekt auch von der Universität Innsbruck. Durch diese Zusammenarbeit sollten bereits bestehende Kompetenzen innerhalb der einzelnen Einrichtungen ausgebaut, aber auch die Möglichkeit geboten werden, in der internationalen Wissenschaftsszene mitzuwirken.

Zweitens sollten die Aktivitäten des Projektes Kooperationsmöglichkeiten zwischen Forschung und Unternehmen ermöglichen. Für verschiedene lokale Unternehmen eröffnete der Austausch mit den Forschungseinrichtungen des Projektes neue Entwicklungsmöglichkeiten und potentielle innovative Produkte.

Der vorliegende Bericht enthält eine Beschreibung der wichtigsten Projektergebnisse, welche in folgende Forschungsbereiche geteilt wurden: „Wasser und Kohlenstoff“, „Vegetation und Boden“, „operative Überwachung“, „Fruchtqualität“ und „Datenbank“. Die Kommentare der Anwender der Ergebnisse sowie die „Meinung der Unternehmen“ sind ebenso Bestandteil des Projektes und geben eine Übersicht der durchgeführten Arbeit und deren Mehrwert für das Land.

Nähere Informationen unter: www.monalisa-project.eu
Die Autoren bedanken sich bei der Autonomen Provinz Bozen für die finanzielle Unterstützung des Projektes. Ein weiterer Dank geht an die einzelnen potentiellen Anwender sowie an die beteiligten Landesämter, welche an den Veranstaltungen zur Verbreitung der Projektergebnisse und zur Ausarbeitung der entsprechenden Anwendungsmöglichkeiten mitgewirkt haben.

Die Arbeitsgruppe des Projektes MONALISA

Das Projekt MONALISA wird finanziert von:

AUTONOME
PROVINZ
BOZEN
SÜDTIROL



PROVINCIA
AUTONOMA
DI BOLZANO
ALTO ADIGE

ZUSAMMENFASSUNG

Das Konzept – Umweltbeobachtung vom Satellit zum Apfel

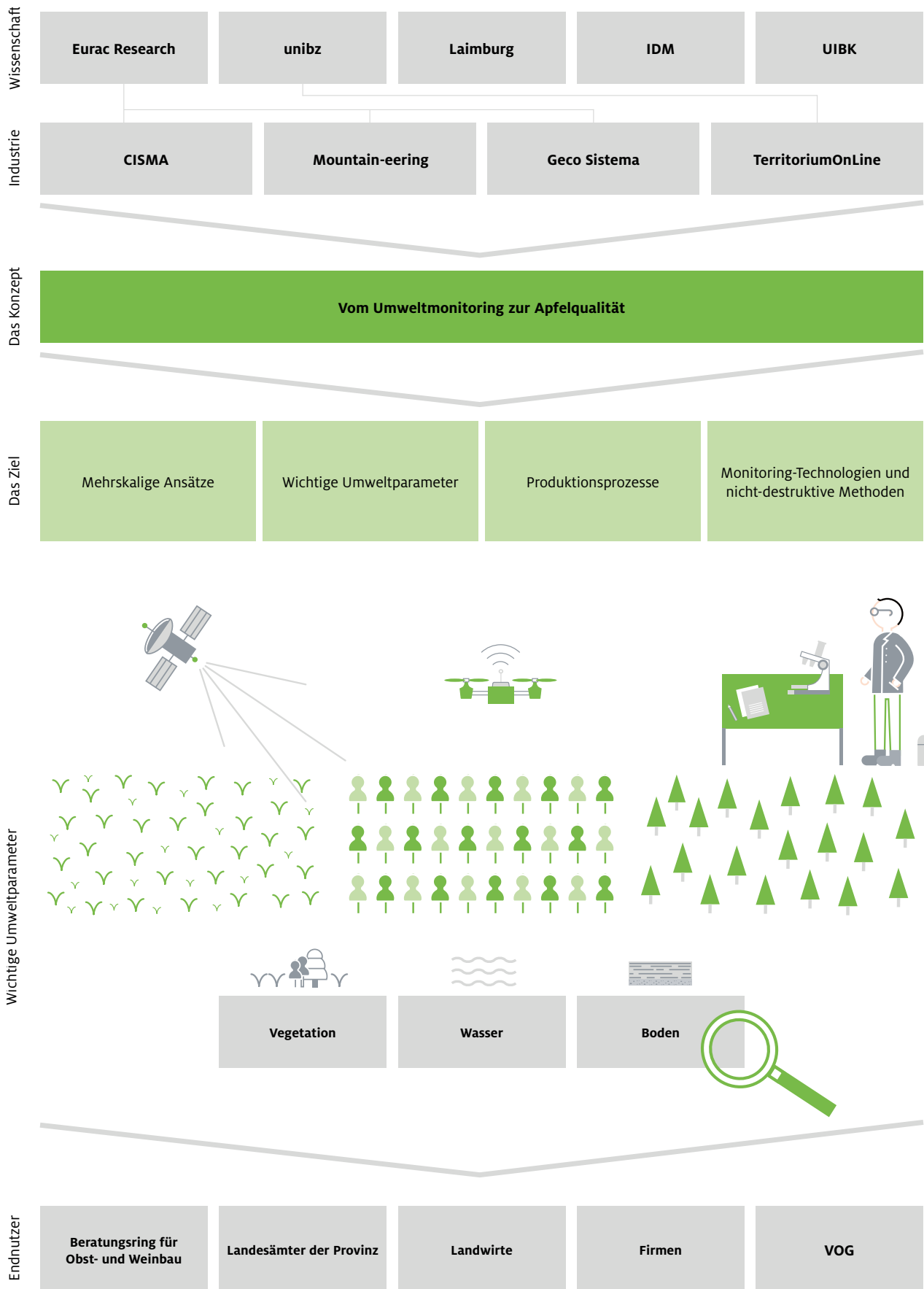
Das Wirtschaften des Menschen in einer Bergregion wie Südtirol hängt stark von den Umweltbedingungen und deren Dynamik ab. Vor allem Land- und Forstwirtschaft werden geprägt von Wetter- und Klimabedingungen sowie den Eigenschaften der Böden. Entsprechend hängt auch die Qualität der land- und forstwirtschaftlichen Produkte von diesen Bedingungen ab. Ein umfassendes Umweltmonitoring von der großen Fläche bis hin zu den einzelnen Produkten trägt daher zum effizienten Planen und Managen in Land- und Forstwirtschaft bei. In den letzten Jahren hat sich die Technologie der Umweltbeobachtung enorm weiterentwickelt. Ziel des Projektes MONALISA war es, dieses Potential für Südtirol skalenübergreifend zu nutzen. Im Ergebnis liegen nun umfassende Methoden und Daten für die Umweltbeobachtung in Südtirol vor.

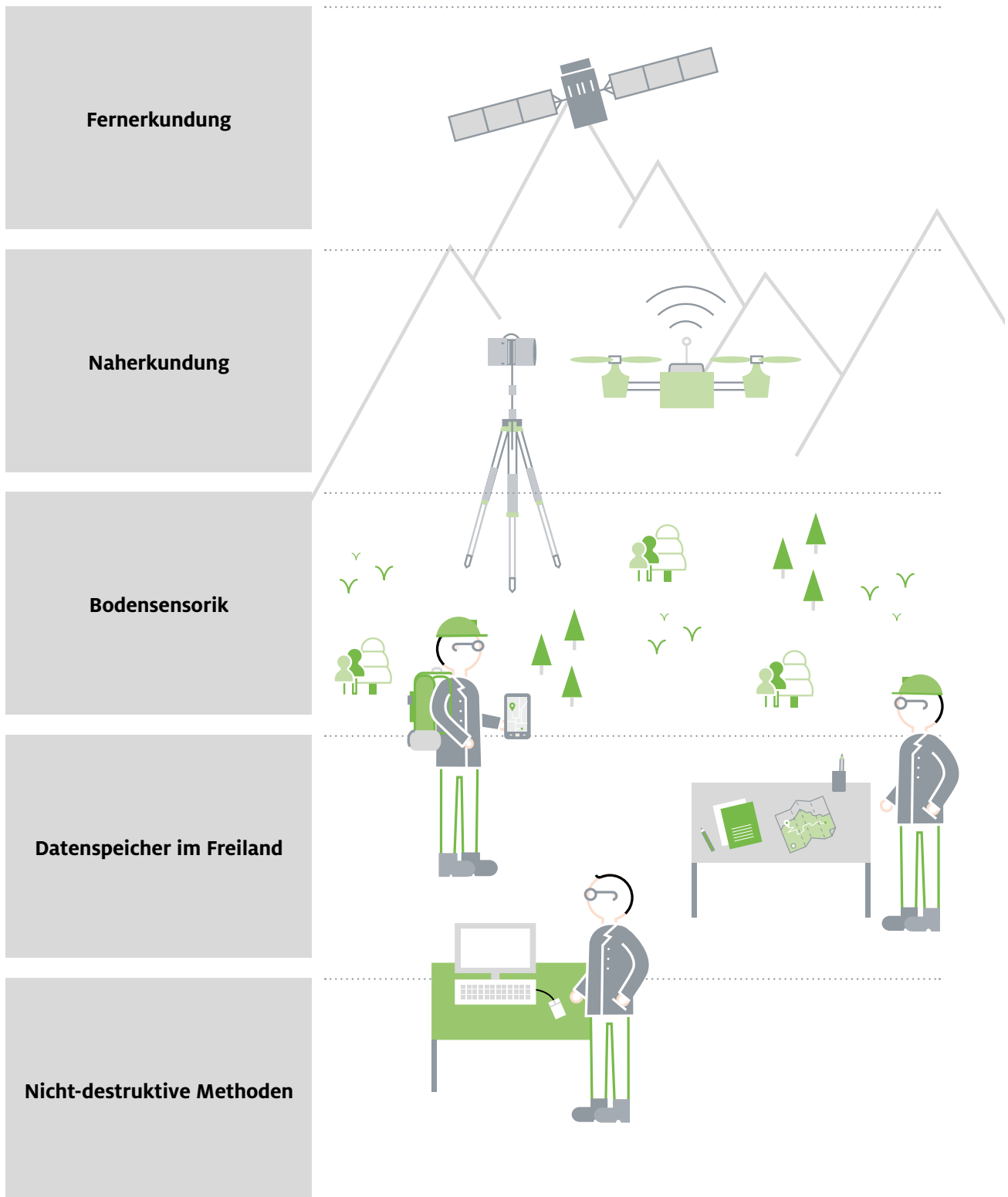
- Daten aus Erdbeobachtungssatelliten liefern nun regelmäßig flächendeckende Information über den Zustand der gesamten Landesfläche z.B. zu Schneebedeckung, Vegetationszustand und Bodenfeuchte.
- Drohnen ermöglichen kleinräumige Kartierung von land- und forstwirtschaftlichen Flächen z.B. zu Baumhöhen, Vegetationszustand oder Verdunstung.
- Ein ganzes Netzwerk von Sensoren mit 27 Stationen gestattet die permanente Beobachtung von Bodenfeuchte und Vegetationszustand auf der lokalen Ebene.
- Sensoren in land- und forstwirtschaftlichen Maschinen ermöglichen ein Monitoring von Betriebsabläufen.
- Nach der Ernte kann die Qualität der Ernteprodukte und deren Entwicklung während der Lagerung mit modernsten nicht-zerstörenden Verfahren untersucht werden.

Alle in MONALISA erhobenen Daten fließen in eine frei zugängliche gemeinsame Umweltdatenbank ein, die zum Beispiel Auswertungen über den Zusammenhang zwischen der Qualität von Äpfeln und den Umweltbedingungen, unter denen sie erzeugt wurden, ermöglicht.

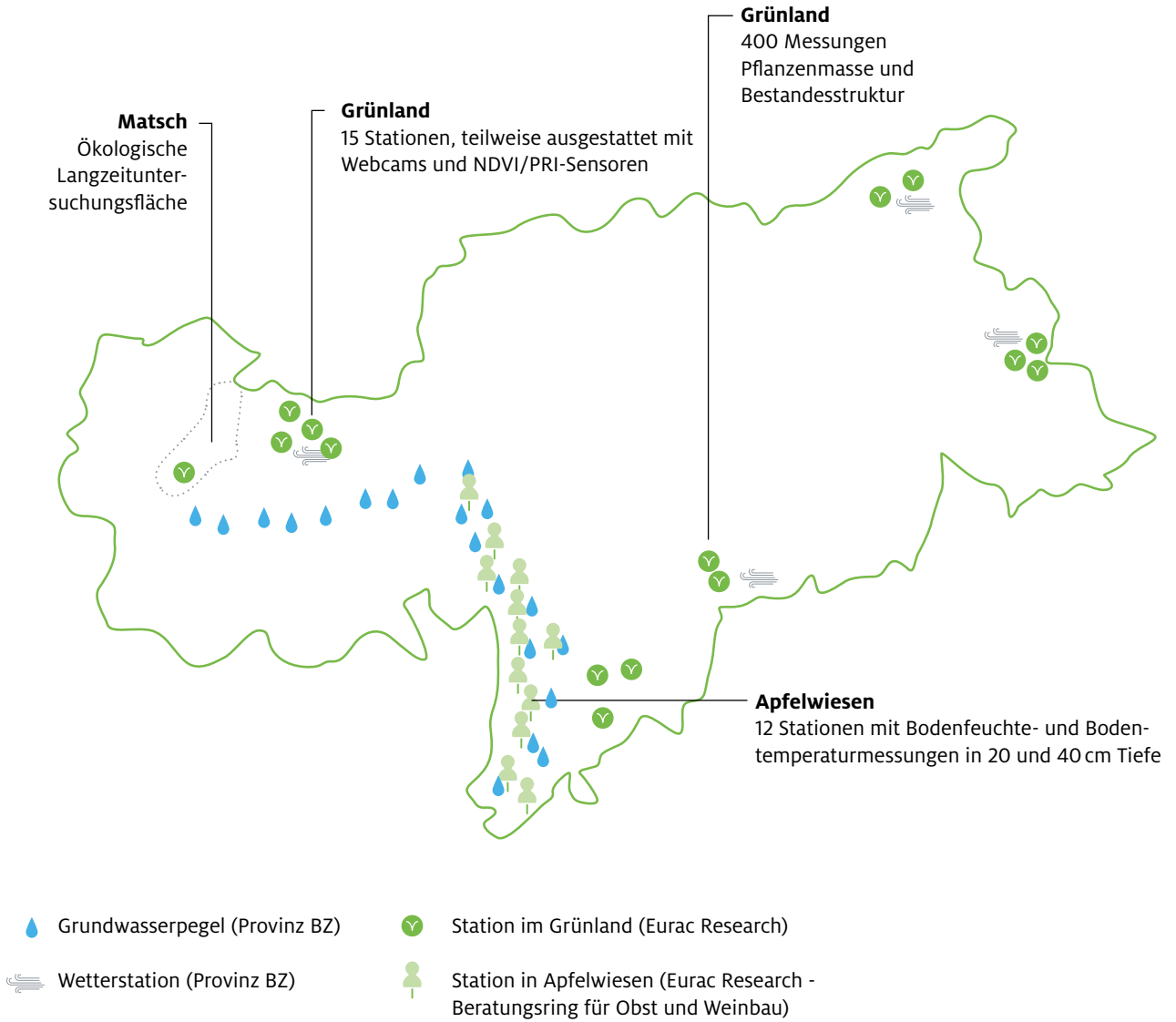
Die in MONALISA erhobenen Daten und entwickelten Methoden stellen ein enormes Innovationspotential dar. Schon während der Projektlaufzeit wurde eng mit Nutzern wie dem Beratungsring, Landwirten und Genossenschaften zusammengearbeitet. Viele der eingesetzten Technologien wurden gemeinsam mit Südtiroler Firmen entwickelt. Diese Aktivitäten leben auch über die Laufzeit des Projekts hinaus weiter, zum Beispiel im Technologiepark NOI, wo die MONALISA Forschungspartner gemeinsam mit Firmen an der Weiterentwicklung der Verfahren arbeiten oder in Doktorarbeiten, die

auf den in MONALISA erhobenen Daten aufbauen. Aus dem Projekt gingen zahlreiche wissenschaftliche Publikationen und Konferenzbeiträge hervor. Eine vollständige Liste der Publikationen findet sich im Anhang dieses Berichtes.





Vollständiger Daten-Kreislauf: Qualitätskontrolle, Verarbeitung, Verbreitung usw.



Forschungs- bereiche

WASSER UND KOHLENSTOFF

In diesem Kapitel: Wasser ist Leben. Der Wasserkreislauf versorgt uns und unsere Umwelt stetig mit Wasser in einer Aufeinanderfolge von Niederschlag, Abfluss und Verdunstung. Den Alpen kommt dabei eine besondere Rolle zu. Niederschlag sammelt sich an den Alpen und speist die großen Flüsse, die die Niederungen mit Wasser versorgen. Winterniederschlag wird in Form von Schnee gespeichert und im Frühjahr, wenn die Vegetation am meisten Wasser benötigt, wieder freigesetzt. Im Projekt MONALISA haben wir einige dieser Komponenten untersucht. Für die Quantifizierung von Niederschlag und Bodenfeuchte wurde ein umfangreiches Netzwerk von Messstationen errichtet. Die Dauer der Schneebedeckung, die Bodenfeuchte sowie die Verdunstung wurden mit Hilfe von Satellitendaten analysiert und mit den Daten der Messstationen und Modellen verglichen. Mit Hilfe eines ferngesteuerten UAVs konnten flächenhafte Daten in höchster Auflösung gewonnen werden. Zusätzlich wurde auch der mit dem Wasserkreislauf verbundene Kohlenstoffkreislauf untersucht, also die Aufnahme von Kohlendioxid, die Umwandlung in Biomasse und die Freisetzung von Kohlenstoff bei der Zersetzung der Pflanzen. Im Ergebnis liegen jetzt Methoden und Daten vor, mit denen die Dynamik des Wasser- und Kohlenstoffkreislaufes in Südtirol flächendeckend wiedergegeben und analysiert werden kann.

In-situ network

Georg Niedrist, Eurac Research

Als grundlegender Schritt wurde zunächst ein flächendeckendes Sensoren-Netzwerk in zwei der wichtigsten landwirtschaftlichen Nutzformen (Grünland und Apfelanbau) geplant und umgesetzt. Dieses Netzwerk verfolgt zwei übergeordnete Ziele:

- Die zeitnahe, flächendeckende Überwachung (Monitoring) wichtiger landwirtschaftlicher Parameter, wie beispielsweise Bodenwassergehalt, Bodensaugspannung, Bodentemperatur und Ertrag (Grünland).
- Bereitstellung von kontrollierten Daten, mit deren Hilfe die Qualität neuer Technologien wie etwa neuen Fernerkundungsprodukten oder Drohnen-Daten überprüft werden kann.

Um Kosten und Aufwand zu sparen, wurde versucht, die bereits in Südtirol vorhandene Messinfrastruktur bestmöglich auszunutzen. Im Wesentlichen betrifft dies das Stationsnetzwerk des Hydrographischen Amtes der Provinz Bozen (v.a. Grünland) und ein Stationsnetz, das vom Landesverband der Bonifizierungskonsortien, dem Südtiroler Beratungsring für Obst- und Weinbau und dem Südtiroler Apfelkonsortium betrieben wird (Obstbau). Vor allem bei letzterem war es teilweise möglich, die neuen Sensoren direkt an die vorhandenen Stationen anzuschließen. Vier autonome Stationen wurden errichtet, um Gegenden auszufüllen, die noch nicht vom bestehenden Netzwerk abgedeckt wurden (siehe Karte, Seite 9). Beim Stationsnetzwerk des Hydrographischen Amtes war ein direkter Anschluss aus technischen Gründen nicht möglich, daher wurden ebenfalls neue Stationen errichtet. Diese wurden jeweils im näheren Umfeld der bestehenden Provinz-Stationen aufgestellt, sodass standard-klimatische Parameter wie Lufttemperatur, Niederschlag oder Wind von diesen bezogen und eine Verdopplung der Sensoren vermieden werden konnte. Die Standorte der 15 Stationen des Grünland-Netzwerks wurden außerdem so ausgewählt, dass folgende Kriterien abgedeckt werden konnten:

- wichtigste Bewirtschaftungsformen (gedüngte Mähwiese, ungedüngte Weiden)
- vorherrschende Expositionen (flach und südexponiert) und Höhenlagen (1500 m und 2000 m)
- klimatisch repräsentative Gebiete in Südtirol: Vinschgau, östlicher Alpenhauptkamm und Dolomiten

Bis zum Mai 2015 wurden insgesamt 15 neue Stationen im Grünland und vier Stationen im Obstbau neu errichtet, sowie zehn Stationen im Apfelanbau mit Bodenfeuchte-Sensoren ausgestattet. (Für weitere Untersuchungen wurden außerdem das Grundwasserpegel-Netzwerk des Hydrographischen Amtes sowie einige Stationen des ITER-Gebietes Matsch (www.iter.eurac.edu) mit einbezogen.) Durch zusätzliche Mittel (Umweltgelder der Wasserkraftwerke in Laas und Laag) konnte das Bodenfeuchte-Netzwerk im Obstbau außerdem auf weitere sechs Stationen ausgeweitet werden.

Neben verschiedenen Parametern (siehe Tabelle 1, Seite 12) zieht sich die Bodenfeuchtemessung als roter Faden durch das Netzwerk. Sämtliche Stationen sind über Fernzugriff auslesbar; die Daten, die im 15-Minuten-Rhythmus erhoben werden, werden in der Datenbank von Eurac Research gespeichert. Nachdem bislang noch kein derartiges Netzwerk auf Landesebene existiert, und neben der Landwirtschaft auch weitere Sektoren wie der Hochwasserschutz von einem solchen Netzwerk profitieren können, soll versucht werden, die Mess-Infrastruktur mit zusätzlichen Mitteln über die Projektdauer von MONALISA hinaus zu erhalten und zu nutzen.



Standort	Dolomiten	Dolomiten	Dolomiten	Dolomiten	Dolomiten	Vinschgau	Vinschgau	Vinschgau	Vinschgau	Vinschgau	Nord-Ost	Nord-Ost	Nord-Ost	Nord-Ost	Nord-Ost
Exposition	flach	Süd	flach	Süd	Süd	flach	Süd	flach	Süd	Süd	flach	Süd	flach	Süd	Süd
Meereshöhe [m]	1500	1500	2000	2000	2000	1500	1500	2000	2000	2000	1500	1500	2000	2000	2000
Landnutzung	Mähw.	Mähw.	Mähw.	Mähw.	Weide	Mähw.	Mähw.	Mähw.	Mähw.	Weide	Mähw.	Mähw.	Mähw.	Mähw.	Weide
Sensortyp															
Bodenfeuchte/ Temperatur 2 cm	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Bodenfeuchte/ Temperatur 5 cm	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Bodenfeuchte/ Temperatur 20 cm	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Photosynthetisch aktive Strahlung	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Photosynthetisch akt. Strahlung (im Bestand)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
NDVI ein/ausfallend	X		X			X		X			X		X		
PRI ein/ausfallend	X		X			X		X			X		X		
Phenocam	X		X			X		X			X		X		

Sito	St. Pauls	Kaltern	Eppan Berg	Pfatten	Nals	Lana	Gries	Tramin	Terlan	Leifers	Neumarkt	Unterrain 2	Girland	Algund
Autonome Station	X	X	X	X										
Bestehendes Netzwerk					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Sensortyp														
Bodenfeuchte/ Temperatur 20 cm	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Bodenfeuchte/ Temperatur 40 cm	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Bodenfeuchte/ Temperatur 60 cm	X	X	X	X										
Bodenmatrixpotential 20 cm	X	X	X	X										
Bodenmatrixpotential 40 cm	X	X	X	X										
Bodenmatrixpotential 60 cm	X	X	X	X										

Tabelle 1: Übersicht über Standort und Ausstattung der MONALISA-Messstationen

Kontinuierliche Überwachung der Schneebedeckung anhand von MODIS-Satellitendaten

Claudia Notarnicola, Eurac Research

In den vergangenen Jahren wechselten sich im Alpenraum schneereiche und schneearme Winter ab. Auf Grund der unterschiedlichen Schmelzwassermenge ergeben sich in Folge wasserreichere und wasserärmere Frühjahrs- und Sommermonate. Einige dieser Beobachtungen können durch die jahreszeitliche und zwischenjährliche Entwicklung der Schneebedeckung anhand von Satellitendaten verfolgt werden. Hierbei kann der NASA-Sensor MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer) dank seiner hohen Bildwiederholrate im Zusammenhang mit der Entwicklung der Schneedecke auf globaler und regionaler Ebene eingesetzt werden.

Für regionale und/oder lokale Analysen sind jedoch die MODIS-Standardprodukte „MOD10“ nicht immer zufriedenstellend. In zahlreichen Publikationen wurde die Notwendigkeit von Untersuchungen hervorgehoben, welche die lokalen Aspekte der Testgebiete beachten. Eine der Beschränkungen des Produkts MOD10 auf lokaler Ebene ist zum Beispiel die Raumaufösung von 500 m.

Eurac Research hat im Rahmen vorangehender Projekte den neuen Algorithmus „Eurac Research Snow“ für die Schneebedeckung mit der derzeit größten, bei Satelliten mit täglicher Bildwiederholrate möglichen Bildauflösung von 250 m entwickelt. Für die Validierung der Schneekarten wurden Aufnahmen des Satelliten LANDSAT sowie vor Ort erhobene Daten aus Schneestationen benutzt. Das Projekt MONALISA sah die Erstellung von Zeitreihen von Schneekarten im Alpenraum sowie die Analyse der entsprechenden Veränderungen im Laufe der Jahre.

Anwendungen: Ausgehend von Zeitreihen von Schneekarten im Zeitraum 2002 - 2015 wurden spezifische Produkte für die Untersuchung der jährlichen Veränderungen der Schneebedeckung ermittelt. Daraus wurden folgende Produkte entwickelt:

- zeitliche Entwicklung der Schneebedeckung und der Schneehöhe, welche die Veränderungen der Schneebedeckung mit monatlichen Durchschnittsdaten im Laufe der Jahre aufzeigen.
- Karten über die Dauer der Schneebedeckung: Darin wird die Anzahl der Tage der Schneebedeckung je Pixel berechnet. Die Anwesenheit von Wolken wird anhand der vorangehenden und darauffolgenden Tage abgeleitet. Die Daten betreffen ein Abflussjahr, das jeweils vom 1. Oktober jeden Jahres bis 30. September des Folgejahres geht.

Abbildung 1 zeigt die zeitliche Entwicklung der monatlichen Schneebedeckung (Snow Cover Area, SCA) sowie die Schneegrenze (Snow Line Altitude, SLA) im Zeitraum Januar 2002 – September 2015. Neben der monatlichen

Entwicklung wurde auch der jahreszeitliche Durchschnitt von November bis April sowie von Mai bis Oktober berechnet, um die zwischenjährlichen Veränderungen besser zu veranschaulichen.

Diese Grafiken zeigen die zwischenjährlichen Veränderungen der Schneebedeckung und der Schneegrenze. Nehmen wir die Winter 2006-2007 und 2009-2010 als Beispiel: Im ersteren Fall betrug die durchschnittliche Schneebedeckung aufgrund geringen Schneefalls 50% und die Schneegrenze blieb bei 1500 m. Der Winter 2009-2010 zeichnete sich hingegen durch starken Schneefall aus: Die Schneebedeckung betrug durchschnittlich 80% des Alpenraumes, während die durchschnittliche Schneegrenze auf 500 m mit Schneefall bis in tiefe Lagen sank.

Aus den Karten über die Dauer der Schneebedeckung lassen sich auch weitere Informationen über Abweichungen und Veränderungen zwischen zwei oder mehreren Jahren ableiten. Ein Beispiel dafür liefert Abbildung 2, in der die Jahre 2012-2013 und 2013-2014 verglichen werden. 2013-2014 gab es an der Nordseite der Alpen (Süddeutschland und Österreich) an wenigen Tagen Schneefall, wie die Veränderungen im Vergleich zum Jahr 2012-2013 zeigen. Die Anzahl an Tagen mit Schneebedeckung sinkt in diesem Raum auf etwa 40.

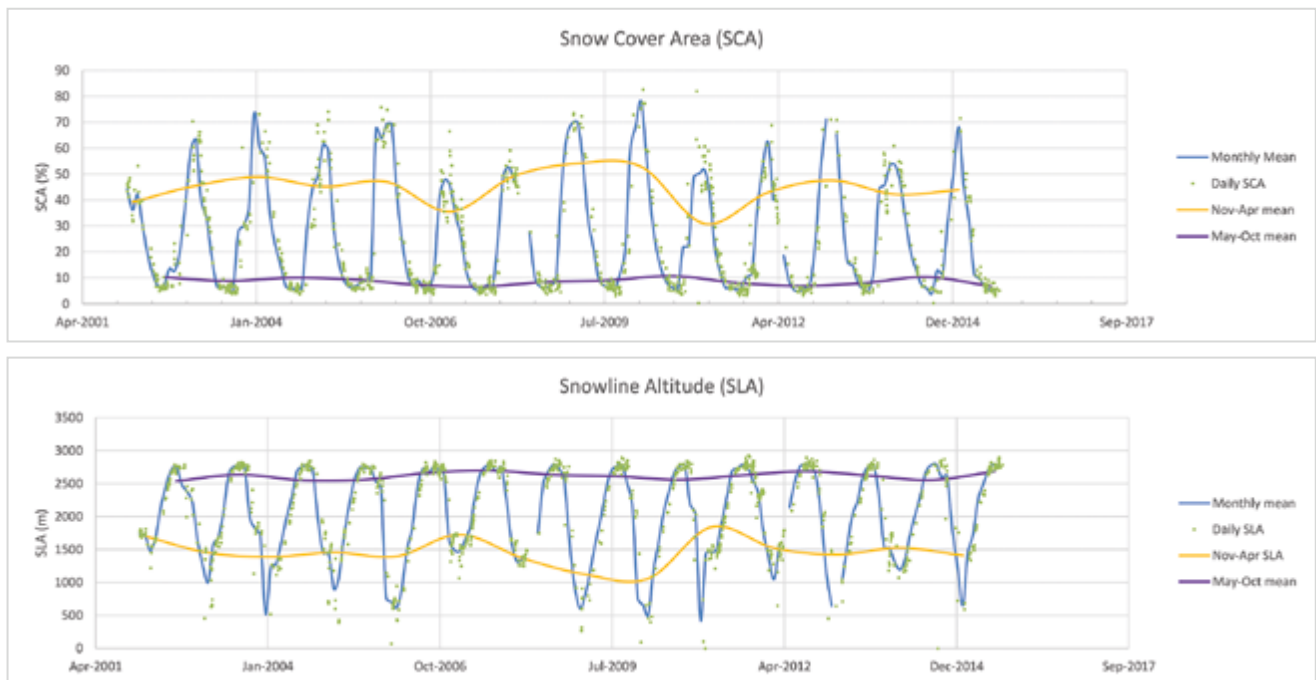


Abbildung 1: Entwicklung der monatlichen Durchschnittsdaten der Schneebedeckung (oben) und der Schneehöhe (unten) im Zeitraum Januar 2002 - September 2015. Die monatlichen Durchschnittsdaten von November bis April (gelbe Linie) und von Mai bis Oktober (violette Linie) werden ebenfalls angegeben.

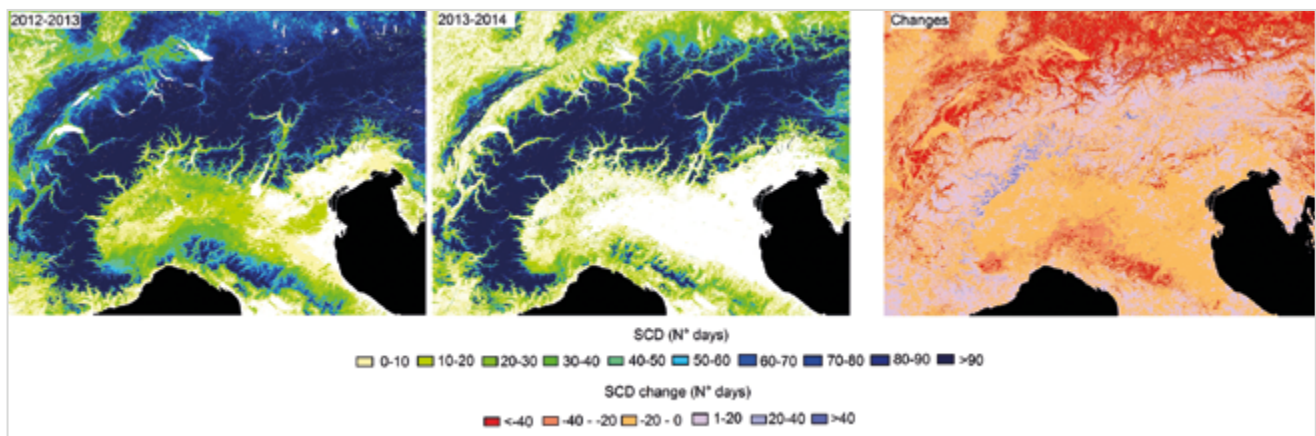


Abbildung 2: Karten zur Dauer der Schneebedeckung in den Jahren 2012 - 2013 und 2013 - 2014 mit Veranschaulichung der Veränderungen zwischen diesen beiden Jahren.

Die Instrumente können mit vor Ort erhobenen Daten verglichen werden, um die Veränderungen der Schneebedeckung in Echtzeit (tägliche Produkte) sowie die jahreszeitliche Entwicklung anhand der Informationen über die Dauer der Schneebedeckung, deren Anfang und Ende festzustellen.

Zahl der Drohnen steigt Auch in Südtirol.

Man nennt sie Drohnen oder Unmanned Aerial Vehicles (UAV). Viele sind überzeugt, dass diese Modellflieger künftig immer häufiger zum Einsatz kommen werden, und dass diese neue Technologie voraussichtlich auch neue Arbeitsplätze mit spezifischem Kompetenzprofil schaffen sowie innovative Lösungsansätze für Problemstellungen liefern wird, die heute noch ungelöst sind.

Im Rahmen des Projektes MONALISA wurde für das Forschungsvorhaben eine Drohne von Eurac Research eingesetzt, um die in diesem Bericht beschriebenen wissenschaftlichen Ziele umzusetzen. Dadurch konnten wir in diesem Bereich wertvolle Erfahrungen sammeln. Der Einsatz von Drohnen ist komplex und mit bestimmten Risiken verbunden; bei jedem Einsatz ist höchste Aufmerksamkeit geboten, um das Risiko, Menschen oder Gegenstände zu gefährden, möglichst gering zu halten und dabei die einschlägigen Rechtsvorschriften einzuhalten.

Eurac Research ist in die Liste der italienischen Luftfahrtbehörde ENAC (Ente Nazionale Aviazione Civile) der autorisierten Drohnenpiloten für nichtkritische Einsätze aufgenommen worden. Dadurch können wir einerseits unsere Daten unter Einhaltung der geltenden Vorschriften sammeln, andererseits gehören wir auch zum engen Südtiroler Kreis der Drohnen-Betreiber. In ganz Südtirol gibt es derzeit 42 Betreiber, welche in verschiedenen Bereichen wie etwa Präzisionslandwirtschaft, Zivilschutz, Video- und Fotoaufnahmen etc., tätig sind.

IDM Südtirol hat eine Arbeitsgruppe mit dem Namen „neue Luftfahrt“ ins Leben gerufen, welcher Fachleute – darunter vor allem Unternehmen – und Forschungseinrichtungen aus diesem Bereich angehören. Eurac Research und die Freie Universität Bozen gehören dieser Arbeitsgruppe ebenfalls an. Auch in diesem neuen Bereich wird die Zusammenarbeit zwischen innovativen Unternehmen und Forschungseinrichtungen zur Entwicklung neuer Lösungskonzepte führen, damit diese bahnbrechende Technologie zukunftsfester und immer stärker unser Leben prägen wird.

Daten von Meteosat SEVIRI, MODIS, Landsat) anhand verschiedener Algorithmen verwendet. Dennoch reicht die Auflösung der verfügbaren Satellitendaten nicht aus, um Informationen über den Wasserbedarf für einzelnen landwirtschaftliche Flächen zu liefern. Die thermischen und multispektralen Daten aus UAV-Plattformen verfügen über die notwendige räumliche Auflösung, um die Kartierung der ET anhand Satellitendaten zu ergänzen. Für die räumlich begrenzte Schätzung der ET aus UAV-Daten eignen sich von den verfügbaren Modellen jene, welche sich auf den Energiehaushalt der Erdoberfläche stützen. In diesen Modellen wird der latente Wärmestrom als Residuum der Energiebilanzgleichung ermittelt. In diesem Projekt wurden Wärme- und hyperspektrale Bilder verwendet, um die ET anhand von Energiebilanzmodellen mit zwei Quellen zu simulieren. Die einzelnen Bilder wurden vorprozessiert und zu einem Mosaik zusammengefügt. Daraufhin wurde das TSEB-Modell für die 2015 im Matschertal gesammelten Wärmedaten angewendet, wo sich zwei Eddy-Kovarianz-Stationen (EC) befinden. Diese messen die turbulenten Strömungen, welche für die Validierung des Modells nützlich sind. Abb. 3 zeigt das Mosaik der Wärmebilder, welche mittels einer Drohne des Instituts für Angewandte Fernerkundung (heute Institut für Erdbeobachtung) von Eurac Research aufgenommen wurden. Anhand dieser Temperaturkarte wurden Simulationen mit dem TSEB-Modell durchgeführt. Dabei wurden auch die lokalen meteorologischen Daten sowie die am Boden erhobenen Daten zu LAI, NDVI und die Vegetationshöhe mitberücksichtigt. Abb. 4 zeigt die simulierten LE- und H-Karten sowie den Einflussbereich des EC-Turms (90, 75 und 50% der Fläche). Die Drohne hat 80,6% der Fläche überflogen. Die Energieflüsse wurden hinsichtlich ihres Einflusses im Untersuchungsgebiet der EC-Station mathematisch analysiert und in Bezug auf die Gesamtfläche normalisiert, um die erhobenen Daten mit den modellierten zu vergleichen, nachdem die EC-Daten durch Schließung der Energiebilanz korrigiert wurden, indem das Residuum LE zugeschrieben wurde (Residuum-Methode). Die Differenz zwischen gemessenen und modellierten Daten betrug 55 Wm^{-2} bei LE und 43 Wm^{-2} bei H.

Modellierung der Evapotranspiration anhand von UAV-Daten

Mariapina Castelli, Eurac Research

Energiebilanzmodell (TSEB, two-source energy balance modelling)

Als eines der Schlüsselemente im Wasser-, Energie- und Kohlenstoffkreislauf liefert die Evapotranspiration (ET) wichtige Informationen über weltweite Wasserverfügbarkeit und -verbrauch. In den letzten Jahren wurden Satellitendaten mit niedriger, mittlerer und hoher Auflösung für die Kartierung der ET (z. B. in Europa die

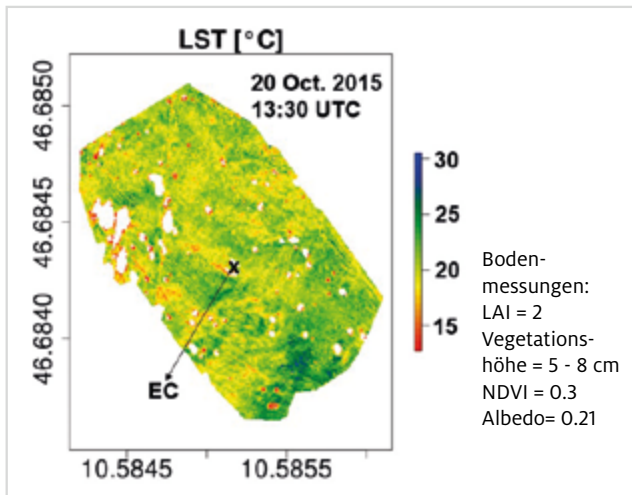


Abbildung 3: Mosaik der radiometrischen Temperatur. Die Wärmebilder wurden drohnengestützt im EC-Untersuchungsbereich auf einer Alm im Matschertal gesammelt. Die Tabelle veranschaulicht die gemessenen Merkmale der Vegetation, welche bei den Simulationen verwendet wurden.

Modellierung und Fernerkundung des Bodenfeuchtegehalts

Giacomo Bertoldi, Felix Greifeneder, Eurac Research

Einleitung

Der Bodenfeuchtegehalt (BFG) ist einer der Schlüsselparameter der globalen Wasser-, Energie- und Kohlenstoffkreisläufe. Viele hydrologische Prozesse, wie zum Beispiel Oberflächenabfluss oder Dürre, lassen sich durch ihn indirekt messen. Das Wissen über die räumliche

und zeitliche Verteilung des BFG ist daher essentiell für eine Reihe von Anwendungen im Bereich der Hydrologie und der Landwirtschaft, sowie für wissenschaftliche Fragestellungen der Ökologie, der Meteorologie oder der Klimatologie.

Hydrologische Modellierung des Bodenfeuchtegehalts

Mit Hilfe des hydrologischen Modells GEOTop 2.0 ist es möglich den Oberflächen-BFG zu simulieren. Mit GEOTop ist, neben dem BFG, die Darstellung verschiedener Parameter mit Bezug zu Wasserhaushalt, Evapotranspiration oder Vegetation möglich. Das Besondere an diesem Modell ist, dass es speziell für den Einsatz in Gebirgsregionen entwickelt wurde. Dies erfordert zum Beispiel die Berücksichtigung des Einflusses der Topographie auf Strahlung und Oberflächenströmung, oder des Effektes der Schneeschmelze. Die aktuelle Version des Open-Source Quelltextes kann unter <http://geotopmodel.github.io/geotop> geladen werden.

In diesem Projekt wurde GEOTop 2.0 verwendet um BFG, Evapotranspiration und den gesamten Wasserhaushalt für zehn verschiedene MONALISA Stationen zu simulieren. Bei der Auswahl dieser Stationen wurde darauf geachtet, dass diese möglichst repräsentativ für die verschiedenen klimatischen Regionen Südtirols und besonders auch für das Testgebiet in Mountatsching (Mals, Bozen) sind. Alle Ergebnisse können unter <https://github.com/EURAC-Ecohydro/MonaLisa> geladen werden. Im Rahmen von MONALISA konnte die Korrektheit der räumlichen und zeitlichen Modellierung des BFG in einem internationalen Vergleichsprojekt bewiesen werden. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen wurde die automatische Kalibrierungs-Software geotopOptim2 (<https://github.com/EURAC-Ecohydro/geotopOptim2>) entwickelt.

Fernerkundung DES Bodenfeuchtegehalts

Die fernerkundungsbasierte Messung, also die Messung mit Hilfe von Satellitentechnik, beruht auf den Daten des

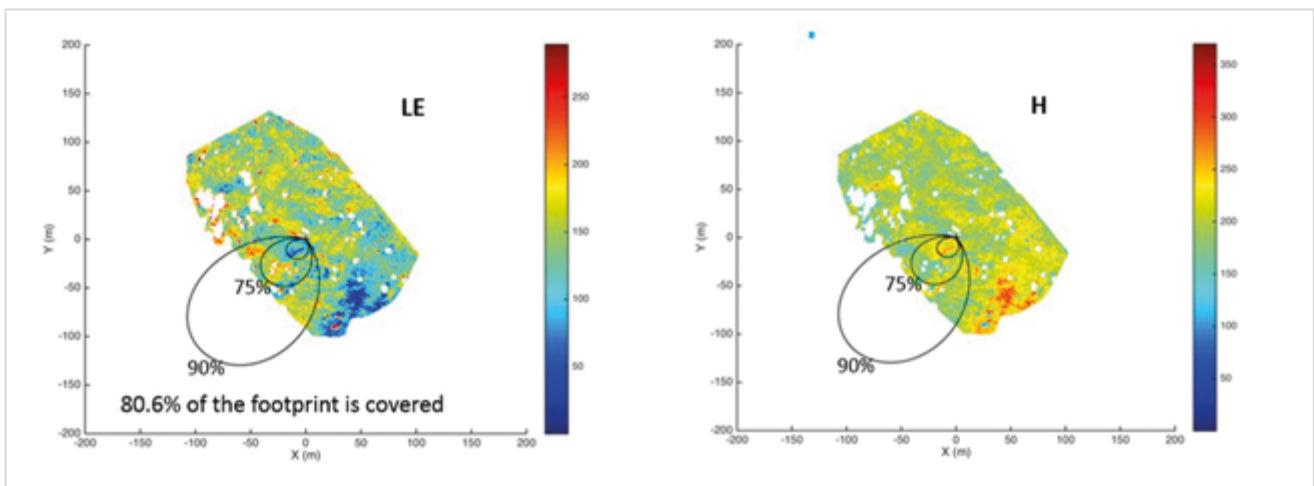


Abbildung 4: LE-Karten (Wm⁻²) und H-Karten (Wm⁻²), welche anhand des TSEB-Modells im EC-Untersuchungsbereich auf der Alm ermittelt wurden.

Radarsatelliten Sentinel-1 der Europäischen Raumfahrtbehörde ESA sowie auf dem Einsatz eines datenbasierten maschinellen Lernverfahrens namens „Support-Vector-Regression“. Diese Methode ermöglicht die Beschreibung komplexer Zusammenhänge in einem empirischen Modell. So wird in diesem Fall ein Trainingsdatensatz, bestehend aus Satellitenmessungen und BFG Referenzwerten (aus Stationsmessungen), verwendet, um der Software das Erlernen dieses Zusammenhangs zu ermöglichen. Nach dieser „Lernphase“ ist es möglich von den Satellitenmessungen direkt auf den BFG zu schließen.

Resultate

Analyse der Bodenfeuchte-Zeitserien

Die Resultate in Abbildung 5 zeigen, dass sowohl die Modell-Simulationen als auch die Satellitenmessungen, mit Fehlern von $0.07 \text{ m}^3/\text{m}^3$ beziehungsweise $0.05 \text{ m}^3/\text{m}^3$, sehr nahe an den Bodenmessungen liegen. Nach korrigierter Kalibrierung ist es mit GEOtop 2.0 auch möglich, den Einfluss verschiedener landwirtschaftlicher Praktiken (z.B. der Bewässerung) zu simulieren. Ein Beispiel dafür ist in Abbildung 6 zu sehen: hier wurde der Einfluss von einer 50 prozentigen Reduktion der Bewässerung auf den BFG in einer der Apfelplantagen im unteren Vinchgau getestet.

Die räumliche Kartierung des Bodenfeuchtegehalts

Wie in den Abbildungen 5 und 6 zu sehen ist, ist die modellbasierte Simulation von BFG wesentlich besser für die lückenlose zeitliche Darstellung geeignet als Satellitenmessungen. Der Vorteil von Fernerkundungsmethoden ist die Möglichkeit der kontinuierlichen räumlichen Kartierung. Abbildung 7 zeigt eine Karte des mittleren BFG für Südtirol im Juni 2016. Darin lässt sich der starke Zusammenhang zwischen BFG und Topographie und Landnutzung klar erkennen. Die meist bewässerten Wiesen in den unteren Tallagen sind üblicherweise feuchter als die weiter oben liegenden Weide- und Almflächen. Die weißen Flecken auf der Karte repräsentieren Bereiche an denen keine Messung möglich ist. Es gibt dafür hauptsächlich zwei Gründe: 1) Wald – bei dichter Bedeckung des Bodens mit Vegetation kann der Boden vollständig verdeckt sein; dies macht eine Messung des BFG unmöglich. 2) Topographie – bei dem Sensor an Bord von Sentinel-1 handelt es sich um einen sogenannten „Synthetic Aperture Radar“ Sensor. Eine Besonderheit von Systemen dieser Art ist, dass sie zur Seite blicken anstatt senkrecht nach unten. Dadurch kann es im Gebirge zu Abschattungen oder starken Verzerrungen kommen, was wiederum die Messung des BFG unmöglich macht.

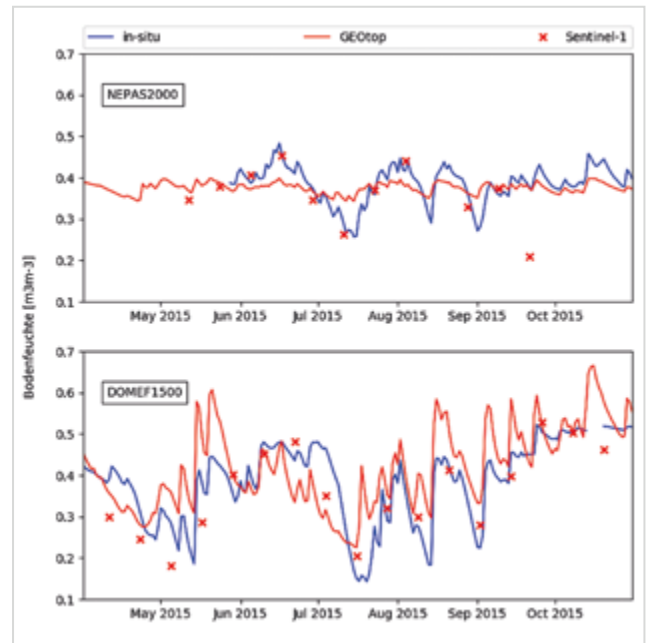


Abbildung 5: Zeitserie des am Boden gemessenen (blaue Linie), des modellierten (rote Linie) und des vom Satelliten gemessenen (rote Kreuze) BFG für zwei verschiedene Stationen (oben: NEPAS2000, Gsies (BZ), unten: DOMEF1500, Deutschnofen (BZ)).

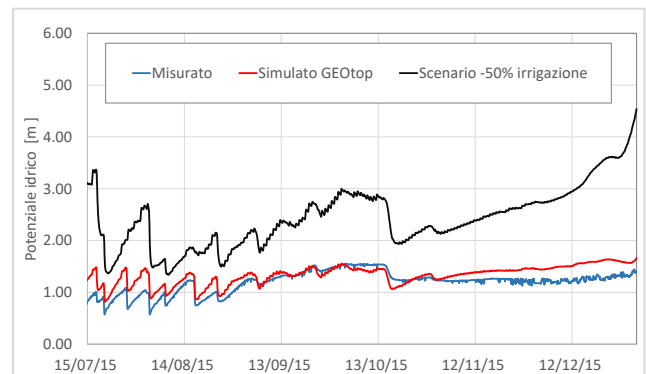
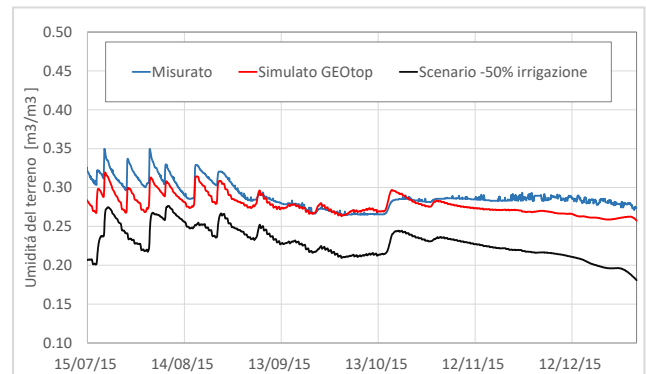


Abbildung 6: Zeitserie des am Boden gemessenen (blau) und des modellierten (rot) BFG (oben) und Wasserpotential (unten), inklusive der Simulation des Einflusses von 50% weniger Bewässerung (schwarz).

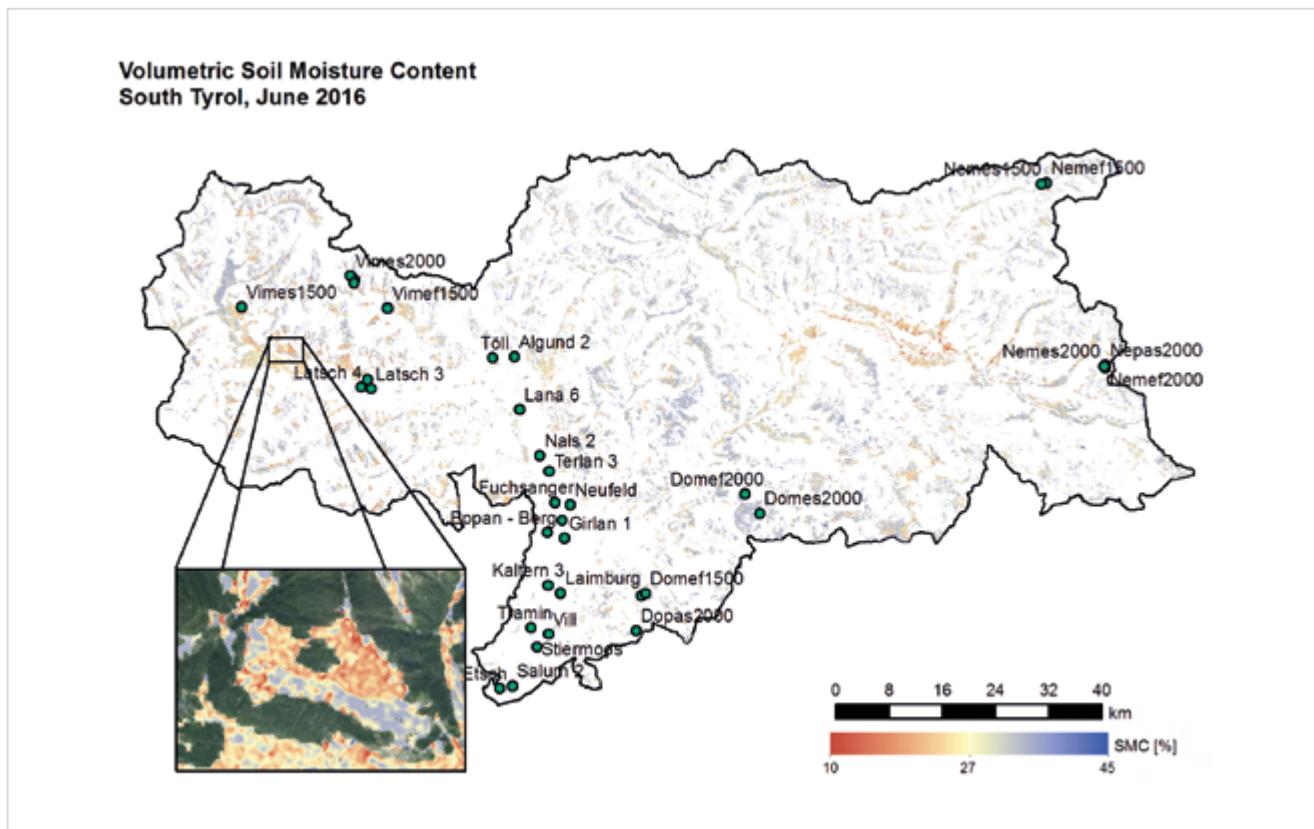


Abbildung 7: Sentinel-1 basierte Karte des BFG in Südtirol, für Juni 2016

Perspektiven für die regionale Überwachung des BFG in Südtirol

Die hier präsentierten MONALISA Resultate stellen eine ausgezeichnete Basis für die Berechnung unterschiedlicher Wassernutzungsszenarien dar. Damit könnten wertvolle Informationen für die Landwirtschaft gewonnen werden – beispielsweise wäre es möglich, Auswirkungen von Änderungen der Bewässerungspraktiken auf die Wasserverfügbarkeit zu simulieren. Zwar hat das Modell den Vorteil, dass es theoretisch die räumlich und zeitlich kontinuierliche Berechnung verschiedener Parameter ermöglicht, praktisch ist dies jedoch verbunden mit hohem Aufwand und hohen Anforderungen an die Eingangsdaten.

Das Radarsignal, das für die Messungen von Satelliten wie Sentinel-1 verwendet wird, dringt einige Zentimeter tief in den Boden ein und liefert so genau Informationen über den Wassergehalt des Bodens, sofern dieser nicht von dichter Vegetation (z.B. Wald) bedeckt ist oder die Messungen durch topografische Effekte gestört werden. Abgesehen von diesen Einschränkungen bietet Satellitenfernerkundung die einzige Möglichkeit für die Erfassung größerer Flächen. Durch die immer bessere Datenverfügbarkeit ist dies eine vielversprechende Methode.

Das Ziel für die Zukunft ist die Kombination der verschiedenen Methoden (Bodenmessungen, Satellitenfernerkundung und hydrologische Modellierung) in einem

System zur beinahe-Echtzeitüberwachung des BFG in Südtirol. Dieses System könnte Basisinformationen für das Wassermanagement in der Landwirtschaft oder auch für die Vorhersage von Wasserknappheit oder Überschwemmungen liefern.

Untersuchung der Kohlenstoff- und Wasserflüsse in einer Kalterer Apfelwiese

Damiano Zanotelli, Massimo Tagliavini, Freie Universität Bozen

Zusammen mit dem Weinbau stellt der Apfelanbau den wichtigsten Wirtschaftsfaktor in Südtirol dar. In diesem Bereich wurden der Kohlenstoff- und Wasserkreislauf über einen Zeitraum von drei Jahren konstant anhand der *Eddy-Kovarianz-Methode* überwacht. *Eddy Kovarianz* ist eine mikrometeorologische Methode, welche den Austausch von Materie (in diesem Fall Wasser und Kohlenstoff) aufgrund von Luftströmungen zwischen Landoberfläche und bodennahe Atmosphäre misst. Die Station befindet sich in einer Apfelwiese (der Sorte Fuji) im Gemeindegebiet Kaltern und ist von weiteren Apfelwiesen umgeben, welche ähnliche Eigenschaften in Punkto Größe, Anbaumethode und -system aufweisen. Somit kann davon ausgegangen werden, dass der

gemessene Kreislauf zur Gänze von einem einheitlichen Agrarökosystem generiert wird. Parallel zur Messung des Austauschs dieser beiden lebenswichtigen Elemente der landwirtschaftlichen Produktion (CO_2 und H_2O) wurden von der Eddy-Station auch die wichtigsten Umweltparameter erhoben wie etwa Temperatur, Strahlung, Bodenfeuchte, Niederschlag, Windgeschwindigkeit, Bodenwärmestrom etc.

Abbildung 1 zeigt, wie diese Flussdaten im Laufe eines durchschnittlichen Sommertages beispielsweise verlaufen. Angegeben sind darin die halbstündlich erhobenen Daten zum Netto- CO_2 -Austausch eines Ökosystems (NEE) und zur Evapotranspiration (ET). Ausgehend davon, dass die NEE-Daten aus Respiration (welche konventionell mit positivem Zeichen angegeben wird, da sie aus dem Ökosystem austritt) und der auf die Photosynthese zurückzuführenden Assimilation (welche mit negativem Zeichen angegeben wird, da sie in das Ökosystem eintritt) besteht, zeigt Abb. 8 die eindeutige CO_2 -Aufnahme des Apfelbaumes aus der Atmosphäre bei Tageslicht im Monat Juli. Der Wasserverlust durch Evapotranspiration im Laufe eines Tages entspricht dem Verlauf von Strahlung und Temperatur und steht im direkten Zusammenhang mit den photosynthetischen Assimilationsprozessen. Aus dem Vergleich zwischen dem regnerischen und frischen Sommer von 2014 und dem wärmeren und trockeneren Sommer von 2015 geht ein klarer Unterschied im „Wasserverbrauch“ des Apfelbaumes bei ähnlicher photosynthetischer Aktivität hervor. Demnach liegt die Vermutung nahe, dass die Wassernutzungseffizienz, welche sich aus dem Verhältnis zwischen Brutto-Photosynthese und Evapotranspiration ergibt, 2014 höher ist als 2015, als der Apfelbaum mehr Wasser für die Produktion derselben Menge organischen Kohlenstoffs benötigte. Aus der Summe der halbstündlich erhobenen Daten ergeben sich Tageswerte, anhand derer Tag für Tag sowohl die Menge des vom Ökosystem assimilierten oder ausgestoßenen Kohlenstoffs als auch das durch Evapotranspiration verlorene Wasservolumen empirisch ermittelt werden können. Abbildung 9 führt die Daten zur Bruttoprimärproduktion (GPP, g C m^{-2}), d. h. nur den Assimilationsanteil des Netto-Austausches (NEE) an, während in Abbildung 10 die täglichen Evapotranspirationsvolumen (in mm) korrigiert auf der Basis der Energiebilanz, angegeben sind. In beiden Fällen beziehen sich die Daten auf den dreijährigen Zeitraum des Projektes und die Linie, welche anhand nicht-parametrischer Interpolation erstellt wurde, veranschaulicht die Jahrestendenz. Durch die Summe der Tageswerte konnte die von der Apfelwiese ausgestoßene Menge Wasserdampf festgestellt werden, welche in den Jahren 2013, 2014 und 2015 respektive 764, 683 und 745 mm (bzw. 7640, 6830 und 7450 m^3/ha) betrug. Höchstwerte von etwa 7 mm pro Tag wurden im Juli des Jahr 2015 erhoben. Aus dem Vergleich mit den GPP-Daten, deren jährliche Sammelmenge zwischen 1493 (2014) und 1726 (2015) g C m^{-2} (14,9 und 17,9 t/ha) schwankte, ergab sich eine durchschnittliche Schwankung der Wassernutzungseffizienz der Apfelwiese zwischen 2,5 (2015) und 3,6

(2013) Gramm produzierten Kohlenstoff pro Kilogramm (oder Liter) verbrauchten Wasser. Durch den Vergleich zwischen gemessenen und geschätzten ET-Daten für eine Referenzkultur konnten die in den Tabellen der FAO verfügbaren Pflanzenkoeffizienten an die besonderen Wachstumsbedingungen der Apfelbäume in Südtirol angepasst werden, wodurch künftig das Bewässerungswasser mit hoher Präzision ausgegeben werden könnte. Die in Kaltern durchgeführten Erhebungen ermöglichten zudem die Zusammenarbeit mit Forschern anderer im Projekt MONALISA involvierter Einrichtungen. Dank dem Beitrag von Enrico Tomelleri (Eurac Research) ist ein Bericht über die Analyse der zeitlichen Auswirkungen der Umweltvariablen auf die Kohlenstoff- und Wasserflüsse in Ausarbeitung. Die Parameter bezüglich Wasserbilanz werden hingegen in Zusammenarbeit mit Giacomo Bertoldi (Eurac Research) für die Kalibrierung des GeoTop-Modells ausgearbeitet; nennenswert ist auch die Zusammenarbeit mit Mariapina Castelli (Eurac Research) im Bereich Evapotranspiration aufgrund der drohnen-gestützt gesammelten Wärmedaten. Zusammenfassend konnte durch diese Überwachungstätigkeit die Fähigkeit zur Kohlenstoffdioxid-Assimilation der Apfelwiese quantifiziert und somit festgestellt werden, wann und in welchem Maße die Wiese eine Kohlenstoffsенke oder -quelle gegenüber der Atmosphäre darstellt. Durch das Projekt konnte die Menge an verbrauchtem Wasser innerhalb des Ökosystems durch Evapotranspiration bestimmt werden. Diese Aussagen ermöglichen einen effizienteren Umgang mit Bewässerungswasser. Aufgrund des Vergleichs der Daten zu Brutto-Photosynthese und Evapotranspiration konnte die Wassernutzungseffizienz der Apfelwiese bestimmt und mit den Klimabedingungen in der Wachstumsphase verglichen werden. Allgemein stellt der über die Jahre gesammelte Datensatz dieses Projektteiles eine qualitativ verlässliche Informationsquelle dar und erwies sich als ausschlaggebendes Instrument bei der Validierung von Modellen, welche sich auf fernermittelte Informationen stützen (Satellit, UAV etc.) sowohl im Zusammenhang mit dem Biomassenzuwachs als auch mit dem Wasserkreislauf.

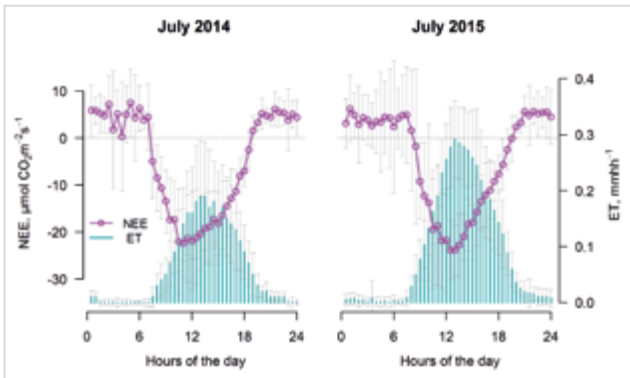


Abbildung 8: Durchschnittliche Tagesentwicklung der Netto-Flüsse von Kohlendioxid (NEE) und Wasser (ET), gemessen im Juli 2014 und 2015 von der Eddy-Kovarianz-Station in Kaltern. Die grauen Striche auf den 48 Punkten jeder Reihe zeigen den Standardfehler der entsprechenden halben Stunde.

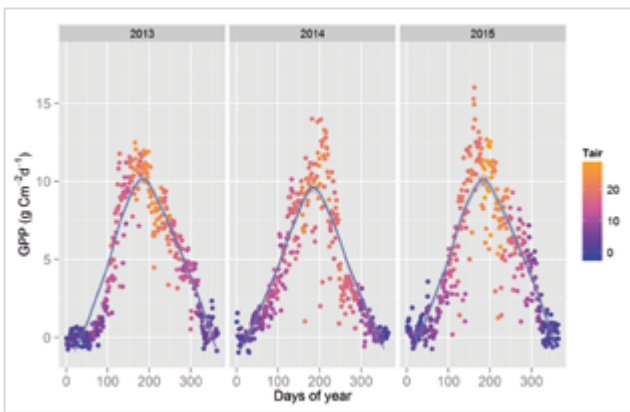


Abbildung 9: Tagesdaten zur Bruttoprimärproduktion (GPP), welche anhand der Aufteilung der im Rahmen des dreijährigen Projektes MONALISA gemessenen NEE-Daten ermittelt wurden. Die Farbe der Punkte gibt die durchschnittliche Tagestemperatur wieder. Die Linie ergibt eine nichtparametrische Regression (loess) mit entsprechendem Konfidenzintervall.

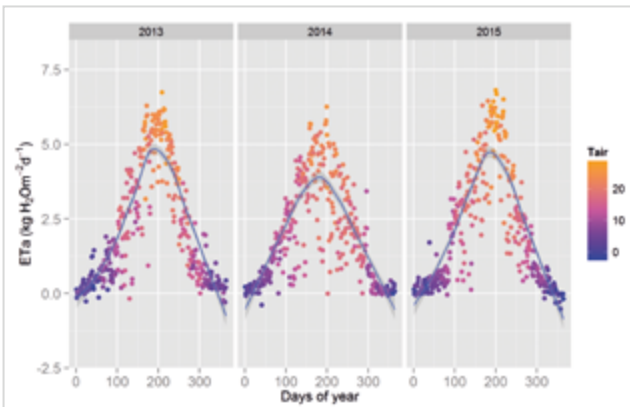


Abbildung 10: Tagesdaten zur Evapotranspiration (in mm), welche empirisch anhand der Eddy-Kovarianz-Methode in einer Apfelwiese in Kaltern im Rahmen des dreijährigen Projektes MONALISA ermittelt wurden. Die Farbe der Punkte gibt die durchschnittliche Tagestemperatur wieder. Die Linie ergibt eine nichtparametrische Regression (loess) mit entsprechendem Konfidenzintervall.

Daten für das Notfallmanagement

Zu den Aufgaben des Landeswarnzentrums in Zusammenarbeit mit dem Hydrographischen Amt des Landes gehören die Überwachung und die Vorhersage von Hochwasser, Murgängen, Lawinen sowie sämtlichen weiteren Naturphänomene und Ereignisse anderer Art, welche für die Südtiroler Bevölkerung eine Gefahr darstellen könnten. Ziel ist es, den BürgerInnen einen geeigneten Zivilschutzwarnungsdienst zu bieten bzw. Risikominderungsmaßnahmen in Gefahrensituationen umzusetzen.

Eine vollständige, verlässliche und leicht abrufbare Datenbank ermöglicht eine einfachere Überwachung und ein gezielteres Management von Notfällen. Im Rahmen des Projektes MONALISA wurde das Überwachungsnetz der gängigen Umweltparameter wie etwa Temperatur, Niederschlag, Wind, Schneebedeckung etc. optimiert und ausgebaut, wobei neue Produkte auf einheitliche und organisierte Weise in Form von Datenzeitreihen, Rasterkarten und Bildern zugänglich gemacht wurden. Die Satellitendaten sowie jene der am Boden installierten Stationen sind in einem interaktiven WebGIS-System gespeichert.

„Im Vergleich zu früher stehen uns heute mehr und leicht abrufbare Informationen zur Verfügung. Dies unterstützt und bekräftigt uns bei der Entscheidungsfindung im Zivilschutzdienst“, erklärt Roberto Dinale, Vizedirektor des Hydrographischen Amtes der Autonomen Provinz Bozen. Durch das Projekt MONALISA konnte das Parameternetz für die hydrometeorologische Überwachung auch um bestimmte Kenngrößen erweitert werden, welche standardmäßig nicht erhoben wurden, wie etwa der Bodenwassergehalt. „Somit werden wir unser Spektrum an Ereignissen erweitern, die in Zukunft auftreten und denen wir anhand konkreter und nachhaltiger Maßnahmen entgegenwirken könnten. Im Zusammenhang mit dem Bodenwassergehalt denke ich vor allem an das Problem des Wassermangels“, fügt Dinale hinzu. Der Standort der neuen Messstationen vor Ort wurde von den Forschern von Eurac Research geprüft und festgelegt. Dabei wurden die Angaben der Fachleute des Hydrographischen Amtes miteinbezogen, um möglichst zuverlässige und flächendeckende Aussagen über das gesamte Landesgebiet zu erhalten.

VEGETATION UND BODEN

In diesem Kapitel: Pflanzenwachstum und Ertrag in der Land- und Forstwirtschaft sind eng an die klimatischen Bedingungen gebunden und zeigen starke jahreszeitliche Schwankungen. Klimatische Extreme, wie zum Beispiel ein heißer, trockener Sommer sowie die Auswirkungen des Klimawandels beeinträchtigen das Pflanzenwachstum. Mit MONALISA haben wir Methoden entwickelt, um den aktuellen Zustand von Vegetation und die Entwicklung von Vegetation innerhalb eines Jahres (Phänologie) besser beobachten zu können. So wurden großflächige Satellitendaten eingesetzt, um die Phänologie im gesamten Alpenraum zu analysieren. Mit Hilfe eines ferngesteuerten UAVs wurden Vegetationsverhältnisse in hoher Auflösung kartiert; ein Netz von fest installierten Kameras erlaubt die Beobachtung der Vegetationsentwicklung in Echtzeit. Außerdem wurde ein System entwickelt, um verschiedene Waldparameter wie Baumhöhe und Baummasse aus Laserscanning-Daten zu erheben. Mit Hilfe dieser Methoden und Verfahren können in Zukunft die Vegetationsentwicklung besser verfolgt und die Zusammenhänge zwischen Klimaextremen und der Vegetation besser untersucht werden.

In-Situ Messungen

Georg Niedrist, Eurac Research

Neben der Errichtung des Stationsnetzwerkes (siehe Kapitel „Wasser und Kohlenstoff, in-situ networking“) stellten die Validierung der Sensordaten sowie regelmäßige Instandhaltungsarbeiten den Großteil der Freilandaktivitäten der Jahre 2014 - 2016 dar. Das Hauptaugenmerk wurde dabei besonders auf die Überprüfung der Bodenfeuchte in Obstbau und Grünland sowie der Produktionsdaten im Grünland gelegt, da diese anderen Arbeitspaketen des Projektes MONALISA als Grundlagendaten dienen sollten.

Messung Grünlandertrag

Der Biomassezuwachs auf Weiden und Mähwiesen wurde mit zwei Methoden erhoben. Die Messungen beruhen einerseits auf einem sensorgestützten Ansatz, für welchen ein Strahlungssensor die photosynthetisch aktive Strahlung im Grasbestand misst und über einen unbeschatteten Referenz-Sensor die Gesamtblattfläche (green area index, GAI) ermittelt, sowie andererseits auf direkten Messungen, im Zuge derer jeweils drei 50x50cm Quadrate abgeerntet wurden. Im Labor wurde über einen speziellen Scanner die Blattfläche der gesammelten Biomasse gemessen, sowie im Anschluss daran deren Trockenmasse. Erstere Methode hat den Vorteil, dass die Daten permanent erhoben werden und somit eine kontinuierliche Überwachung des Pflanzenwachstums über die gesamte Vegetationsperiode hinweg möglich ist. Aller-

dings ist die Methode anfällig gegenüber Verschmutzung des Sensors (zu hohe Werte) und lässt Aussagen über die Trockensubstanz nur dann zu, wenn der spezifische Blattflächenindex (SLA) bekannt ist. Das direkte Beproben liefert sehr zuverlässige Werte ist aber sehr zeitaufwändig und kann aufgrund der destruktiven Methode keine kontinuierliche Zeitreihen liefern. Aus diesem Grund wurde eine Kombination beider Verfahren angewandt (siehe Abb. 11).

Die Ernten wurden einige Tage vor der tatsächlichen Mahd auf den betroffenen Flächen durchgeführt. Wiesen auf 1500 m Höhe wurden dreimal beprobt (Mitte Juni, Anfang September und Mitte Oktober), Wiesen auf 2000 m Höhe zweimal (Mitte Juli und Anfang Oktober). Die Weiden wurden einmal im August abgeerntet. Insgesamt wurden in den beiden Vegetationsperioden 2015 und 2016 135 Vegetationsproben entnommen.

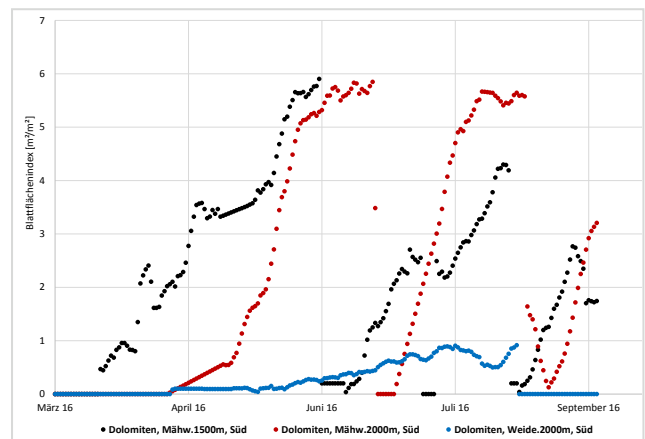
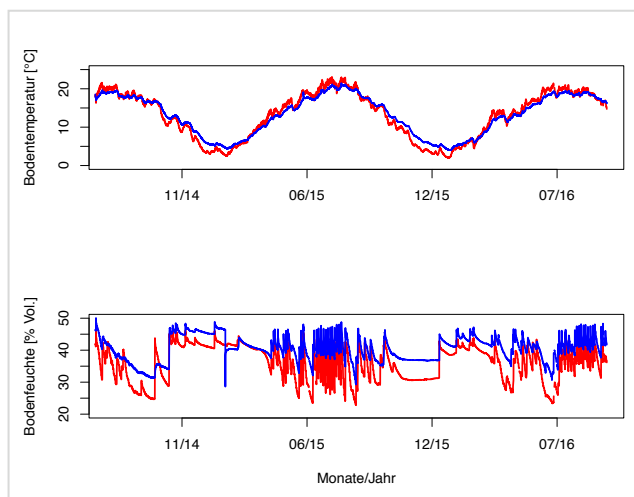


Abbildung 11: Vegetationsverlauf des Jahres 2016: Gegenüberstellung zweier südexponierter Mähwiesen (1500m, 2000m) und einer südexponierten Weide (2000m). Deutlich sichtbar wird der frühe Vegetations-Start auf 1500m im Vergleich zu 2000m, der höhere Standort erreicht aber durch steilere Zuwachsraten praktisch zeitgleich denselben Maximalwert. Das Wachstum auf der Weide erfolgt durch die ausbleibende Düngung sehr viel langsamer. Die Abbildung oben rechts zeigt den Strahlungssensor im Bestand. Unten rechts ist eine Abbildung des Blattflächenscanners zu sehen.

Messung Bodenwassergehalt

Die im Stationsnetzwerk verwendeten Bodenfeuchte-Sensoren (TDR-Technologie) sind bereits seit mehreren Jahren im LTER-Gebiet Matsch im Einsatz und sind erfahrungsgemäß in ihrer Messung wenig empfindlich gegenüber verschiedenen Bodentypen. Dennoch wurden von allen Stationen im Grünland und Obstbau zusätzlich jeweils Zylinderproben aus zwei verschiedenen Tiefenstufen entnommen, getrocknet und deren Wassergehalt mit den Sensorwerten verglichen (gravimetrische Kalibrierung). Aus der Gegenüberstellung ergab sich ein geringfügiger Korrektur-Koeffizient von $y=0.079+0.84x$. Der Bodenwassergehalt ist zwar eine wichtige Kenngröße für hydrologische Prozesse und ein fundamentaler Validierungswert für Satelliten- und drohnengestützte

Schätzungen, er sagt aber relativ wenig über das tatsächlich pflanzenverfügbare Wasser aus. Das Matrixpotential wurde nur an einzelnen Stationen direkt gemessen (siehe Abb. 12), daher wurden an allen anderen Stationen Texturanalysen (Analyse der Korngrößenfraktionen) durchgeführt und der Bodenwassergehalt über die van Genuchten-Parameter in das Matrixpotential umgerechnet.



Besonders im Obstbau sind Punkt-Daten zur Bodenfeuchte nur bedingt aussagekräftig, weil sich die Bedingungen aufgrund der Heterogenität des Bodens bereits im Maßstab von wenigen Metern ändern können. Um eine flächendeckende Aussage zur Bodenfeuchte machen zu können wurden weitere, bereits vorhandene Datensätze zur Texturverteilung gesucht und schließlich im Bodenlabor des Versuchszentrums Laimburg gefunden. Dort wurde ein Großteil der im Rahmen des AGRIOS-Programmes geforderten Bodenproben durchgeführt und abgelegt. Der Schwerpunkt dieser Proben lag zwar im Bodenchemismus und es wurde nur eine Fingerprobe durchgeführt, aber aufgrund der hohen Stichprobenanzahl (18000) wurde dennoch versucht, eine räumliche Verteilung zu berechnen. Dazu wurden die Proben über die jeweilige Parzellennummer georeferenziert und die Ergebnisse der Fingerprobe über das Textur-Dreieck in die Korngrößenverteilung umgerechnet. Über ein spezielles Interpolationsverfahren (compositional kriging) wurden die Daten für die Obstbaufläche Südtirols berechnet und am Schluss in 3 Hauptklassen zusammengefasst. (Siehe Abb. 13)

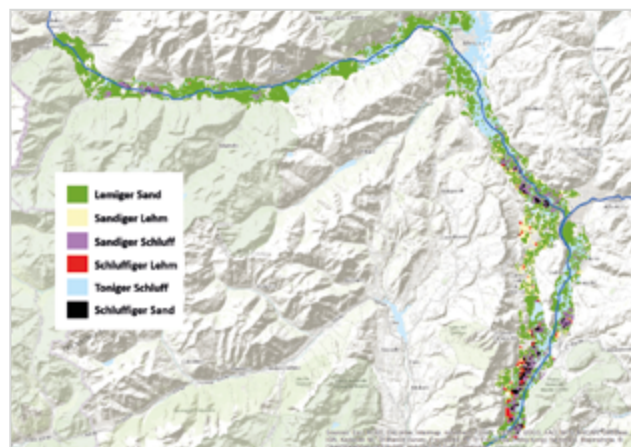


Abbildung 13: Verteilung der AGRIOS-Bodenproben im Etschtal und die daraus resultierende Karte zur Verteilung der Texturklassen (nach USDA)

Fernerkundungsbasiertes Vegetationsmonitoring

Sarah Asam, Eurac Research

Die Entwicklung und Evaluierung von Fernerkundungsbasierten Monitoring-Verfahren für pflanzliche Schlüsselgrößen und Pflanzenwachstumsprozesse ist ein Schwerpunkt des MONALISA-Projekts. Die Fernerkundung bietet die Möglichkeit, die Erdoberfläche räumlich und zeitlich kontinuierlich aufzunehmen. Aus diesen Bildern wurden im Rahmen von MONALISA Zustandskarten zu biophysikalischen Vegetationsparametern abgeleitet, nämlich Vegetationsindizes, Blattflächenindex, und Phänologie. Die wissenschaftlichen Fragestellungen umfassen dabei das Verständnis grundlegender Ökosystemprozesse oder wie Datenprodukte mehrerer Satellitensensoren optimal kombiniert werden können. Auch die Analyse raum-zeitlicher Muster ist im Kontext des globalen und klimatischen Wandels für Gebirgsregionen relevant. Die Heterogenität von Gebirgen stellt dabei für die Auswertung der Datensätze eine besondere Herausforderung dar, für die angepasste Lösungen gefunden werden müssen.

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) & Leaf Area Index (LAI)

Für das Monitoring von Vegetation basierend auf Satellitendaten werden spektrale Reflektanzwerte häufig in Vegetationsindizes (*Vegetation Index* VIs) umgerechnet, um das Signal grüner Vegetation im Vergleich zu Störfaktoren wie Boden, totes Pflanzenmaterial, atmosphärische Bedingungen, und Beleuchtungsverhältnisse verursacht wird, hervor zu heben. VIs sind dimensionslose Variab-

len, die auf dem starken Reflektanzunterschied im roten und nahen infraroten Spektralbereich beruhen. Sie sind eng mit der relativen Dichte, Gesundheit, und Aktivität von Vegetation verknüpft und damit gut geeignet, raum-zeitliche Muster der Vegetationsdynamik abzubilden. Der „normalisierte differenzierte Vegetationsindex“ (NDVI) ist der wohl meistverwendete VI, welcher auch im operationellen Monitoring Anwendung findet. Der Blattflächenindex (engl. Leaf Area Index, LAI) ist definiert als die einseitige Blattfläche je Bodeneinheit. Auf dieser finden Prozesse wie Interzeption, Verdunstung und Photosynthese statt. Der LAI quantifiziert also die Schnittstelle zwischen Biosphäre und Atmosphäre und ist damit unter anderem für die Modellierung von Energie- und Stoffflüssen relevant. Der LAI kann optisch nicht direkt gemessen werden. Stattdessen müssen spektrale Variationen, welche durch strukturelle Änderungen der Vegetation hervorgerufen werden, in Veränderungen des LAI übersetzt werden. Dies geschieht anhand empirisch-statistischer oder physikalischer Modelle. Da nur Letztere über ein großes Gebiet und längere Zeit angewendet werden können, wurde ein Strahlungstransfermodell (*Radiative Transfer Model*, RTM) gewählt. Ein RTM beschreibt Transmission, Absorption und Reflektanz von Licht innerhalb der Pflanzendecke als eine Funktion ihrer strukturellen und biophysischen Eigenschaften. Durch die Inversion des RTM, in der ein Abgleich simulierter und gemessener Spektren vorgenommen wird, kann LAI abgeleitet werden. Für die Jahre 2014 und 2015 wurden NDVI und LAI basierend auf den Daten von drei Satellitensystemen abgeleitet, welche unterschiedliche raum-zeitliche Spezifikationen haben: von den beiden frei verfügbaren Systemen MODIS und Sentinel-2, sowie von dem kommerziellen Sensor RapidEye. Abbildung 14 vermittelt einen visuellen Eindruck der unterschiedlichen Auflösungen und Abdeckungen der NDVI und LAI Karten vom 26. August 2015 aller drei Sensoren.

Abbildung 14 zeigt sechs Karten in einem 2x3-Raster. Die obere Reihe zeigt NDVI-Karten, die untere Reihe zeigt LAI-Karten. Die Spalten von links nach rechts entsprechen den Sensoren RapidEye (5 m Auflösung), Sentinel-2 (20 m Auflösung) und MODIS (250 m Auflösung). Die Karten zeigen die räumliche Verteilung der Vegetationsindizes über ein Gebiet, das durch UTM-Koordinaten (X: 620000 bis 624000, Y: 5168000 bis 5174000) definiert ist. Die NDVI-Karten verwenden eine Farbskala von 0,5 bis 0,9, während die LAI-Karten eine Skala von 1 bis 6 verwenden. Die Karten zeigen deutlich die zunehmende räumliche Detailgenauigkeit von RapidEye über Sentinel-2 bis hin zu MODIS.

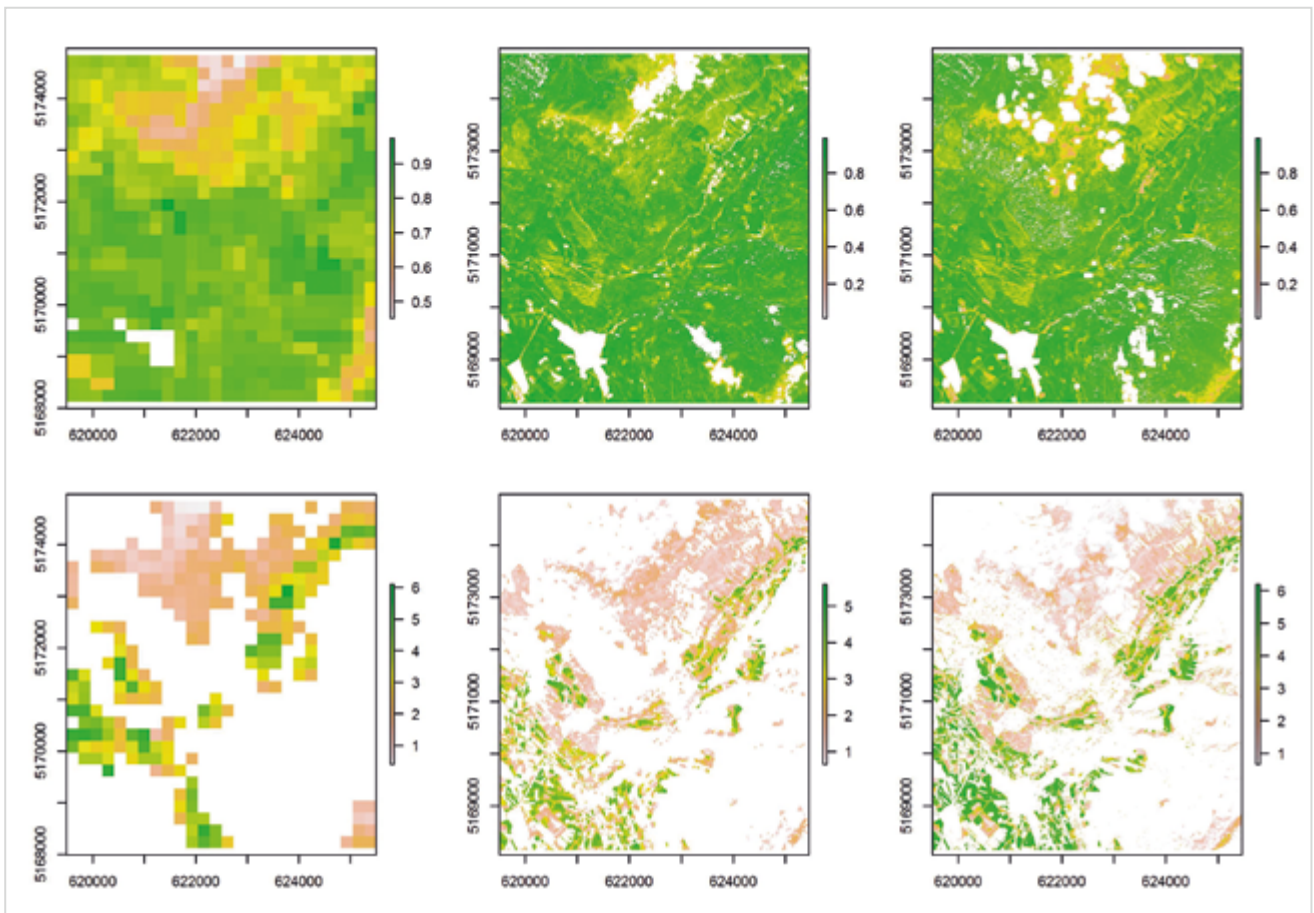


Abbildung 14: NDVI und LAI Karten abgeleitet von MODIS (250 m), Sentinel-2 (20 m) und RapidEye (5 m) Aufnahmen vom 26. August 2015 über dem Matschertal.

Die MODIS NDVI und LAI Karten werden als 4-Tages-Komposite mit 250 Meter räumlicher Auflösung für ganz Südtirol und den Zeitraum 2002 – 2016 bereitgestellt. Dafür wird aus den täglichen Aufnahmen des Terra Satelliten im sichtbaren Licht und nahen Infrarotbereich anhand verschiedener Qualitätskriterien (z.B. Bewölkung, Aufnahme- und Beleuchtungswinkel) für jeden Pixel innerhalb von 4 Tagen der beste Wert ausgewählt. Durch dieses Verfahren werden Datenlücken reduziert und die Informationsqualität erhöht. Für die Berechnung des NDVI wird der Einfluss der Topographie auf die Spektralwerte korrigiert, während dies für die Ableitung des LAI direkt in das RTM integriert ist. Der NDVI wird im nächsten Schritt für alle mit Vegetation bedeckten Flächen berechnet. Für die Ableitung des LAI werden die Spektralwerte für die Inversion gegen das RTM PROSAIL benutzt. Aufgrund der Annahmen, welche dem PROSAIL Modell zugrunde liegen, kann der LAI nur für Grünland abgeleitet werden. Der LAI kann dabei mit einem Standardfehler von 1.68 [m²/m²] abgeleitet werden.

Die Sentinel-2 NDVI und LAI Karten werden für jeden Satellitenüberflug (je nach Flugbahnüberlappung alle 4-10 Tage) für den Zeitraum Juli 2015 – Dezember 2016 erstellt und decken jeweils etwa die Hälfte Südtirols ab. In einem ersten Schritt werden die Level 1C Aufnahmen anhand des „sen2cor“-Prozessors kalibriert und atmosphärisch korrigiert. Schneebedeckte Flächen sowie Wolken und beschattete Flächen werden mit sen2cor-Qualitätskarten ausmaskiert. Der LAI wird basierend auf den Sentinel-2 Daten durch eine angepasste Version des invertierten RTMs PROSAIL geschätzt. Da Sentinel-2 eine Reihe wichtiger Spektralkanäle nur in 20 Meter Auflösung aufnimmt ist die räumliche Auflösung des LAI (20 Meter) niedriger als die des NDVI (10 Meter). Die erzielte Genauigkeit der LAI Karten beträgt 70 %. Die NDVI Karten werden für alle bewachsenen Flächen und die LAI Karten nur für die Grünlandflächen Südtirols abgeleitet.

Aufnahmen des RapidEye Sensors der Firma Planet Labs wurden während der Vegetationsperioden 2014 und 2015 gemacht, um sehr hochauflösende (5 Meter) Karten der Vegetationsflächen in Südtirol abzuleiten. Insgesamt liegen 57 Szenen vor, welche eine zweifache komplette Abdeckung Südtirols (Ende Juni und Ende August 2015) sowie eine Zeitreihe des Matschertals (8 Aufnahmen) ermöglichen. Zunächst wurden die atmosphärischen Einflüsse in den bereits lagekorrigierten Datensätzen anhand der Software ATCOR korrigiert. Da dieses Verfahren keine der MODIS- oder Sentinel-2-Prozessketten vergleichbare Qualitätsmaske generiert, wurden danach Schneebedeckte und beschattete Flächen sowie Wolken anhand von Schwellenwerten ausmaskiert. Auch für die sehr hochauflösende Skala wurde das PROSAIL Modell für die LAI Ableitung benutzt. Die RapidEye NDVI und LAI Karten liegen jeweils für die bewachsenen bzw. die Grünlandflächen vor. Der LAI konnte mit einer Genauigkeit von etwa 80 % abgeleitet werden.

Anwendungen

Mit Hilfe der beschriebenen Verfahren kann in Zukunft die Vegetationsentwicklung in Südtirol kontinuierlich beobachtet werden, was für verschiedene Untersuchungen Verwendung finden kann. Zwei Anwendungsbeispiele zu Phänologie und Vegetation-Klima-Interaktionen werden hier kurz umrissen.

Phänologie

Phänologie umschreibt alle klimaabhängigen periodischen Phänomene. Besonders die Klimaerwärmung verändert die Vegetationsphänologie und kann dadurch Folgen für die land- und forstwirtschaftliche Produktion haben. Die Fernerkundung ist gut geeignet um großflächige phänologische Muster und Variabilität abzuschätzen. Dazu wird die Zeitreihe eines VI hinsichtlich des Ergrünnens analysiert, um phänologische Metriken wie den Start der Vegetationsperiode (SOS) festzustellen. Da Vegetationssignale häufig Lücken aufweisen, werden die Zeitreihen gefiltert und anhand mathematischer Modelle angenähert. Dies ist aufgrund der hohen Wolken- und Schneebedeckung besonders im Gebirge notwendig. Die gängigen phänologischen Maße wurden über Südtirol für die Jahre 2002 – 2016 für alle bewachsenen Flächen basierend auf MODIS-NDVI-Zeitreihen abgeleitet. Dazu wurden die TIMESAT-Software und je nach Biom angepasste Schwellenwerte verwendet. Die resultierenden jährlichen Karten haben eine räumliche Auflösung von 250 Metern und zeigen deutlich die Abhängigkeit des SOS in den Alpen von Topographie und Höhenlage (Abb. 15). Die im Rahmen des MONALISA-Projekts installierten Kameras („PhenoCams“) und spektralen NDVI Sensoren werden verwendet, um die abgeleiteten phänologischen Metriken zu evaluieren.

Flächenhaftes Monitoring von Vegetation-Klima-Zusammenhängen

Die vielfältigen Umweltdaten, welche im MONALISA-Projekt zur Verfügung stehen, wurden verwendet um statistisch belastbare Einflüsse von Klimafaktoren auf das Vegetationswachstum für verschiedene Höhenstufen und über den Jahresgang hinweg in Südtirol zu identifizieren. Die MODIS-Zeitreihen zu Schneebedeckung und NDVI wurden dafür auf monatliche Summen bzw. Mittelwerte aggregiert und pixelbasiert miteinander korreliert. Des Weiteren wurden die fernerkundungsbasierten Datensätze zusammen mit Klimadaten der Firma CISMA (siehe Seite 54 dieses Berichts) für die Jahre 2004 – 2013 analysiert. Um zu testen, wie die Saisonalität des NDVI von den Klimatreibern beeinflusst wird und ob kombinierte Effekte der Klimafaktoren auftreten, wurden pixelbasierte Kreuzkorrelationsanalysen sowie multivariate Regressionen berechnet (Abb. 16). Dazu wurden die Klimadaten zu 16-tägigen Summen oder Mittelwerten verrechnet und

alle Datensätze in eine einheitliche räumliche (2 km) und zeitliche (16-tägig) Auflösung konvertiert.

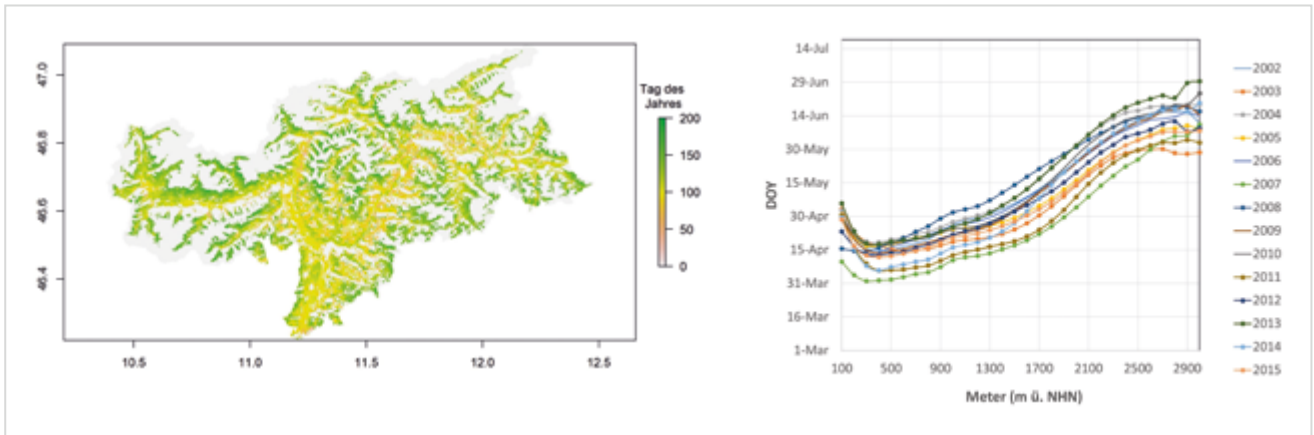


Abbildung 15: a) Räumliches Muster des Starts der Vegetationsperiode (SOS) 2004, sowie b) Abhängigkeit des SOS in natürlichem Grünland von der Höhenlage für Südtirol.

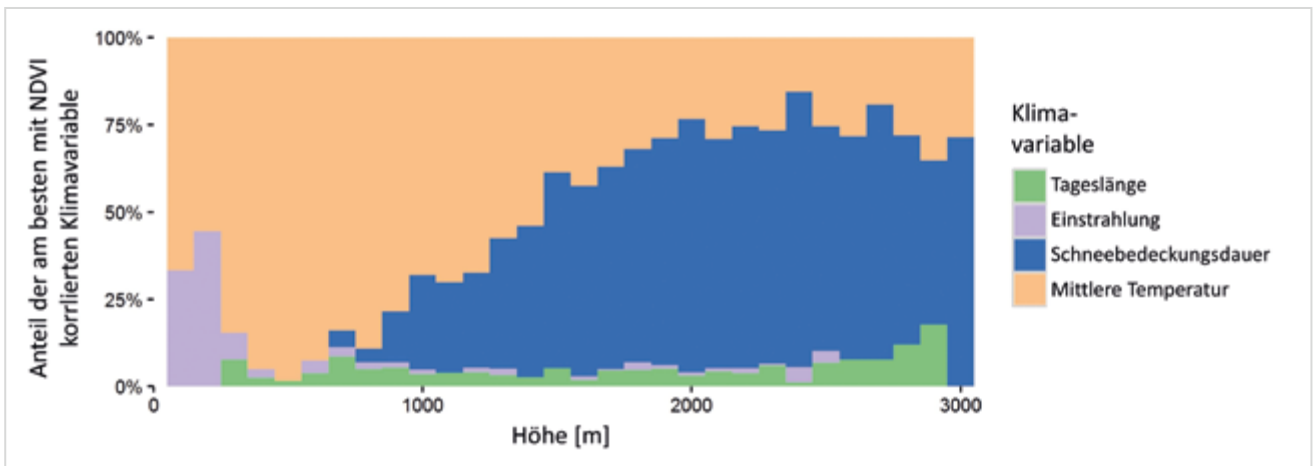


Abbildung 16: Der Einfluss der Klimafaktoren auf die Vegetationsseasonalität ist je Höhenstufe unterschiedlich stark. Während in den niedrigen Höhenstufen (<400 Meter) Einstrahlung und Temperatur die stärksten Treiber sind, nimmt der Einfluss der Schneebedeckungslänge ab ca. 700 Meter Höhe kontinuierlich zu.

Drohnen und *proximity sensing* für Vegetationsparameter

Enrico Tomelleri, Eurac Research

Über den Einsatz phänologischer Multiskalen-Beobachtungen

Die jahreszeitlichen phänologischen Veränderungen spielen bei verschiedenen Prozessen innerhalb eines Ökosystems eine entscheidende Rolle. Zudem sind sie im Zusammenhang mit abiotischen Faktoren wie etwa der Wasseraufnahme der Vegetation, der Bodenbedeckung und deren Stabilisierung, sowie für biotische Faktoren wie Insekt-Wirt-Interaktionen und die Bestäubung oder die Verfügbarkeit von Früchten und Blättern als Futter von großer Notwendigkeit. Mittelfristig ist die Phänologie auch bei der geografischen Verbreitung der Spezies ein entscheidender Faktor. Langfristig spielt sie durch ihren Einfluss auf die Verfassung der Pflanzenarten auch auf Evolutionsebene eine Rolle, da Faktoren wie der Kontakt mit Kälte oder die erfolgreiche Vermehrung vom Lebenszyklus in Anpassung an die Umweltbedingungen abhängen. Deshalb stützen sich Pflanzenarten in schwierigen Lebensräumen mit kurzer Wachstumsphase wie in Berggebieten auf die genaue Anpassung der phänologischen Zyklen an die mikroklimatischen Bedingungen. Aus diesem Grund spielt die Phänologie im Zeitalter des Klimawandels eine entscheidende Rolle bei der Umweltbeobachtung. Im Rahmen dieses Projektes haben wir ein Monitoringnetzwerk für Ökosysteme im

Südtiroler Grünland erstellt. Die Messstationen sind mit NDVI-Sensoren (Normalized Difference Vegetation Index) und Beobachtungskameras ausgestattet und haben Daten in der letzten Phase von 2014 sowie in den Jahren 2015 und 2016 erfasst. Für die Datenauswertung haben wir das Paket R „Phenopix“ verwendet und angepasst. Es handelt sich hierbei um ein Instrument mit verschiedenen Funktionen zur Bearbeitung von Digitalaufnahmen, zur Schätzung des Kurvenverlaufs der Vegetationsindizes und zur Ermittlung von phänologischen Veränderungen. Unser Ziel bestand darin, durch die Multiskalen-Beobachtung der Vegetation phänologische Entwicklungen zu ermitteln. Aus diesem Grund haben wir anhand derselben Methoden die Datensätze aus NDVI-Sensoren, Beobachtungskameras und MODIS-Satellitendaten analysiert. Jeder der drei Ansätze weist Vor- und Nachteile auf. NDVI-Sensoren haben den Vorteil, die Beobachtung auf eine reine Fläche eines bestimmten Ökosystems zu beschränken. Andererseits berücksichtigt diese Methode die räumliche Variabilität innerhalb ein- und desselben Ökosystems nicht mit. Der Vorteil von Beobachtungskameras besteht in der räumlich beschränkten Untersuchung eines Landschaftsteiles. Diese Methode ermöglicht eine Beobachtung aus unterschiedlichen Winkeln, wobei aber Artefakte im räumlich variablen beobachteten Prozess mitaufgenommen werden können. Die Fernerkundung ermöglicht die großräumige Beobachtung aus der Ferne. Dabei kann die Wolkenbedeckung zu Lücken in den Zeitreihen führen. Die folgende Abbildung zeigt die Übereinstimmung des Kurvenverlaufs auf den verschiedenen Skalen. Aus diesem Grund kann unseres Erachtens die Beobachtung anhand unterschiedlicher Methoden je nach Beobachtungsskala unabhängig eingesetzt werden.

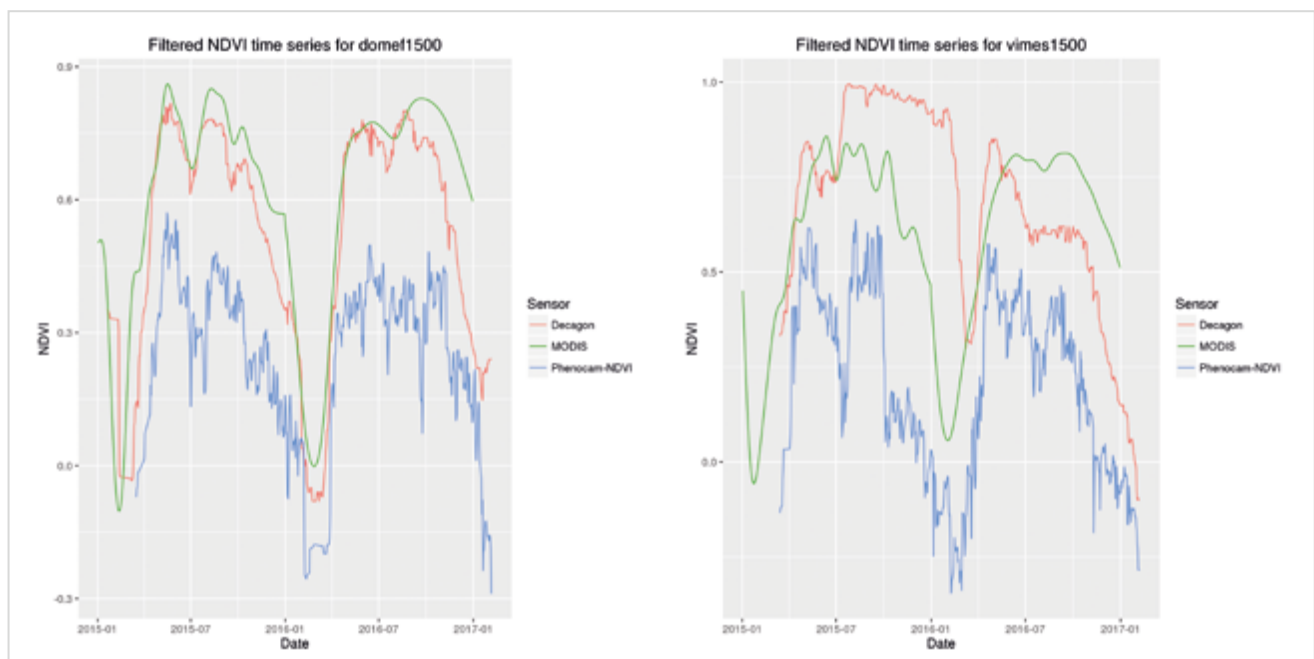


Abbildung 17: NDVI von den drei Methoden für die Testflächen vimes1500 e domef1500 (2015-2016).

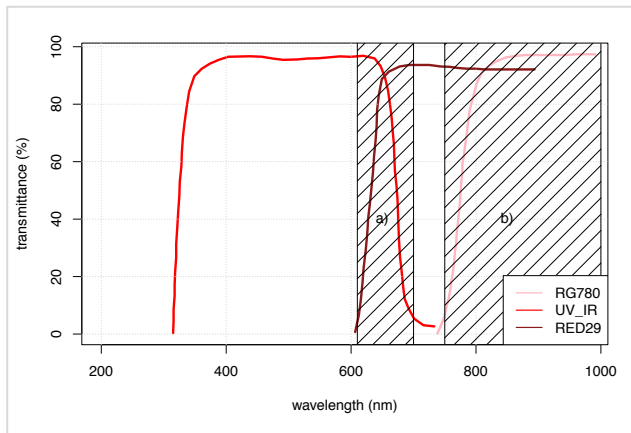


Abbildung 18: Transmission der in den Ricoh GR- Kameras eingebauten Filter. Die UV_IR und RED29-Filter wurden in die Originalkamera eingebaut. In einer weiteren Kamera wurde hingegen der interne Infrarotfilter mit dem RG780-Filter ersetzt. Der rote Kanal der beiden Kameras misst in der Fläche a) Rot und in der Fläche b) Nahinfrarot.

NDVI-Schätzungen im alpinen Grünland: eine kostengünstige Methode

Der Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) gehört zu den meistverwendeten Indikatoren für das Vegetationsmonitoring mittels Fernerkundung. Er beruht auf dem starken Reflektanzunterschied im roten und nahen infraroten Spektralbereich (NIR) und dient der Überwachung von Veränderungen in Struktur, Phänologie und anderen Merkmalen von Vegetation, welche jahreszeitlichen oder langfristigen Veränderungen unterliegen. Der NDVI wird konventionell von Satellitensensoren wie etwa MODIS abgeleitet. Seit einigen Jahren steht eine neue Generation von miniaturisierten hyperspektralen Sensoren mit Hochauflösung zur Verfügung. Diese kleinen, leichten Instrumente eignen sich besonders für den Einbau in ferngesteuerte Flugsysteme <8siehe Box auf Seite 15). Dank dieser Kombination kann eine Auflösung am Boden von wenigen Zentimetern erzielt werden. Leider sind miniaturisierte Radiometer und hyperspektrale Sensoren immer noch sehr kostenaufwendig. Aus diesem Grund schlagen wir für unser Forschungsvorhaben ein alternatives, kostengünstigeres System vor, das zur Berechnung des NDVI ein Netzwerk von Fotokameras verwendet. Dazu werden herkömmliche Fotokameras eingesetzt: (i) eine umgebaute Ricoh GR, welche durch die Entfernung des internen Infrarotfilters das NIR-Spektrum aufnimmt. Ein zusätzlicher optischer Filter absorbiert sämtliche Wellenlängen unter 700 nm (Abb. 18). (ii) Eine Ricoh GR mit zwei optischen Filtern, welche bei Wellenlängen unter 600 nm NIR und UV-Licht absorbieren (Abb. 3). Zur Schätzung der Methode haben wir zwei Vergleiche angestellt: Zuerst wurden die von den Kameras erzeugten Reflektanzkarten mit jenen eines Fabry-Pérot-Interferometer (Rikola Ltd.) verglichen. Sämtliche Aufnahmen wurden geometrisch korrigiert und mit der Software PIX4D zu einem Mosaik zusam-

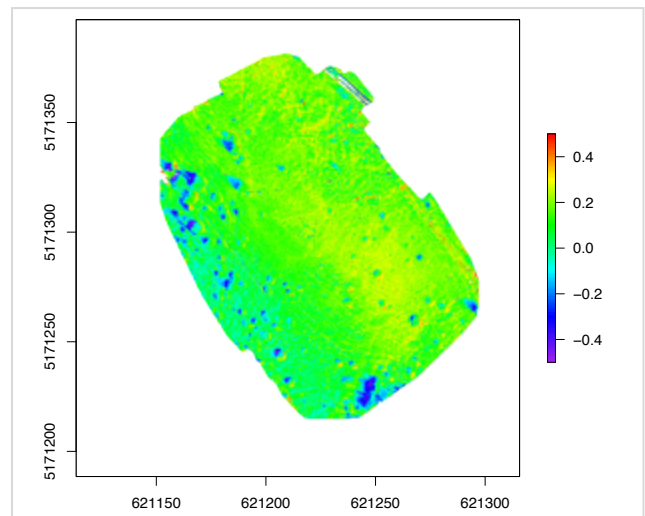


Abbildung 19: Unterschied zwischen NDVI aus Ricoh GR mit Filter und FPI

mengefügt. Sämtliche Datensätze stammen von einer Weide im Testgelände von MONALISA im Matschertal und wurden in der Vegetationsphase von 2015 erfasst. Die Ergebnisse dieser Methode sind vielversprechend (Abb. 19). Sie stellt demnach eine kostengünstigere Alternative für die Sammlung von Informationen zu einem speziellen, räumlich abgegrenzten Gelände innerhalb einer bepflanzten Fläche mit unwegsamem Boden dar.

Multiskalen-Schätzungen ökosystemischer Merkmale

Ziel dieses Forschungsvorhabens war die indirekte Ableitung von ökosystemischen Merkmalen aus multi- und hyperspektralen Datensätzen. Zudem haben wir versucht, genauere Auskunft über den Gebrauch von Methoden verschiedener Größenordnung zu erhalten. Eine genaue und räumlich definierte Schätzung ökosystemischer Merkmale und ihrer Prozesse wie Blattflächenindex und Chlorophyllgehalt spielt bei der Umweltforschung auf unterschiedlichen Ebenen eine entscheidende Rolle. In diesem Zusammenhang hat sich der Gebrauch von Fernerkundungsdaten als geeignetes Mittel erwiesen, um bei der Beobachtung von Umweltentwicklungen von lokaler auf globale Ebene zu schließen. Der Zusammenhang zwischen den Satelliten- und den bodengestützten Sensoren wurde jedoch noch nicht gänzlich erfasst. Die Beobachtungstechnologien anhand Hyperspektralbilder entwickeln sich rasch weiter. Die Instrumente werden immer leichter und eignen sich somit auch für den Einbau in ferngesteuerte Flugsysteme. Die Aufnahmen dieser Systeme sind räumlich beschränkt, jedoch flexibler als Satellitenaufnahmen. Diese Technologie ermöglicht nämlich bei günstigen Wetterbedingungen sehr hochauflösende Aufnahmen von räumlich definierten Abschnitten. Bei dieser Studie kam ein

Fabry-Pérot-Interferometer (FPI) zum Einsatz. Vegetationsindizes haben sich als geeignetes Mittel für die Umweltbeobachtung erwiesen, sind jedoch aufgrund ihrer Einfachheit nur beschränkt einsetzbar. Die Inversion des Strahlungstransfermodells (RTM) ist ein stark verbreiteter Ansatz bei der Schätzung biophysischer Parameter aus Erdbeobachtungsdaten, der neue Möglichkeiten bei der Schätzung ökosystemischer Merkmale eröffnet.

In dieser Studie haben wir zuerst eine auf Machine-Learning gestützte Version eines RTMs entwickelt: das PRO-SAIL-Modell. Dabei haben wir eine Matrix von Parametern

des Modells erarbeitet, welche sich auf das Wahrscheinlichkeitsmaß stützt. Dadurch haben wir aufgrund der Parameter des Modells n Reflektanzschätzungen ange stellt, anhand derer wir Random Forests „trainieren“ und das Modell umkehren konnten, um den Reflektanzwerten bestimmte Parameter des Modells zuzuordnen. Dieser Ansatz wurde eingesetzt, um aus den Satellitendaten (Sentinel-2) und aus ferngesteuerten Flugsystemen (FPI) einige Parameter abzuleiten. Diese Methode wurde für die Datenermittlung während einer Kampagne im August 2015 bei einem Vorbeiflug von Sentinel-2 angewandt.

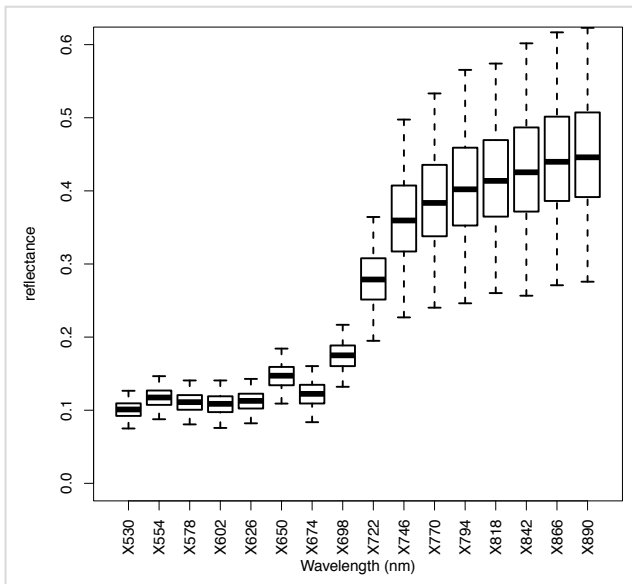


Abbildung 20: Variabilität der FPI Spektren im Interessensgebiet

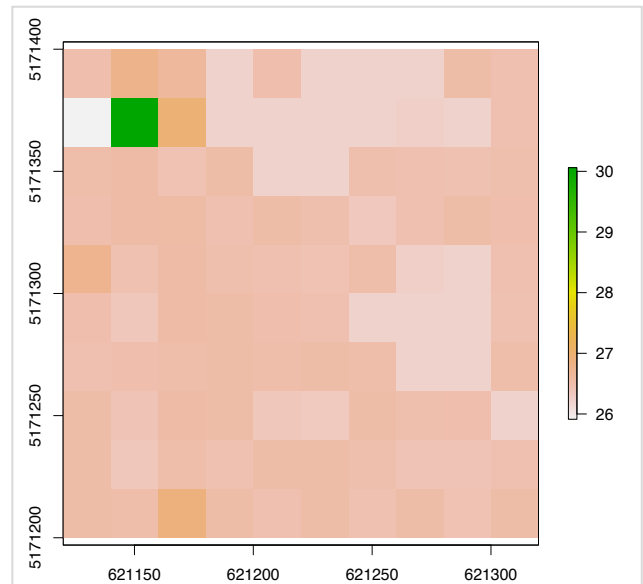


Abbildung 22: Karte des Blattflächenindex, basierend auf FPI

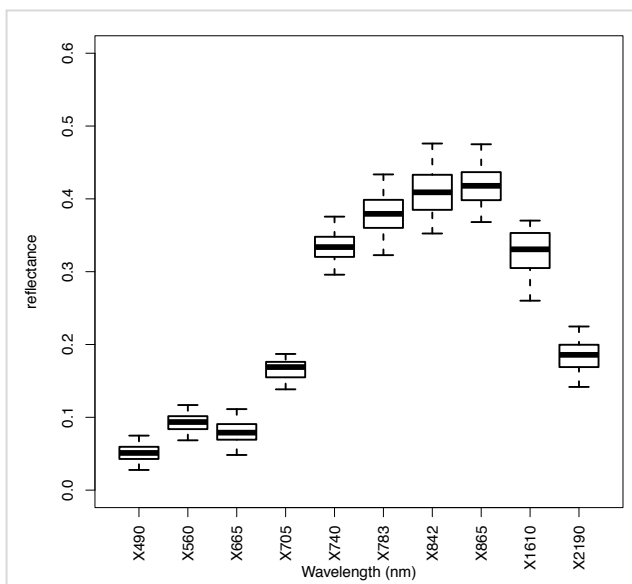


Abbildung 21: Variabilität der Sentinel-2 Spektren im Interessensgebiet

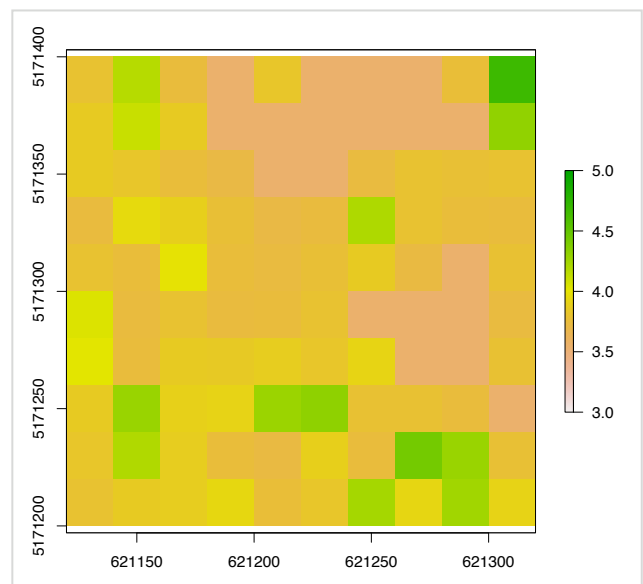


Abbildung 23: Variabilität des Blattflächenindex, basierend auf Sentinel-2 Daten

Klimawandel und Veränderungen der forstwirtschaftlichen Produktivität in Berggebieten

Giustino Tonon, Freie Universität Bozen



Abbildung 24: Junger Fichtenwald bei Welschnofen

Die meisten Wälder im Alpenraum - also auch in Südtirol - bestehen aus Fichten. Fichtenwälder stellen ein wirtschaftlich wichtiges Ökosystem im Hinblick auf die Holzproduktion sowie als Naherholungsort für Touristen dar. Die Einflüsse des Klimawandels auf die Produktivität zu verstehen und vorauszusagen, spielt in der Forstwirtschaft eine entscheidende Rolle, denn nur so können wir die Fähigkeit der Wälder einschätzen, diesen Veränderungen standzuhalten und ihre Eigenschaften und Funktionen zu erhalten. In dieser Hinsicht wurden die Veränderungen der letzten 150 Jahre in der Produktivität zweier Fichtenwälder im Alpenraum untersucht. Die Untersuchungsflächen befinden sich bei Welschnofen (Abbildung 24) in Südtirol und in Traunstein in Bayern. Bei dieser Methode wurde das Höhenwachstum einiger Fichten im Laufe der Zeit zurückverfolgt, welches als Indikator für die Produktivität gilt. Dabei wurden drei Altersklassen gewählt, um die Entwicklung in unterschiedlich alten Fichtenwäldern, welche demnach in unterschiedlichen Zeiträumen gewachsen sind, zu beobachten. Dann wurden die Jahresringe dieser Bäume mit besonderem Augenmerk auf stabile Kohlenstoff- und Wasserstoffisotope chemisch analysiert. Diese stabilen Isotope stehen in engem Zusammenhang mit einigen Eigenschaften der Pflanze wie der photosynthetischen Aktivität und der Wassernutzungseffizienz und geben Auskunft über die Reaktionsfähigkeit der Pflanze auf

umweltbedingte Einflüsse und Stressfaktoren wie die CO_2 -Zunahme in der Atmosphäre, den daraus folgenden Temperaturanstieg und den Trockenstress. Die Analyse dieser Faktoren anhand der Jahresringe gibt diese Entwicklung langfristig bzw. rückblickend auf die gesamte Lebensdauer einer Pflanze wieder.

Die Studie hat gezeigt, dass heutzutage die Fichtenwälder in beiden Testgeländen produktiver sind als früher: Wie aus Abbildung 25 hervorgeht, sind in gleich alten Beständen die jüngeren Pflanzen höher als die älteren.

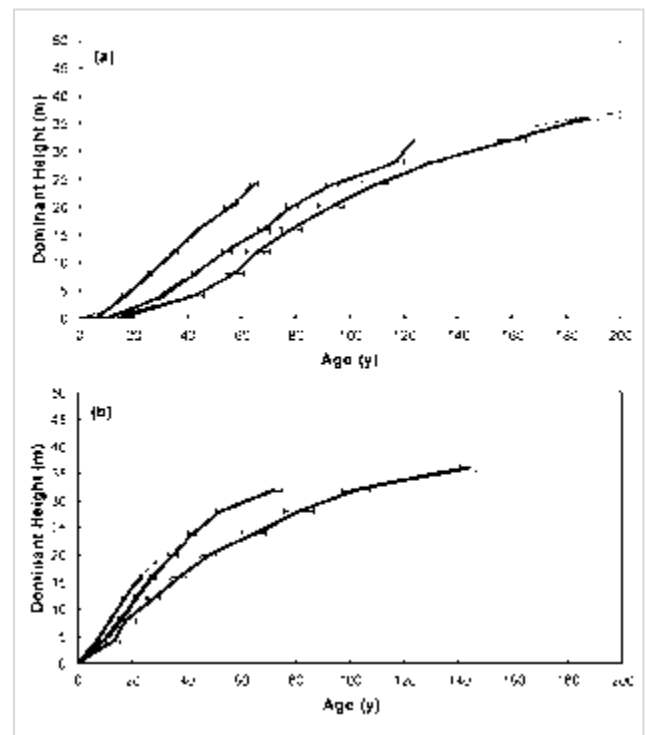


Abbildung 25: Verhältnis Höhe/Alter nach Klassen in den beiden Testgeländen

Die Untersuchung der Isotope hat zudem gezeigt, dass mit der Produktivitätssteigerung auch eine Steigerung der intrinsischen Wassernutzungseffizienz (iWUE) einhergeht. Letztere ergibt sich aus dem Verhältnis zwischen der Fähigkeit zur Kohlendioxid-Aufnahme durch die Photosynthese und dem von der Pflanze verbrauchten Wasser (Abbildung 26). Diese Steigerung geht besonders auf die bessere Fähigkeit der Pflanze zurück, die photosynthetischen Prozesse zu nutzen, vor allem dank der zunehmenden CO_2 -Konzentration in der Atmosphäre. Dies zeigt, dass die Fichtenwälder im Alpenraum zumindest bisher positiv auf den Klimawandel reagiert und dadurch ihre Produktivität bzw. ihre Fähigkeit, die zunehmende CO_2 -Konzentration in der Atmosphäre aufzunehmen, gesteigert haben.

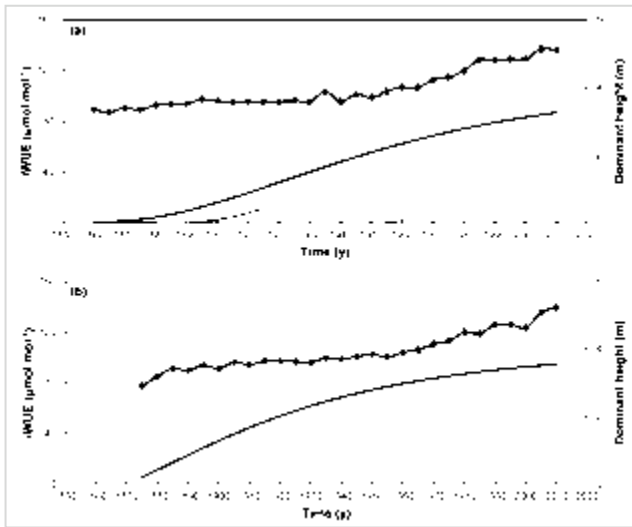


Abbildung 26: Entwicklung der iWUE im Laufe der Jahre und Produktivität in den beiden Testgeländen

Entwicklung von Instrumenten zur Untersuchung der Wälder und zur Schätzung der Waldbiomasse aus LiDAR-Daten

Giustino Tonon, Freie Universität Bozen

Mit der Abwanderung im ländlichen Raum nach dem zweiten Weltkrieg kam es im Alpenraum zu einem beschleunigten Waldwachstum. Die Wälder breiten sich auch auf Wiesen und Weiden aus, was starke Auswirkungen auf die verschiedenen Lebensräume mit sich bringt und eine ständige Überwachung des Zustands, der Zusammensetzung und der zunehmenden Fläche des Waldes erfordert.

Die Forstinventur stellt ein wichtiges Instrument bei der Verwaltung und Wertschätzung der Waldressourcen dar und gibt Auskunft über die räumliche und zeitliche Entwicklung der Vegetation. Grundsätzlich stammen die Daten für die Forstinventur aus Vor-Ort-Erhebungen sowie aus Statistiken für verfügbare Daten, was eine flächendeckende Erfassung im gesamten Verwaltungsgebiet ermöglicht.

In den letzten Jahren hat die satellitengestützte bzw. ferngesteuerte Datenerhebung auch im Forstbereich Fuß gefasst. Dies liegt neben der Kostengünstigkeit auch an der Möglichkeit, in relativ kurzer Zeit weitläufige Flächen zu erfassen. Die Verfügbarkeit von Daten mit unterschiedlicher Auflösung über Flächen mit unterschiedlicher Vegetation führte auch zur Suche nach neuen Algorithmen für ein gezielteres Umweltmanagement sowie für die Aktualisierung der Forstpläne.

LiDAR-Daten (Light Detection and Ranging) werden anhand eines an einem Flugzeug eingebauten Sensors

erhoben, welcher die Entfernung zwischen Flugzeug und Objekten auf der Erdoberfläche anhand der Lichtlaufzeit misst. LiDAR-Erfassungen bilden die Grundlage zur Identifizierung morphologischer Detailstrukturen der Erdoberfläche. Zu den wichtigsten LiDAR-Produkten zählen das digitale Terrainmodell (DTM) sowie das digitale Oberflächenmodell (DSM).

Im Zusammenhang mit der Waldbiomasse werden LiDAR-Daten anhand zweier Ansätze verwendet. Der erste geht von der Waldfläche aus (area based) und leitet Durchschnittsinformationen über statistisch homogene Flächen ab. Der zweite geht hingegen vom einzelnen Baum aus (single-tree) und ermittelt den Standort und die wichtigsten Eigenschaften der einzelnen Pflanze wie Höhe, Durchmesser, Art und Volumen.

Im Rahmen des Projektes MONALISA wurden drei verschiedene Algorithmen für die Extrahierung der einzelnen Bäume aus den LiDAR-Daten verwendet. Zwei davon basierten auf der Extrahierung von lokalen Maxima (LM) aus dem digitalen Oberflächenmodell und aus der groben Punktwolke, der andere stütze sich auf Bilderkennungs-techniken aus dem DSM. Das Output dieser Modelle besteht in einer Reihe von Punkten, welche die extrahierten Bäume mit Höhenangabe darstellen. Die drei Modelle wurden in ein automatisches Kalibrierungssystem integriert, das verschiedene Simulationen vornimmt und dabei die Parameter der Modelle so oft verändert, bis die optimale Lösung ermittelt ist. Am Ende jeder Simulation vergleicht die automatische Kalibriersoftware die aus den LiDAR-Daten extrahierten Bäume mit den innerhalb eines Testgeländes am Boden gemessenen und unterscheidet die korrekt extrahierten Pflanzen von jenen, die keiner realen Pflanze entsprechen sowie jene vor Ort erfassten von denen, die nicht von der Software extrahiert wurden. Die Parameter der Modelle aus der Kalibrierung können folglich für die Extrahierung von Bäumen auf weitläufigeren Flächen eingesetzt werden, in denen keine bodengestützte Erhebung möglich ist.

Die Algorithmen und das Kalibrierungssystem wurden in zwei Testgeländen eingesetzt: i) im Ahrntal, wo eine LiDAR-Erhebung mit 10 Pte/m² und eine Erhebung am Boden von 12 runden Plots mit 15 m Durchmesser durchgeführt wurden, wobei der Standort und die wichtigsten Eigenschaften jedes einzelnen Baumes gemessen wurden; ii) auf dem Hochplateau von Asiago, wo teilweise die Daten aus dem NEWFOR-Projekt auf 5 runden Plots mit 20 m Durchmesser mit manueller Erhebung aller Pflanzen verwendet wurden; die verfügbare LiDAR-Erhebung weist eine Auflösung von 11 Pte/m² auf. Beide Testgelände weisen unterschiedliche Waldarten und -typen auf: ein Nadelwald mit drei Waldstrukturen im Ahrntal und ein Laubwald mit zwei Waldstrukturen auf dem Hochplateau von Asiago.

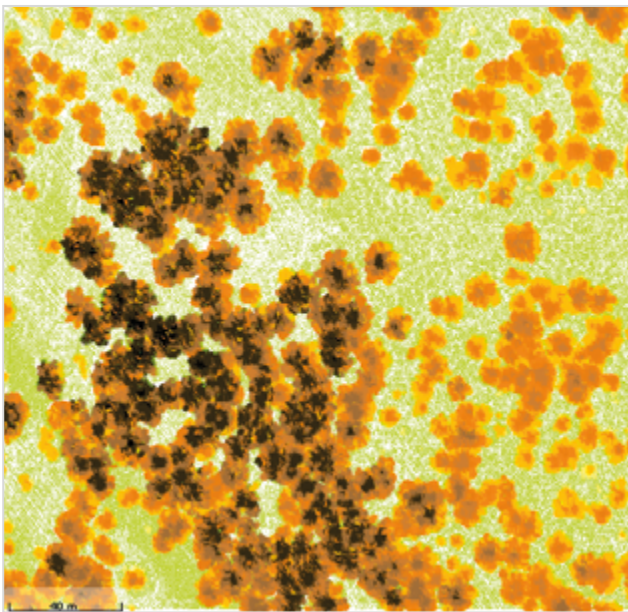
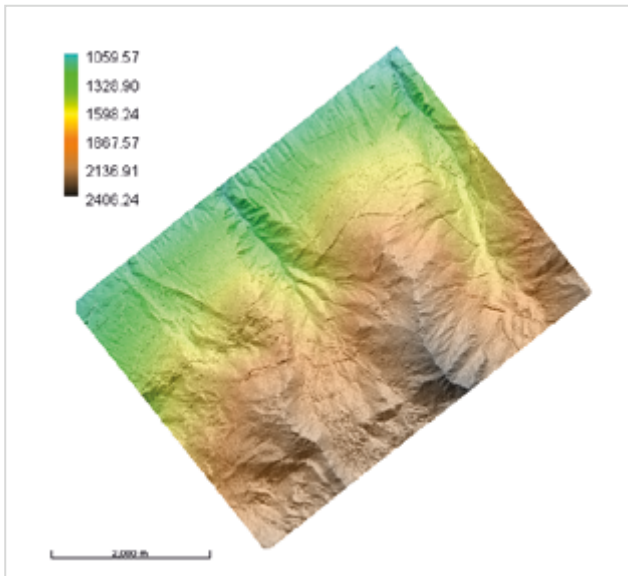


Abbildung 27: Digitales Terrainmodell (DTM) des Testgeländes im Ahrntal und Detailaufnahme der Punktwolke bei einem erstellten Plot.

Die Anwendung der entwickelten Modelle für die Extrahierung der einzelnen Pflanzen aus den LiDAR-Daten ergab in beiden Testgeländen vielversprechende Ergebnisse, die die bisher verfügbaren übertrafen. Der Anteil korrekt extrahierter Bäume liegt zwischen 70% und 80% bei den Nadelbäumen und zwischen 60% und 70% bei den Laubbäumen. In Anbetracht des Biomassenvolumens weicht das extrahierte Gesamtvolumen in beiden Testgeländen nur in geringem Maße von dem am Boden erhobenen mit einer leichten Überschätzung ab, welche bei den Laubbäumen etwas höher ist. Das Volumen der korrekt extrahierten Bäume allein schwankt zwischen 70% und 90% bei den Nadelwäldern bzw. zwischen 65% und 80% bei den Laubwäldern.

Ein mobiles Labor für kleinräumiges Vegetationsmonitoring

Fabrizio Mazzetto, Raimondo Gallo, Gianluca Ristorto, Renato Vidoni, Freie Universität Bozen

Beim *kleinräumigen Vegetationsmonitoring* werden Fernerkundungstechnologien für die teilflächenspezifische Beobachtung der Vegetation auf kleinräumigen Anbauflächen angewendet. Zusammen mit dem *operativen Monitoring* gehört es zu den wichtigsten Bestandteilen der sogenannten Präzisionslandwirtschaft, vor allem unter Einsatz von automatisierten und computergestützten Systemen. Auf teilflächenspezifischer Ebene wird das kleinräumige Vegetationsmonitoring auch als „*elektronisches Scouting*“ bezeichnet, was auf die Möglichkeit hinweist, die Bodenprobe eines Fachmanns durch automatisierte Methoden zu ersetzen. Letztere können mitunter auch bestimmte Eigenschaften der Pflanzen erkennen, die dem menschlichen Auge verborgen bleiben. Diese Art von Monitoring spielt folglich eine entscheidende Rolle bei der Umsetzung fortschrittlicher Managementformen, die durch neue, gezielte *elektronische Systeme* den landwirtschaftlichen Betrieben vorgeschlagen werden können. Das Augenmerk beim Monitoring richtet sich nun vermehrt von der Umwelt auf das *Management*, weil die Ergebnisse unmittelbar nach deren Erhebung vom einzelnen Betrieb bei Entscheidungen bezüglich der vorstehenden Maßnahmen für die bestehenden Kulturen miteinbezogen werden.

Im Wein- und Obstanbau kommt dieser innovativen Methode aufgrund der Reihensysteme noch größere Bedeutung zu. Diese erfordern nämlich eine senkrechte Entwicklung der Kronenüberschirmung (*canopy*) der Oberschicht der fruchttragenden Baumkrone. Hierbei werden die RS-Anwendungen auch als *Proximal Sensing* (aufgrund des reduzierten Abstandes zwischen Sensor und Beobachtungsobjekt) oder sogar *Ground Sensing* genannt, wobei die Sensoren an sich zwischen den Reihen bewegenden Fahrzeugen angebracht sind. Dieser Ansatz ermöglicht zweierlei: 1) die Durchführung von *side-view*-Untersuchungen mit umfassenderen Ansichten der fruchttragenden Organe in der Senkrechten der Reihen, welche durch *top-view*-Untersuchungen anhand konventioneller RS-Anwendungen in der Regel nicht durchführbar sind; 2) die Erhebung von Detailansichten der einzelnen Organe der Pflanze, die künftig bei automatisierten, ortsspezifischen Prozessabläufen am Feld (Behandlungen, Schnitt, Kappung und Ernte) eingesetzt werden könnten.

Zu diesem Zweck hat das Labor für land- und forstwirtschaftliche Innovation der Freien Universität Bozen im Rahmen des Projektes MONALISA ein hochmodernes mobiles Labor entwickelt, das kleinräumiges Vegetationsmonitoring mit *Ground Sensing*-Methoden in Obstwiesen (Abb. 28) durchführen kann.

Diese Lösung mit dem Namen **ByeLab** (*Bionic eYe Labora-*

toy) besteht aus einem integrierten Monitoringsystem, das in ein ferngesteuertes Raupenfahrzeug eingebaut ist. Letzteres kann sich selbst bei ungünstiger Bodenbeschaffenheit (Schlamm, Steilheit, Unebenheiten) problemlos zwischen den Baumreihen bewegen. Das System wurde so entwickelt, dass es *side-view*-Erhebungen auf verschiedenen Detailebenen durchführen kann, die bezüglich Bildwiederholrate und Fahrgeschwindigkeit unterschiedlich eingestellt werden können. Potentiell können die Erkennungen bis auf Fruchtebene reichen, was im Hinblick auf künftige, automatisierte Prozesse bei der Ernte von Bedeutung sein könnte. Verwendet werden dabei Daten verschiedener optischer Sensoren (multispektral und LiDar), um grundlegende Informationen zusammenzuführen, anhand derer eventuelle Pflanzenstressarten sowie Form und Volumen der angebauten Pflanzen festgestellt werden können. Die von diesem bionischen Auge „gesehenen“ Informationen werden mit Daten aus einem hochpräzisen Positionsbestimmungssystem zusammengeführt und ermöglichen es, den Gesundheitszustand der Pflanzen mit unterschiedlicher Auflösung zu kartieren und dabei gegebenenfalls kranke Pflanzen zu erkennen.

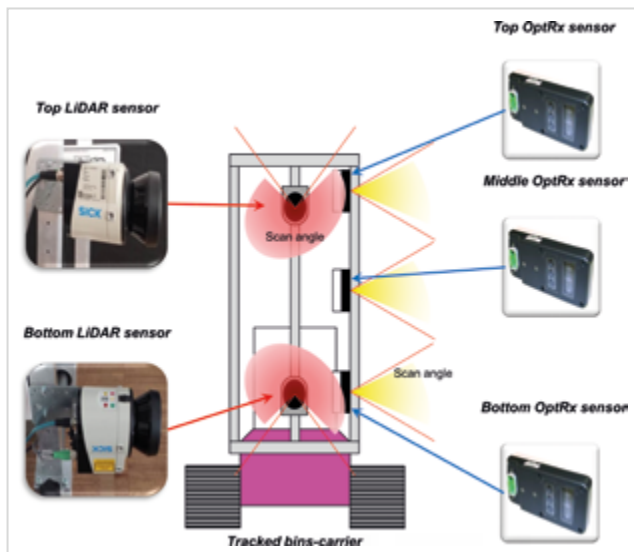


Abbildung 28: Konstruktionsschema des Prototyps ByeLab, das für Ground-Sensing-Erhebungen im Bereich des kleinräumigen Vegetationsmonitorings in Obstwiesen und Weinbergen entwickelt wurde. Es handelt sich um ein mobiles Labor bestehend aus einem Gerüst auf einem elektrischen, ferngesteuerten Raupenfahrzeug. Das System führt *side-view*-Erhebungen durch, indem es sich problemlos zwischen den Pflanzenreihen bewegt. Seine optischen Sensoren erfassen direkt die Senkrechte der Baumkronen (canopy). Am Gerüst sind 3x2 optische, multispektrale Pulslicht-Sensoren angebracht (d. h. die Lichtreflexion wird anhand der Lichtstrahlen gemessen, die direkt von den Sensoren ausgehen und folglich nicht kalibriert werden müssen). Zwei entgegengesetzte LiDar-Sensoren des Typs „top-botom“ ermitteln die Entfernung zwischen den Sensoren und den Pflanzenorganen. Diese beiden Sensoren ermöglichen stereoskopische Aufnahmen der Organe. Durch die Kombination dieser Abstände mit jenen aus angrenzenden Reihen erhält man anhand der Differenz zu den Abständen zwischen den Reihen das Volumen der Kronenüberschirmung (canopy).

Somit kann der Landwirt umgehend eingreifen und das Problem beheben. Durch die Datenverarbeitung werden 2D- und 3D-Karten des überwachten Grundstücks erstellt und historische Daten über den Gesundheitszustand der Kulturen gesammelt.

Das ByeLab kam sowohl im Labor als auch bei Felderhebungen zum Einsatz. Die Labortests sollten Folgendes ausarbeiten: a) die Hardware-Komponenten des Erhebungs- und Auswertungssystems der Daten; b) die Auswirkungen der Vibrationen, die aufgrund der untersuchten Unebenheiten am Boden entstanden; c) die Algorithmen zur Interpretation dieser Auswirkungen mit besonderem Augenmerk auf die Karten vom Gesundheitszustand sowie die vorläufige Diagnose eventueller Krankheitsherde mit Angabe des Schweregrades der Erkrankung. Die Tests ergaben, dass herkömmliche Vibrationen, welche auf landwirtschaftlichem Boden entstehen, die analytischen Fähigkeiten des Systems kaum beeinflussen. Zudem sind die eingesetzten optischen Sensoren lediglich im Stande, den Gesundheitszustand der Pflanze (der in engem Zusammenhang mit der Ausdehnung der Blattfläche und des Chlorophyllanteils steht) äußerlich zu „betrachten“, ohne dabei genauere Informationen über die Ursachen eventueller Normabweichungen zu liefern. Dieses System funktioniert wie ein Thermometer, das die Körpertemperatur misst: Der Sensor meldet einen Temperaturanstieg an, gibt jedoch keine Auskunft darüber, ob es sich um Erkältung oder Bronchitis handelt. Beim ByeLab erfolgt das Fiebermessen durch die integrierte Interpretation der Daten über das Volumen der Kronenüberschirmung (geliefert von den zwei LiDar-Sensoren) und dem NDVI (geliefert von den 6 multispektralen Sensoren, welche die Reflexion der Vegetationsgewebe in unterschiedlichen Wellenlängen messen). Eine Kombination aus dichter Kronenüberschirmung und hohem NDVI weist auf einen guten gesundheitlichen Zustand hin, während weniger dichte Volumen und ein niedriger NDVI auf Leerräume innerhalb der Baumkrone deuten. Ein schlechter Gesundheitszustand zeichnet sich in der Regel durch die Kombination von dichtem Volumen und niedrigerem NDVI aus. Dieser vereinfachte Ansatz hat sich bei den Tests als durchaus wirksam erwiesen und entsprach unseren Erwartungen in vollem Umfang. Nicht zuletzt muss eine Vielzahl an Daten in kurzer Zeit ausgearbeitet werden, vor allem wenn das ByeLab auf weitläufigen Flächen eingesetzt wird (Abb. 29).

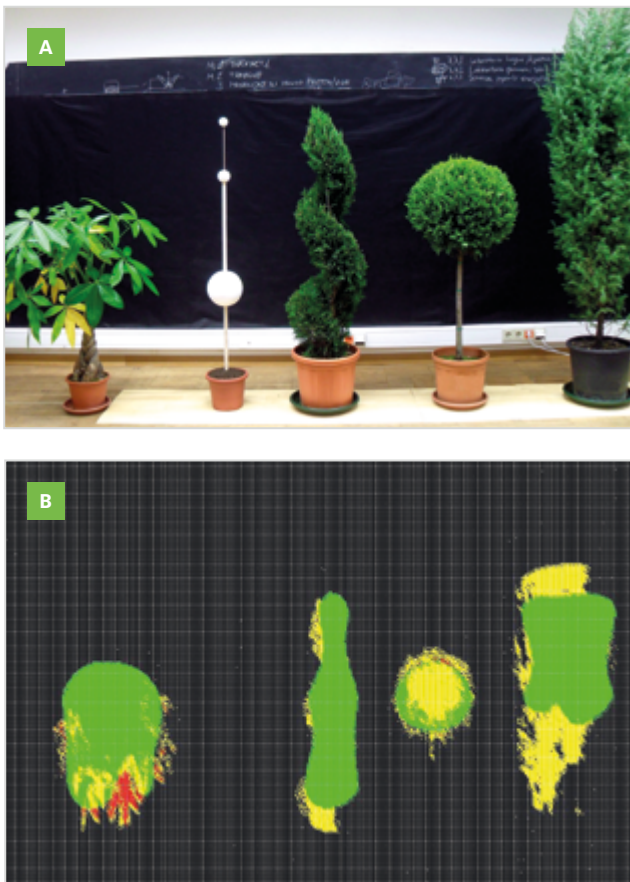


Abbildung 29: Ergebnisse von Labortests mittels ByeLab. Hierbei wurden Pflanzen unterschiedlicher Form (A) verwendet, um die Fähigkeit der eingesetzten optischen Sensoren bei der Erkennung von Unterschieden in der Krone und deren Gesundheitszustand zu testen. Die Ergebnisse sind grafisch mit Falschfarben (B) dargestellt. Die drei Farbklassen verdeutlichen Folgendes: i) einen guten Gesundheitszustand mit voll ausgebildeter Vegetation und gutem physiologischem Zustand (grün); ii) einen labilen Gesundheitszustand mit potentiellen Stresssymptomen im Anfangsstadium oder mit besonders lichter Krone (gelb); iii) einen kritischen Gesundheitszustand, welcher wahrscheinlich auf Nekrosen oder Erkrankung zurückzuführen ist (rot). Man betrachte dazu die erste Pflanze von links: Das ByeLab hebt diese Stresserscheinungen im unteren Bereich der Pflanze hervor, obwohl der restliche Teil der Krone vollkommen gesund erscheint. Nicht pflanzliche Strukturen werden vom System nicht erfasst (weiße geometrische Figuren im zweiten Topf von links), genauso wie die Holzstämme ohne Chlorophyllgehalt. Die dritte Pflanze von links weist zwar äußerlich einen guten Gesundheitszustand auf, wurde aber Wasserstress ausgesetzt. Die erste Pflanze von rechts zeigt einen gemischten Zustand: sie ist zwar kräftig, weist jedoch im oberen und unteren Bereich der Krone lichte Stellen auf.



Abbildung 30: Das ByeLab im Einsatz bei Felderhebungen

Die Felderhebungen mittels ByeLab haben diese Ergebnisse nochmals bestätigt. Die Tests wurden sowohl in Südtirol in den Apfelwiesen der Fragsburg, Schluderns und Pfatten vom Versuchszentrum Laimburg (Abb. 30) als auch in einigen Weinbergen in der Provinz Alessandria, auf deren Anfrage hin in Zusammenarbeit mit der Università del Piemonte Orientale, durchgeführt. Letztere zeigte großes Interesse an den Entwicklungen des Projektes MONALISA über die mögliche Erkennung von typischen Krankheiten wie der Esca-Krankheit und der goldgelben Vergilbung. Untersucht wurden sowohl kleinere Teilflächen als auch ganze Flurstücke. Durch die Erhebungen konnte das Datenerfassungssystem im Feldeinsatz optimiert werden, auch dank dem Ausbau der *acquisition board*, welche in Zusammenarbeit mit der Universität von Udine entwickelt wurde. Hierbei galt es, den Knospenbestand in den Apfelwiesen im Hinblick auf ortsdifferenzierte – sofortige oder spätere – Auslichtungseingriffe zu ermitteln, sowie die Durchführbarkeit der Auswertung aufgrund der erheblichen Dantemenge festzustellen. Die Ergebnisse über den Knospenbestand stimmten größtenteils mit den NDVI-Werten überein: Die maximalen NDVI-Werte bei Apfelblüten betragen im Vergleich zur Baumkrone derselben Sorte mit dichtem Blattbestand in der Regel 20-25% weniger. Demnach können spät – und bei dichtem Blattbestand – durchgeführte Erhebungen eine objektive Schätzung des

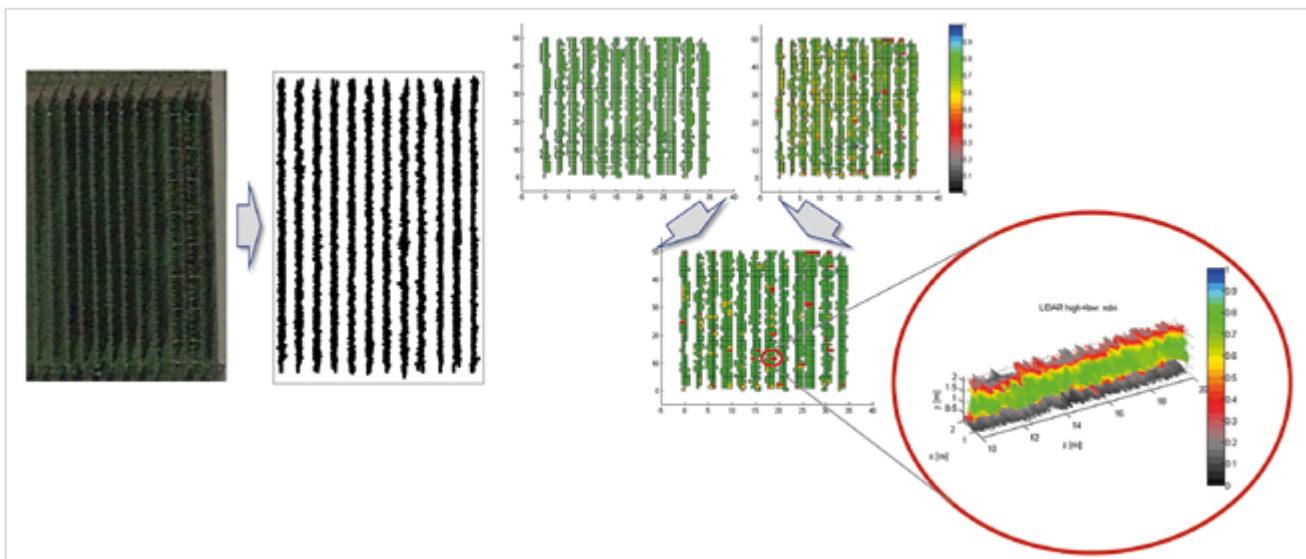


Abbildung 31: Kleinräumiges Vegetationsmonitoring auf dem Feld. Die Erhebungen werden in 2D- und 3D-Karten veranschaulicht. Im ersten Fall werden georeferenzierte Themenkarten erstellt, die in der Regel den Gesundheitszustand der Pflanze veranschaulichen. Erarbeitet werden diese entweder auf vorbestimmten Kronenhöhen oder in Bezug auf Höhenschichten, aus denen sich Durchschnittswerte ergeben (z. B.: fruchttragende Schichten). 3D-Darstellungen können hingegen nur von begrenzten Räumen erstellt werden, für die spezifischere Informationen notwendig sind.

Blattbestandes beeinträchtigen. Frühzeitige Monitoring-tätigkeiten können hingegen nützliche Themenkarten liefern, um Auslichtungseingriffe zu planen. Zusammenfassend hat sich das ByeLab als nützliches Instrument für hochpräzise Überwachungsaktivitäten auf engstem Raum erwiesen. Die damit generierten 2D- und 3D-Themenkarten auf unterschiedlichen Skalen zeigten kritische Stellen auf, in denen gezieltere und spezifischere Erhebungen durchgeführt werden konnten (Abb. 31). Für die reelle Implementierung und Nutzung dieser Technologie muss nun in zweierlei Hinsicht weitergeforscht werden: Einerseits gilt es, Lösungen für schnellere und weniger detaillierte Erhebungen mit kostengünstigeren, wartungsfreien Instrumenten zu entwickeln, welche direkt an den Traktoren auf den Feldern eingebaut werden können. Andererseits müssen die herkömmlichen Probleme im Zusammenhang mit *Big Data* gelöst werden, wobei komplexere und ausgefeilte Technologien zur Datenerhebung und -auswertung durch eigene Dienstleistungszentren zur Verfügung gestellt und verwaltet werden sollten.

Beregnung: weniger ist mehr

Wenn im Frühling die Messstationen des Südtiroler Beratungsringes Temperaturen um null Grad registrieren, erhalten die Bauern eine Warnmeldung und schalten die Beregnungsanlagen ein, um die frischen Knospen zu schützen und Frostschäden vorzubeugen. Die Frostwarnung ist

einer der Warndienste des Südtiroler Beratungsringes für seine Mitglieder, über 6.800 Apfel-, Wein-, Kirschen- und Aprikosenbauern im ganzen Land.

Um seinen Mitgliedern immer genauere Informationen bieten zu können, hat der Beratungsring das Team von MONALISA mit einer spezifischen Anfrage aufgesucht: Das Team sollte anhand reell ermittelter Messdaten die Einschätzungen seiner Techniker bestätigen, um die Empfehlungen an die Bauern bezüglich Menge und Zeitpunkt der Beregnung genauer und gezielter zu definieren. Das Institut für Alpine Umwelt von Eurac Research hat daraufhin ein Sensornetzwerk zur Messung der Bodenfeuchte installiert. Besagte Sensoren wurden auch dank der Mitfinanzierung durch Umweltinvestitionen der Wasserkraftwerke ins Temperaturüberwachungssystem des Beratungsringes eingebaut. Im Etschtal wurden zwischen Salurn und Schlanders 19 Messstationen mit über 40 Sensoren ausgerüstet. Die von Eurac Research an diesen Stationen gemessenen Daten wurden mit jenen des Beratungsringes synchronisiert. Beide Einrichtungen arbeiten an der Entwicklung eines Warnsystems, welches die Bauern über kritische Schwellenwerte der Bodenfeuchte informiert. Dieser Dienst verfolgt zweierlei Ziele: Einerseits den Schutz der Pflanzen und damit der Qualität der Ernte, andererseits die Sensibilisierung der Bauern gegenüber dem Thema Wassereinsparung. Oft schalten die Landwirte die Beregnungsanlagen während des gesamten Konzessionszeitraumes ein und gehen dabei eher von der Wasserverfügbarkeit aus als vom tatsächlichen Bedarf. Die Forscher sind davon überzeugt, dass durch die Überwachung der Bodenfeuchte in manchen Apfelanlagen der Wasserverbrauch bei gleichbleibender Qualität um die Hälfte reduziert werden könnte. Um dieses Ziel zu erreichen, beabsichtigen die Forscher von Eurac Research, das Überwachungsnetz auch auf andere Teile des Landes mit unterschiedlicher Bodenzusammensetzung und Sonneneinstrahlung auszuweiten.

DIE AUTOMATISIERUNG DES OPERATIVEN MONITORINGS UND DIGITALE BETRIEBSHEFTE

Fabrizio Mazzetto, Raimondo Gallo, Freie Universität Bozen

In diesem Kapitel: Eine konstante Aufzeichnung der tatsächlich vorgenommenen Maßnahmen in Forst- und Landwirtschaft – langweilig! Wer macht denn sowas? Und vor allem: Muss man das überhaupt? Die Antwort auf letztere Frage sollte auf jeden Fall ja heißen. Und zwar aus zwei Gründen: Erstens sind formelle Aufzeichnungen sowohl auf europäischer als auch auf nationaler Ebene gesetzlich vorgeschrieben, vor allem im Zusammenhang mit dem Einsatz potentiell verschmutzender oder giftiger Produkte (organische Düngemittel, Pflanzenschutzmittel). Darüber hinaus geht eine zielgerichtete und erfolgreiche Verwaltung der landwirtschaftlichen Maßnahmen mit der Festhaltung sämtlicher Eingriffe einher bzw. hängt davon ab. Denn nur wenn man den Überblick bewahrt, kann man eventuelle Fehler wahrnehmen und später vermeiden, um die Arbeit künftig besser planen und die Produktionskosten genauer definieren zu können. Somit wird auch eine Rückverfolgbarkeit von Prozessen und Produkten gewährleistet. Kurzum, betriebliche Aufzeichnungen zählen zu den grundlegenden Voraussetzungen für eine zielgerichtete Verwaltung der Produktionsprozesse. „Qualität“ bedeutet zuallererst „Information“. Durch die automatische Informationserhebung kann auch in Land- und Forstwirtschaft ein Qualitätssystem entwickelt werden. Voraussetzung dafür ist jedoch die Verfügbarkeit hochmoderner, computergestützter Technologien und Arbeitsmethoden. Genau damit hat sich dieser Teil des Projektes MONALISA befasst. Operatives Monitoring umfasst sämtliche Tätigkeiten, die zur Beobachtung, Erfassung und Dokumentierung der wichtigsten Informationen notwendig sind, welche zu einem späteren Zeitpunkt einen umfassenden Überblick über die Art und Weise der Eingriffe in den Bereichen Viehhaltung, Land- und Forstwirtschaft schaffen. Tätigkeiten im Rahmen des operativen Monitorings sind äußerst komplex. Nicht das Monitoring selbst stellt die größte Herausforderung dar, diese liegt vielmehr in der systematischen Planung der Registrierung unregelmäßig wiederkehrender Maßnahmen, welche oft zeitverschieben vorgenommen werden müssen und in der Regel in weitläufigem Gelände verteilt sind. Aus diesem Grund kann der Arbeitsfortschritt nicht direkt überprüft werden.

Diese Art von Monitoring befasst sich eher mit Erkennungsprozessen als mit Messprozessen. Um eine Maßnahme gänzlich zu rekonstruieren, muss nämlich Folgendes ermittelt werden: 1) zeitgebundene Angaben (Datum und Dauer), 2) die wichtigsten involvierten Akteure: Zugmaschine, Bearbeitungsmaschine (d. h. durchgeführte Arbeit), durchführende Person (aus Da-

tenschutzgründen nicht obligatorisch), 3) Arbeitsort, 4) Arbeitsaufwand, 5) Art und Weise der Durchführung (d. h. Festlegung der Arbeitsphasen), 6) Verbrauch von Treibstoff und eventuell eingesetzte Materialien (gesammelt oder verteilt).

Daraus lässt sich schließen, dass die **computergestützte Rückverfolgung einer Maßnahme** die Verwaltung eines beliebigen betrieblichen Informationssystems grundsätzlich erleichtert, vor allem im land- und forstwirtschaftlichen Bereich. Die Reihenfolge der Tätigkeiten einer umgesetzten Maßnahme kann als Rahmen für viele weitere Arten von betrieblichen Informationen dienen und stellt nebenbei das „**historische Gedächtnis**“ des Betriebes dar.

Heute kann operatives Monitoring durch den Einsatz von *digitalen Betriebsheften* automatisiert werden. Es handelt sich hierbei um elektronische Register, anhand derer die Betriebsabläufe nachvollziehbar durch die teilweise oder vollständige Erkennung der involvierten Akteure unterschiedlich detailliert zurückverfolgt werden können. Je nach regelmäßig im Archiv der Betriebsinformationen gespeicherten Daten, findet man darin einfache Tätigkeitslisten mit entsprechender Zeitangabe oder aber animierte Grafiken in Digitalkarten für jede einzelne Maßnahme und deren Ablauf.

Die verwendbaren Speicherungssysteme für die Digitalisierung des operativen Monitorings können technologisch unterschiedlich komplex sein (**Abb. 32**). Mittlerweile unerlässlich ist heutzutage ein Positionsbestimmungssystem, das kostengünstig und unkompliziert umfassende Informationen liefert und mit weiteren Vorrichtungen ausgestattet werden kann, um eine umfassendere Auskunft über die einzelnen Maßnahmen zu geben. Bei den umfassendsten Systemen kommen auch automatische Naherkennungsprozesse zum Einsatz: Eigens ausgestattete Traktoren und andere Maschinen dienen als Erkennungssysteme (für die Datenspeicherung) bzw. als zu erkennende Objekte. Wenn Erkennungssysteme eingesetzt werden, spricht man von Betriebsheften mit autonomer Erkundung. Ohne ein derartiges System handelt es sich um Betriebshefte mit unterstützter Erkundung (die Maßnahme muss händisch von einem Arbeiter eingegeben werden).

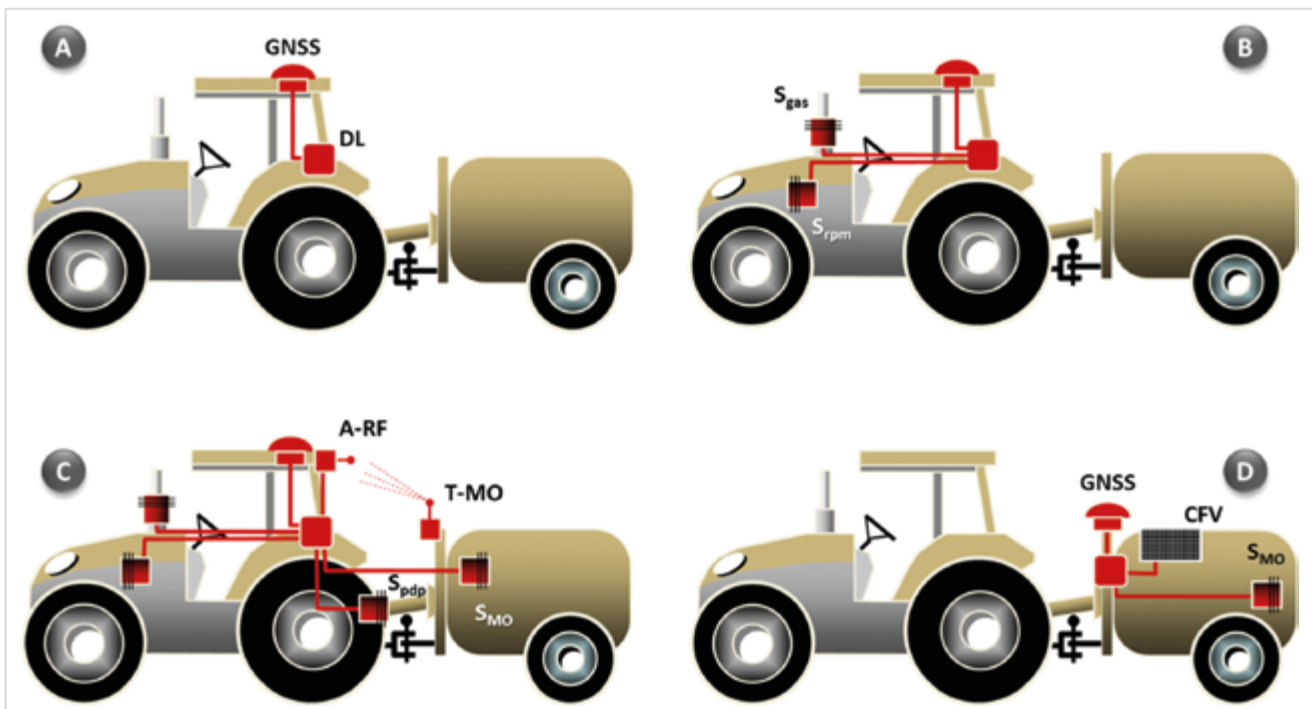


Abbildung 32: Potentieller Aufbau von Datenerhebungssystemen zur Automatisierung des operativen Monitorings. Die Lösungen A, B und C sind vom Typ Tractor-oriented, wobei die Erhebungsinstrumente am Traktor installiert sind. Die Lösung D ist vom Typ Implement-oriented, da die Instrumente direkt an der Bearbeitungsmaschine installiert sind. Die Lösung C ist mit einem System zur autonomen Erkennung der Eingriffe ausgestattet. Im Rahmen des Projektes MONALISA wurden vor allem Lösungen des Typs B (Waldmonitoring) und C (Monitoring in Obstwiesen und Weinbergen) entwickelt.

DL = Datenlogger; GNSS = Empfänger für Positionsbestimmungssystem; SX = Sensoren zur Auskunft über den Betrieb des Traktors (Drehzahl, Abgastemperatur, pdp) oder der Bearbeitungsmaschine; T-MO = Sender des Identifizierungscodes der Bearbeitungsmaschine (in RF); A-RF = Empfänger, welcher den gesendeten Code entschlüsselt; CFV = Photovoltaikzellen.

historisches Archiv und sind ein grundlegender Bestandteil der **Präzisionsland- und Forstwirtschaft**. Durch die Projektergebnisse wurden verschiedene *Hardware- und Softwareprodukte* entwickelt, die im Idealfall zu einem einzigen System zusammengeführt wurden und in **Abb. 33** schematisch dargestellt sind.

Im Rahmen des Projektes MONALISA wurden neue Lösungen für operatives Monitoring in land- (Obst- und Weinbau) und forstwirtschaftlichen Betrieben entwickelt. Wie bereits erwähnt, stehen beim teilflächenspezifischen Monitoring (Feld oder Parzelle) vor allem verwaltungstechnische Aspekte im Vordergrund, welche modulartig in ein einziges betriebliches Informationssystem integriert werden können. In dieser Hinsicht besteht das Hauptziel in der Entwicklung hochmoderner *Informationsmanagementsysteme*, welche der Betriebsführung als Entscheidungshilfe dienen und ein Register zur Verfügung stellen, in dem sämtliche tatsächlich durchgeführte Maßnahmen gespeichert und bei Bedarf jederzeit abrufbar sind. Ein derartiges System benötigt keinen Verantwortlichen für die Dateneingabe, wodurch potentielle Fehler bei der Eingabe vermieden werden können und die Monitoringverfahren reibungsloser, effizienter und schneller werden. Zudem bilden die gespeicherten und verwalteten operationellen Informationen eine Art

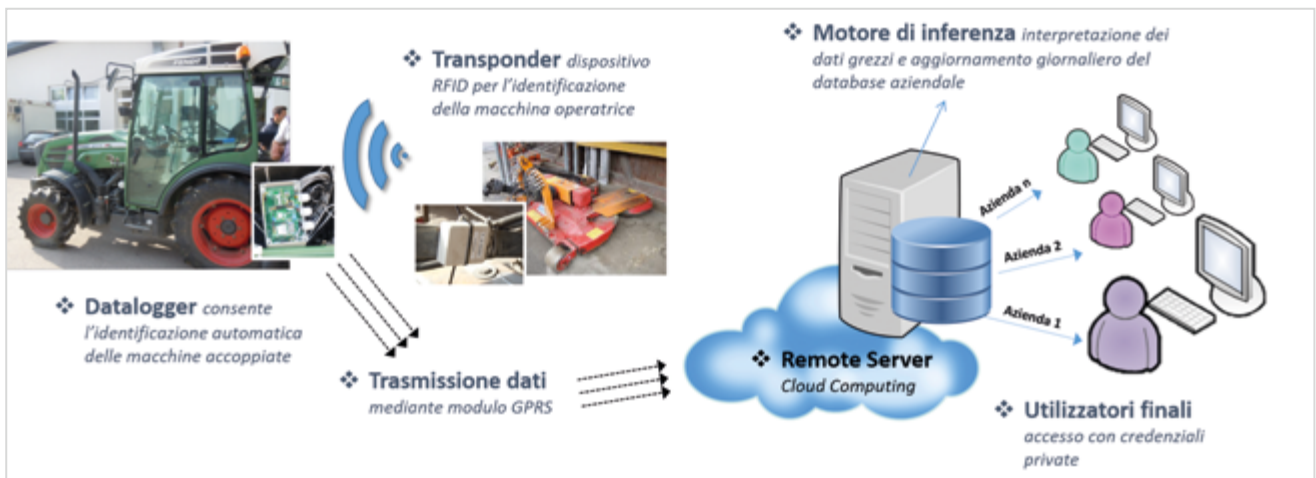


Abbildung 33: Allgemeine schematische Darstellung eines automatisierten operativen Monitoringsystems für land- und forstwirtschaftliche Betriebe. Die auf dem Feld eingesetzten Maschinen sind mit **Datenloggern** ausgestattet, welche sowohl die (mit entsprechendem Erkennungssystem ausgerüstete) Bearbeitungsmaschine erkennen als auch die wichtigsten operativen Parameter speichern können, welche für die umgesetzten Maßnahmen aussagekräftig sind. Die Daten werden dann über **Wireless-Verbindung** (UMTS/GPRS) an einen Remote-Server gesendet, welcher **Cloud Computing-Leistungen** bereitstellt. Die Datenauswertung sowie die Berichterstellung werden zentral von einer **Inferenzmaschine** übernommen. Die Maschinen können zu unterschiedlichen Betrieben gehören, welche jeweils über eigene Zugangsdaten zur Abrufung ihrer Informationen verfügen. Ermöglicht wird dies durch einen eigens dafür vorgesehenen **Webclient**, welcher die wichtigsten Details über die durchgeführten Tätigkeiten zur Verfügung stellt. Somit entstehen für jeden Betrieb **Betriebshefte** ohne direkte Eingabe der Daten durch die eigenen Mitarbeiter.

Beim Einsatz von Traktoren bzw. selbstfahrenden Maschinen wurden die Prozessdaten durch an der Maschine eingebaute Datenlogger gespeichert, deren Charakteristiken der Lösung aus Fig. MO1C ähnlich sind. Dadurch dienen die Traktoren auch als Erkundungssystem für die Bearbeitungsmaschinen, da letztere automatisch anhand eingebauter Funksender (oder *Transponder*) identifiziert werden. Sämtliche Geräte werden durch die Wahrnehmung von Vibrationen mittels einfacher interner Beschleunigungssensoren *automatisch aktiviert*. Somit werden einerseits alle notwendigen Daten vollständig gespeichert, so wie es bei Betriebsheften wünschenswert ist, andererseits ermöglicht es diese Technologie, bei den Batterien der Funksendegeräte an den Bearbeitungsmaschinen zu sparen, welche nicht direkt von den Traktorbatterien angetrieben werden.

Die erhobenen Daten werden zunächst auf dem internen Speicher des Datenloggers mit bis zu 100 Stunden Speicherintervall aufgezeichnet. Die Geräte sind jedoch zusätzlich mit einem UMTS/GPRS-Modem für die konstante Datenübertragung auf einen Remote-Server ausgestattet. Somit ist das gesamte System stets mit einem Auswertungsrechner in einem **Dienstleistungszentrum** verbunden. Sämtliche erhobene Daten unterschiedlicher Art werden in einem einzigen Satz eingeordnet, welcher

nach einem festgelegten *Registrierungsprotokoll* aufgebaut ist. Dabei wird ein Satz alle 5 Sekunden registriert, was der höchsten Auflösung des Systems entspricht. In Anbetracht der schlechten Netzabdeckung in ländlichen Raum und in Berggebieten wurde die Synchronisierung zwischen den Geräten auf dem Feld und dem Server optimiert, um den Datenverlust möglichst gering zu halten. Der Datalogger überprüft die Netzabdeckung und überträgt die Informationen bei genügender Kapazität vom internen Speicher durch *Kommunikationseinheiten* zu je 10 Sätzen auf den Server. Eigens dafür vorgesehene Kontrollverfahren überprüfen die Vollständigkeit jeder Übertragung. Bleibt eine Übertragung erfolglos, wird diese fünfmal pro Minute so lange wiederholt, bis der Kommunikationsfehler behoben ist. Falls das Problem nicht gelöst wird, stellt der interne Speicher des Dataloggers die Daten sicher.

Nach der Speicherung auf dem Server werden sämtliche Primärdaten in einer zentralisierten Datenbank gespeichert, welche anhand einer **Inferenzmaschine** durch gemeinsame Vorgehensweisen die darauffolgende Ausarbeitung automatisch steuert. Hierbei handelt es sich um verschiedene Verfahren, welche sich auf mathematische, statistische und räumliche Algorithmen stützen, anhand derer die auf dem Feld erhobenen Primärdaten untersucht und ausgewertet werden. Diese sollen Auskunft über die durchgeführten Maßnahmen geben, um als Entscheidungshilfe für weitere Eingriffe zu dienen (**Abb. 34**). Die Ergebnisse fließen folglich bei der automatischen Erstellung der Berichte über die auf dem Feld durchgeführten Eingriffe mit ein: aufgrund dieser Berichte können künftige Entscheidungen getroffen werden.



Abbildung 34: Beispiel für die Anwendung der **Inferenzmaschine** für operatives Monitoring von Fungizidbehandlungen in Obstwiesen. Ziel ist es, die während einer Arbeitssitzung durchgeführten **Tätigkeiten verschiedener Art** im Zusammenhang mit der entsprechenden **Ausführungsmethode** (Arbeitsphase, Dauer und Treibstoffverbrauch) zu untersuchen.
A: Jedes einzelne Fixing entspricht dem kleinsten Arbeitsschritt des Eingriffs; die Reihenfolge der Arbeitsschritte auf der Karte stellt den gesamten Arbeitsprozess dar.
B: Jeder Arbeitsschritt wird nach den Parametern, welche die momentane Geschwindigkeit und Richtung erheben,

vorerst als **tatsächliche Arbeit, Pause** oder **Fortbewegung** eingestuft.
C: Eine weitere Untersuchung stützt sich auf die räumliche Eingrenzung der verschiedenen Arbeitsschritte und definiert die Flächen, auf denen angrenzende parallele Durchgänge durchgeführt wurden. Die darauffolgende Clusterbildung ermittelt die entsprechenden Flächen, welche mit den vorregistrierten Anbauflächen (**crop units**) verschnitten werden.
D: Zuletzt berechnet ein weiteres Verfahren, inwiefern die durchgeführte Arbeit innerhalb einer Arbeitssitzung die einzelnen im Vorfeld ermittelten Anbauflächen abdeckt.

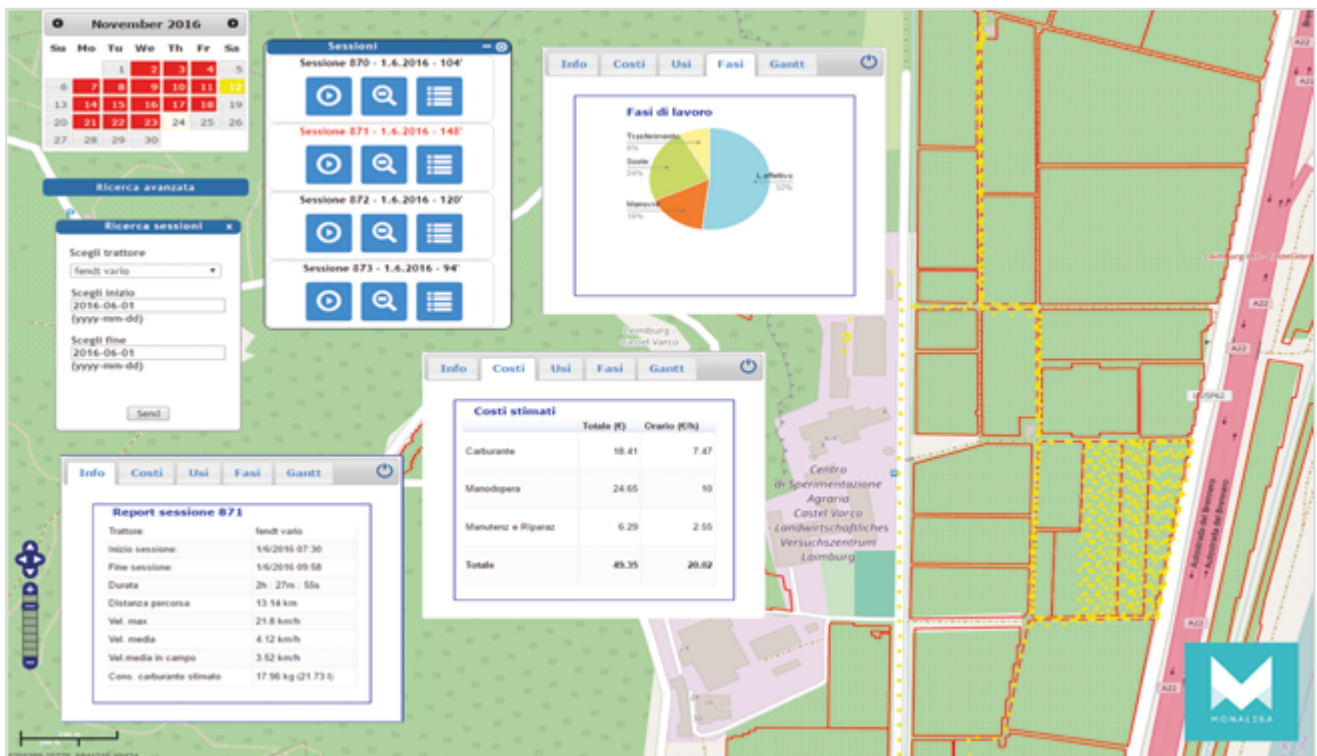


Abbildung 35: Beispiel einer grafischen Darstellung anhand der letzten Version der Webanwendung, welche im Rahmen des Projektes MONALISA entwickelt wurde und zur Abrufung von automatisch durch operatives Monitoring generierten Informationen dient. Tatsächlich ermöglicht diese Anwendung den Zugang zu einem entfernten betrieblichen Informationssystem, das künftig von einem Dienstleistungszentrum aus gesteuert werden könnte. Diese Anwendungen müssen Instrumente für die Benutzung digitaler Karten (GIS) unterstützen, welche kartografische Darstellungen aus mehreren Layern (d. h. auf mehreren Informationsebenen mit einem eigenen thematischen, georeferenzierbaren Schwerpunkt) ermöglichen. Die Abrufung erfolgt in der Regel für einzelne Arbeitssitzungen. Das Beispiel bezieht sich auf eine Fungizidbehandlung in einer Apfelwiese. Die untersuchbaren Ebenen betreffen folgende Aspekte: 1) den Hintergrund auf einer Themenkarte (ggf. ersetzbar durch eine Satellitenkarte zur Veranschaulichung von Details, welche in Abb. MO3A zu sehen sind); 2) die Karten der Anbauflächen (rot markierte Vielecke); 3) die Fixings der Primärdaten des in der Arbeitssitzung untersuchten Eingriffs (gelbe Punkte). Letztere sind auch durch eine Animation abrufbar, welche die Vorgehensweise des gewählten Eingriffs veranschaulicht. Das System stellt zudem Auswahlfenster (Listen, Kalender etc.) zur Verfügung, um die Eingriffe schneller zu wählen. Zuletzt können auch operative Details mit Informationen über eingesetzte Ressourcen, verbrauchte Materialien und Kraftstoff sowie Arbeitseinteilung abgerufen werden.

Die Client-Server-Plattform ermöglicht es, die Maschinen verschiedener Betriebe mit ein- und demselben System zu verbinden. Jeder Betrieb erhält seine Zugangsdaten, um durch Webclient-Instrumente in die eigenen Informationen Einsicht nehmen zu können. Im Rahmen des Projektes wurden verschiedene Versionen dieser Softwareinstrumente entwickelt. Diese sind in ständigem Wandel, da sie die direkte Schnittstelle zwischen Endanwender und betrieblichem Informationssystem

darstellen; als solche werden sie konstant um weitere Funktionen hinsichtlich der Bedürfnisse von land- und forstwirtschaftlichen Betrieben erweitert und durch neue Befragungen und die entsprechenden Berechnungen aus der Betriebsdatenbank implementiert (Abb. 35).

Auch im forstwirtschaftlichen Bereich wurden Anwendungen entwickelt, um innovative Systeme für das automatische Monitoring von Holzeinschlag und -bringung auszuarbeiten. Die eingesetzten Geräte bei Holzbringung und Transport anhand von Traktoren mit Seilwinde sind mit jenen, die für den Landwirtschaftsbereich entwickelt wurden, identisch. Für das Monitoring bei der Holzernte mittels Seilkran und Kettensäge wurden hingegen spezifische Geräte entworfen.

Im Zusammenhang mit dem Seilkran sollte neben der Analyse der Transportgänge auch die Schätzung der bei jedem Arbeitsgang transportierten Holz mengen (Abb. 36) ermöglicht werden. Aus diesem Grund wurden folgende Maßnahmen vorgenommen: 1) die Entwicklung eines Monitoringgerätes wie in Abb. MO1B (mit dem Seilkran anstelle des Traktors) mit Sensoren zur Schätzung der bewegten Mengen; 2) die Anpassung der Regeln der Inferenzmaschine für die Schätzung der aus dem Wald transportierten Holz mengen sowie für die Zeiterfassung während der vier wichtigsten Arbeitsphasen: i) lastfreie Hinfahrt, ii) Sammlung des Holzes und Lastaufnahme mit dem Kran, iii) Bewegen (bzw. Lastfahrt), iv) Abladen am Sammelplatz.

Dabei kamen zwei Arten von Sensoren zum Einsatz: a) ein Kraftmessgerät (Wägezelle) zur Messung der Gewichtskraft während der Transportphase und b) ein Neigungsmesser zur Winkelmessung des Seils zur Lot-

richtung während des Transports. Dieser Ansatz wurde aus dem Grund gewählt, dass die Messung transportierter Mengen stets schwierig und kompliziert ist: Die ideale Messung wäre nur möglich, wenn das Holz den Boden nicht berührt bzw. der Laufwagen steht. In der Realität schleift das Holz hingegen oft mit der herabhängenden Seite am Boden, was zusammen mit den Seilbewegungen Vibrationen auslöst, die eine präzise Messung verhindern. Da diese Erhebungen unter lautem „Rauschen“ erfolgen, wurden die beiden Sensoren eingesetzt, um eben dieses Geräusch auszunutzen, damit die Mengen geschätzt werden können. Gewicht und Neigung wurden folglich in einem Modell aufbereitet, das die Kombination all dieser Faktoren berücksichtigt. Die Ergebnisse haben die Erwartun-

gen übertroffen und eine sehr hohe Übereinstimmung ($R^2 > 0.92$) zwischen geschätzten und tatsächlich beobachteten Mengen ergeben. Dasselbe gilt für die Ergebnisse im Zusammenhang mit der Zeiterfassung mit äußerst genauen Erhebungen in jeder Phase sowie geringen Abweichungen im Vergleich zu den händisch gemessenen Zeiten. Zusammenfassend hat sich dieses Modell als umfassendes und zuverlässiges Monitoringsystem bei Holzbringungsarbeiten mittels Seilkran erwiesen, wobei auch Arbeitszeiten und Produktivität umfassend und automatisch rückverfolgt werden konnten. Die noch zu lösenden Probleme betreffen die Eigenschaften der eingesetzten elektronischen Geräte, für die eine Miniaturisierung notwendig ist sowie Schutzsysteme, welche die Arbeit der Holzarbeiter nicht beeinträchtigen.

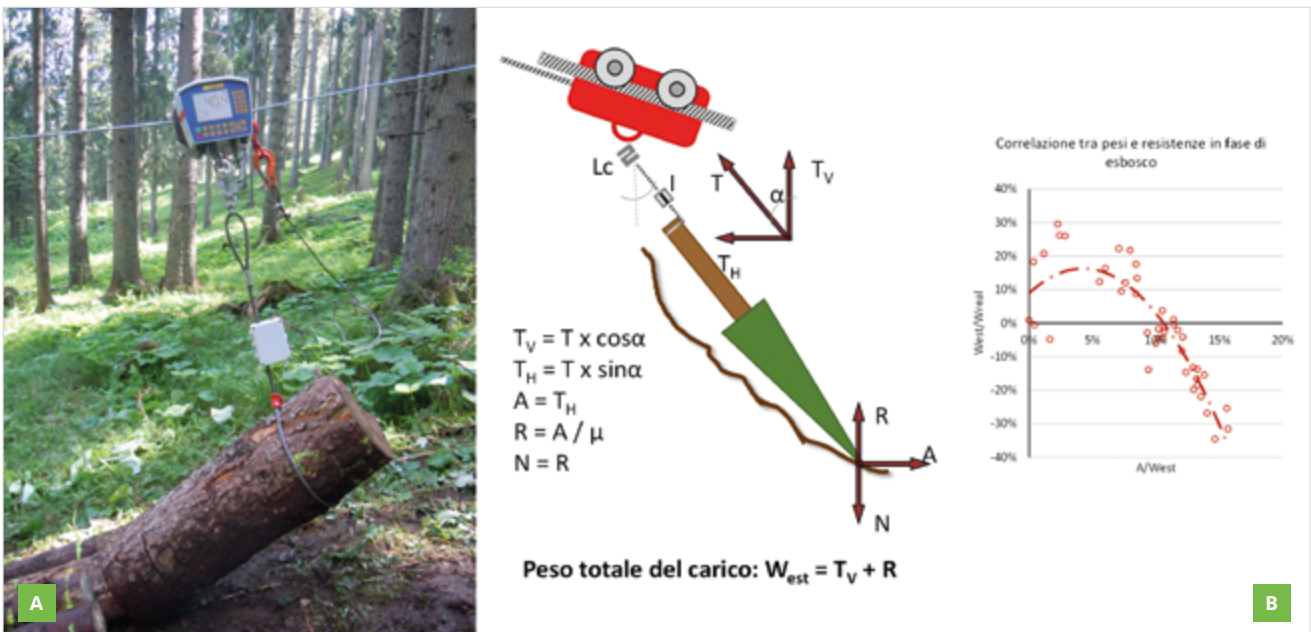


Abbildung 36: Operatives Monitoring bei der Holzbringung mittels Seilkran. Ziel ist die Schätzung der Arbeitszeiten in den verschiedenen Arbeitsphasen sowie der transportierten Holzmengen bei jedem Transportgang. **A:** erster entwickelter Prototyp, der zur Modellierung des dynamischen Verhaltens des Systems beim Transport dient; neben einem satellitengestützten Ortungssystem wurden zwei Sensoren für die Messung des Gewichts am Laufwagen (T_x) und des Neigungswinkels des Seils zur Lotrichtung (α) eingebaut. **B:** Darstellung des Transports; ein grundlegendes Problem stellen die Reibungen dar, welche sich durch das Schleifen der transportierten Baumstämme am Boden ergeben; im Vorfeld durchgeführte Studien sollten die Auswirkungen der unterschiedlichen Waldbodenarten schätzen. **C:** Vergleich zwischen der realen (händisch gemessenen) Masse der Baumstämme und den entsprechenden Schätzungen des Systems. Die unter verschiedenen Bedingungen durchgeführten Tests zeigten stets eine sehr hohe Korrelation ($R^2 > 0.92$).

Im Zusammenhang mit den **Kettensägen** wurde darauf abgezielt, die aus deren Arbeit ermittelbaren Daten zur Schätzung folgender Größen zu nutzen: 1) den **Standort** der gefällten Bäume; 2) das **Volumen** derselben; 3) die **Arbeitszeit** für den Holzeinschlag und die Entastung. Für

diese Geräte mussten aus Platzmangel maßgeschneiderte Datenlogger entwickelt werden, um die Holzarbeiter nicht mit zusätzlichen schweren bzw. sperrigen Geräten zu behindern, was zu mehr Aufwand und zur Einschränkung des Blickfeldes geführt hätte. Zu den wichtigsten Komponenten des Erhebungssystems zählten: a) ein miniaturisierter Empfänger zur satellitengestützten Ortung; hierbei handelte es sich um ein hochpräzises Gerät, da vorrangig im Wald gearbeitet wurde; b) ein Trägheitsnavigationssystem zur Messung der Neigung des Gerätes sowie der Intensität der Vibrationen hinsichtlich der drei Bezugsachsen (Abb. 37).

Die Schätzung des Volumens der zu fällenden Bäume ergab sich aus dem Verhältnis zwischen der notwendigen Arbeitszeit und dem Baumdurchmesser. Das System geht davon aus, dass der Holzarbeiter beim Fällen den Gashebel konstant gedrückt hält, wobei der Motor mit maximaler Drehzahl läuft. Durch die Analyse der Vibrati-

onen bei Vollgas kann die Zeit erfasst werden, in der die Kettensäge effektiv Schneidearbeit leistet. Diese Zeit verhält sich direkt proportional zum Stammdurchmesser an der Schnittstelle (wodurch das Gesamtvolumen der Pflanze abgeleitet wird). Das Trägheitsnavigationssystem misst sowohl das Ausmaß der Vibrationen als auch die Neigung der Kettensäge während der Schneidarbeiten. Durch die Aufarbeitung der erhaltenen Informationen mittels kartografischer Instrumente können Themenkarten über Produktivität und Ertragsfähigkeit der Holzbringung erstellt werden, anhand derer künftige Arbeiten geplant und die tatsächlich durchgeführten Eingriffe des bestehenden Einschlagsplan aufgezeichnet werden können. Auch in diesem Fall ergaben die durchgeführten Tests eine relativ hohe Übereinstimmung zwischen Schätzungswerten und händisch ermittelten Daten ($R^2 > 0.85$) und bestätigten somit die Annahmen.

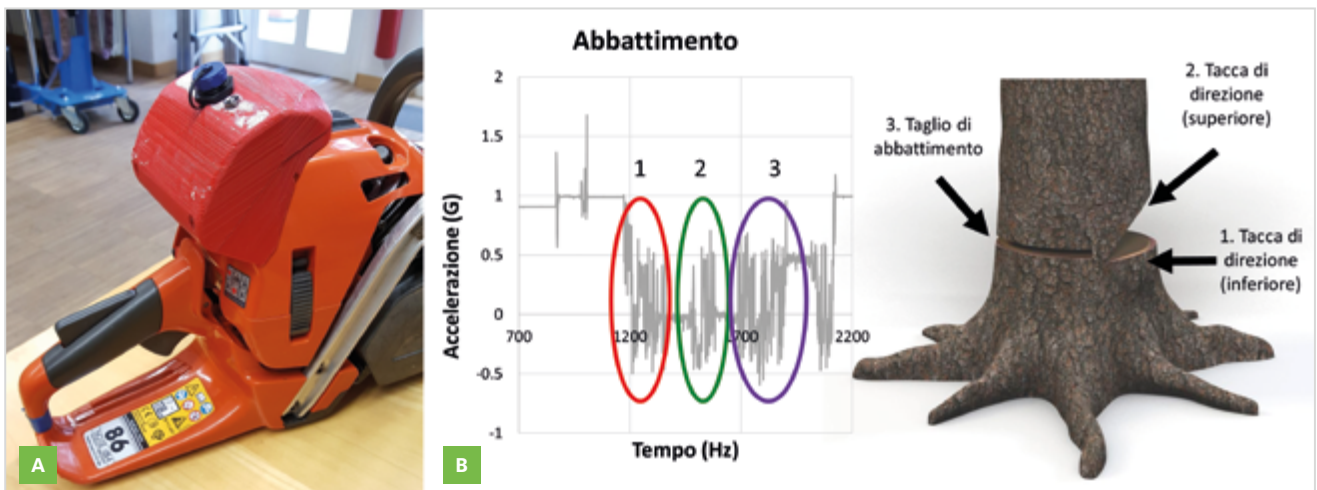


Abbildung 37: Operatives Monitoring bei Holzeinschlag und Entastungsarbeiten mittels Kettensäge. **A:** Ansicht des entwickelten Prototyps. Das an der Verkleidung der Kettensäge angebrachte Schutzgehäuse wurde mittels 3D-Drucker konstruiert und passt sich perfekt dem Gerät an. Dadurch werden Vibrationen vermieden und die Holzarbeiter bei ihrer Tätigkeit geringstmöglich behindert. Im Gehäuse sind folgende Teile enthalten: i) Empfänger für satellitenbezogenes Ortungssystem; ii) 3-Achsen-Beschleunigungsmesser zur Erhebung von Neigung und Vibrationen; iii) Speicher. **B:** Aufnahmen von Vibrationen in Übereinstimmung mit den durchgeführten Schneidarbeiten. Hierbei erfasst die Inferenzmaschine die Gesamtzeit der Schneidarbeiten und stellt dann ein Verhältnis zu den Stammdurchmessern und dem Gesamtvolumen der Bäume her.

Zusammenfassend bestätigen die vielversprechenden Ergebnisse des operativen Monitorings in den verschiedenen Bereichen die Praxistauglichkeit der im Rahmen des Projektes vorgeschlagenen Lösungen und Technologien. Dank dieser Geräte werden land- und forstwirtschaftliche Betriebe künftig ohne Arbeitsaufwand oder Zeitverlust die Produktivität und Effizienz ihres Betriebes ermitteln können und somit aussagekräftige Informationen erhalten, welche als Entscheidungsgrundlage bei verwaltungstechnischen und logistischen Fragestellungen dienen werden.

Betriebshefte, die sich von selbst erstellen

Nach Feierabend stellt Karl den Traktor ab und schaltet den Computer ein. Am Bildschirm überprüft er, wie lange der Traktor in Betrieb war, welchen Weg er zurückgelegt hat, welche Pflanzen dabei behandelt wurden und wie viel Wirkstoff eingesetzt wurde. Somit ruft er ein Betriebsheft ab, das dank der am Traktor angebrachten Geräte quasi von selbst mit den dabei übertragenen Daten erstellt wurde. An der Umsetzung dieses Projektes hat das Forschungsteam um Fabrizio Mazzetto, Professor für Mechanik und Mechanisierung in Land- und Forstwirtschaft an der Freien Universität Bozen, gearbeitet. Die Forscher arbeiteten eng mit landwirtschaftlichen Betrieben, privaten Unternehmen aus dem Elektronikbereich, Forschungszentren sowie anderen Einrichtungen zusammen, die künftig diese Art von Monitoring anbieten möchten. Die Prototypen wurden Tests unterzogen und sind heute als Versuchsversionen verfügbar. Die entwickelten Lösungen fanden bei den Anwendern großen Anklang. „Die neuen EU-Vorschriften im nationalen Landwirtschaftsplan schreiben den Landwirten die Führung eines Betriebsheftes vor, in dem der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln sowie von Dung festzuhalten ist. Die automatische Erstellung dieses Betriebsheftes ist für jeden Landwirt von großem Vorteil. Neben der Zeiteinsparung ermöglicht dieses Monitoringsystem den Bauern auch eine effizientere Verwaltung ihres Betriebes, da damit künftige Eingriffe und Maßnahmen aufgrund von genauen Daten festgelegt werden können“, erklärt Mazzetto.

Da auch die beteiligten Privatunternehmen großes Interesse am Projekt gezeigt haben, arbeitet die Arbeitsgruppe nun an einer flächendeckenderen Gestaltung des Monitoringsystems der landwirtschaftlichen Tätigkeiten. „Wir denken an eine App, anhand derer mittels Smartphone der Barcode der eingesetzten Mittel gelesen werden kann. Somit kann auch ermittelt werden, welcher Dünger oder Wirkstoff verteilt wurde“, erzählt Mazzetto.

Neben der Landwirtschaft wurden die Methoden des operativen Monitorings auch in der Forstwirtschaft getestet, wobei die Geräte an anderen Arbeitsmaschinen angebracht wurden, nämlich an Seilkränen und Kettensägen. Durch die erhobenen Daten konnten neben der Holzmenge, die vom Standort der Schneidarbeiten zum Sammelplatz transportiert wurde, auch Standort und Größe des Baumes ermittelt werden. Eine Gruppe Holzarbeiter aus dem Pustertal hat sich an die Forschungsgruppe gewandt, um ihre Arbeit anhand dieser Geräte überwachen zu können. Durch die Quantifizierung ihrer Arbeit könnten die Holzarbeiter die anfallenden Kosten belegen und somit gegen die österreichische Konkurrenz antreten, deren Tarife unter dem Marktpreis liegen. „Dank dem Projekt MONALISA konnten wir das Interesse für diese Art von Monitoring ermitteln und die Rahmenbedingungen schaffen, um in Zukunft ein System zu entwickeln, das den Bedürfnissen der Anwender gerecht wird“, sagt Mazzetto abschließend.

DER GLÄSERNE APFEL

Angelo Zanella, Land- und forstwirtschaftliches Versuchszentrum Laimburg

In diesem Kapitel: Der Obstanbau in Südtirol genießt eine langjährige Tradition, wobei sich der Apfelanbau über die Jahre hinweg zum Zugpferd entwickelt hat. Südtirol ist das größte zusammenhängende Apfelanbaugebiet Europas, mit einer jährlichen Produktion von ca. 1 Million Tonnen. Die Vermarktung oben genannter Produktionsmenge kann als Meisterleistung angesehen werden, die sicherlich nur durch die Umsetzung höchster Qualitätsstandards entlang der gesamten Wertschöpfungskette realisiert werden kann. Die Realisierung einer anspruchsvollen Qualität, welche zudem immer gleich sein sollte, kann als Herausforderung der Zeit angesehen werden, handelt es sich bei der Apfelfrucht bekanntlich um ein biologisches Produkt, dessen Qualität von verschiedensten Faktoren abhängig ist. Die wichtigsten Einflussfaktoren auf die Entwicklung der Produktqualität sind die landwirtschaftliche Bewirtschaftung, aber auch der Standort und die Umwelt. Aufgrund dieser Gegebenheiten rund um das *lebende System Apfel*, ist es äußerst schwierig, den ständig steigenden Qualitätsansprüchen der Konsumenten Rechnung zu tragen. Auf der einen Seite ein Problem, auf der anderen Seite eine große Herausforderung und Chance, die entlang der gesamten Wertschöpfungskette durch den Aufbau eines eng gespannten Netzwerkes zwischen Obst-Produzenten, Geräteherstellern und Forschern angenommen werden sollte. (Abb. 38).

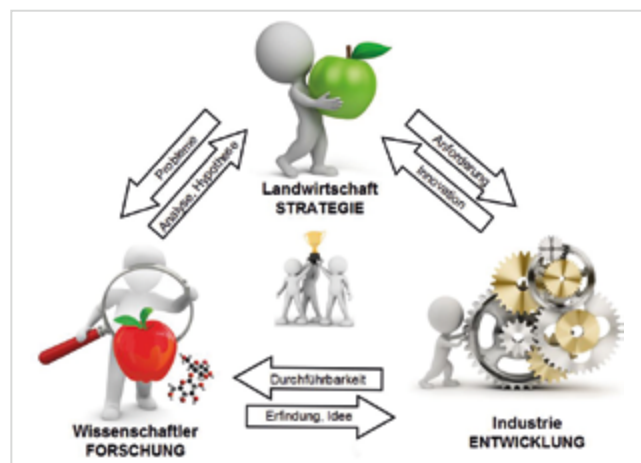


Abbildung 38: Die Interaktion zwischen Forschern, Obst-Produzenten und Geräteherstellern.

Ziel von Angelo Zanella am Versuchszentrum Laimburg war es, im Projekt MONALISA Wissenschaftler, Maschinenhersteller und Produzenten an einen Tisch zu bringen und so zusammen an neuartigen Lösungen zur nicht-destruktiven Qualitätsanalyse zu arbeiten. Primärzielte das Zentrum auf noch ungelöste Probleme, wie z.B. der nicht-destruktiven Bestimmung menschlich wahr-

nehmbarer Fruchtfleisch-Struktur, ab. Außerdem wurde versucht, das Objekt „Apfel“ ganzheitlich zu betrachten, und somit wurde auch ein Auge auf die Möglichkeiten zur zerstörungsfreien Messung innerer Fruchtschäden bzw. bioaktiver Substanzen geworfen. Es wurde versucht, die Messdaten in verschiedene mathematische Modelle zu packen, welche schlussendlich in Vorhersagesysteme zur Qualitätsentwicklung münden sollten. Heutzutage ist es nämlich immer wichtiger, Qualität vorhersehen zu können.

Die Apfel-Qualität vorhersagen und garantieren

Der Konsum eines Apfels geht heutzutage immer mehr und mehr mit dem Genusslebnis einher, deshalb die immer steigenden Ansprüche von Seiten der Konsumenten an die Produktqualität. Im Umgang mit eben dieser Genussqualität steckt die Schwierigkeit, da biologische Produkte eine große Schwankungsbreite in der Ausprägung der Qualitätseigenschaften aufweisen. Hinzu kommt, dass sich der Apfel als „lebende Frucht“ vom Zeitpunkt der Ernte bis hin zum Verzehr ständig verändert. Genau daraus ergibt sich das Verlangen, die Entwicklung der Fruchtqualität entlang der gesamten Versorgungskette vorhersagen zu können. Die große Chance würde darin liegen, vorab den Qualitätsverlauf zu kennen und somit spezifisch die Anforderungen der verschiedenen Konsumentengruppen adressieren zu können. Die Umsetzung dieser Idee würde in einen Produktmehrwert unvorstellbaren Ausmaßes münden. Bis dato ist nämlich eines der größten Probleme in diesem Sektor die Tatsache, dass ein kleiner Teil an nicht wünschenswerter Qualität den Großteil der verbleibenden Früchte abwerten kann. Deshalb die immerwährende Anstrengung, bereits bei der Ernte der Früchte eine Vorhersage der Qualitätsentwicklung tätigen zu können und somit der Praxis eine handfeste Entscheidungsgrundlage, im Fachjargon „Decision Support System“ (DSS) genannt, anbieten zu können. Genau dieser Ansatz wurde im Rahmen des Projekts MONALISA vom Versuchszentrum Laimburg in enger Zusammenarbeit mit Rob Schouten von der Universität Wageningen (NL), einem führenden Forscher auf diesem Gebiet, verfolgt. Hauptziel dieser Kooperation war es, zuerst einmal die im Projekt erarbeiteten Kenndaten bezüglich der Apfelqualität zu bündeln und schlussendlich daraus mathematische Modelle zu entwickeln, welche in einer Vorhersage der Apfelgüte münden sollten. Die erzielten Ergebnisse sind vielversprechend, obwohl sich der Apfel als sehr komplexes und delikates Forschungsobjekt erwiesen hat. Die größte Schwierigkeit liegt darin, zuallererst der großen biologischen Schwankungsbreite (Abb. 39), gegeben durch das Produkt „Apfel“, Rechnung zu tragen. Dieses Faktum hat die größten Anforderungen an die Forscher gestellt, wobei es schlussendlich gelungen ist, einen Weg für Vorhersagemodelle aufzuzeigen (Abb. 40).

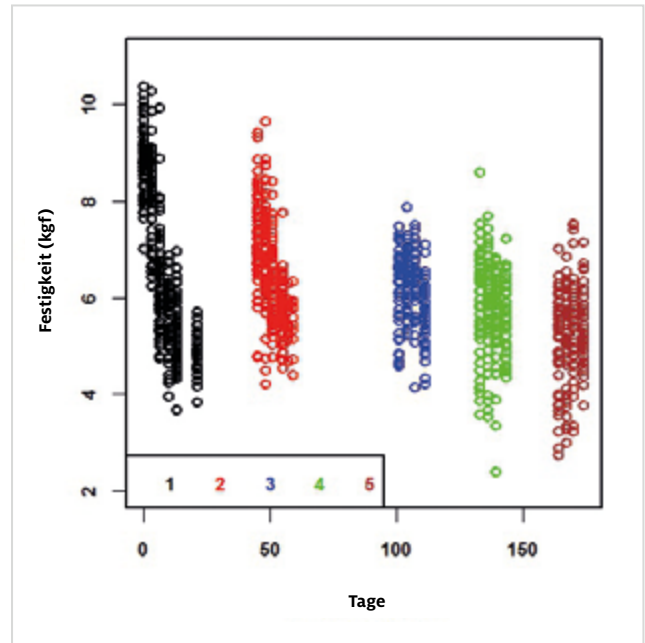


Abbildung 39: Biologische Schwankungsbreite der Fruchtfleisch-Festigkeit zu verschiedenen Auslagerungszeitpunkten der Äpfel.

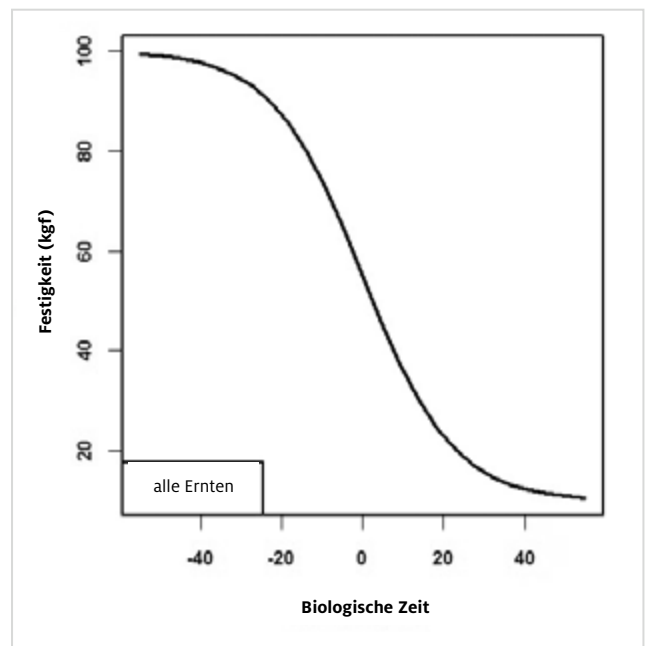


Abbildung 40: Vorhersagemodell für die Qualitätsentwicklung von Obst nach der Ernte.

Das einzige Problem in diesem Zusammenhang stellt die Bestimmung des biologischen Alters der Frucht dar, da es bis dato noch keine zuverlässige Methode zu dessen Messung gibt. Weitere Erschwernisse gehen mit der Definition des Begriffes „Qualität“ einher. Die Gretchenfrage ist, welche Anforderungen der Konsument überhaupt an die Qualität stellt. Letztlich wird der Trend verzeichnet, dass der Kunde nicht mehr alleine durch

Fruchtfarbe und Fruchtgröße zufriedenzustellen ist, sondern dass seine Ansprüche gestiegen sind. Somit ist die neue Anforderung im Bereich des Apfelsektors, den Qualitätsbegriff neu zu überdenken und zu beschreiben, und schlussendlich durch die Entwicklung geeigneter Messmethoden auch messen und garantieren zu können. Bezüglich der Entwicklung geeigneter Messmethoden hinkt die Forschung noch etwas hinterher. Bis dato sind die wichtigsten, in der Praxis angewandten und gemessenen Qualitätsparameter, die Festigkeit des Fruchtfleisches, Zuckergehalt und Säuregehalt, wobei diese mittels destruktiver Messmethoden analysiert werden. Die Forschung und Entwicklung zielt immer mehr und mehr darauf ab, destruktive Messmethoden im Labor mit nicht-destruktiven zu ersetzen. Die Vorteile zerstörungsfreier Analysemethoden liegen auf der Hand und zielen, neben Reduzierung des Arbeitsaufwandes, auf Wiederholbarkeit und somit auch Messgenauigkeit, vor allem auch auf die Schnelligkeit der Messung ab, um die Qualität eines jeden Apfels garantieren zu können. In Zeiten wie diesen gewinnt die Unversehrtheit des Produktes bei der Durchführung nicht-destruktiver Messungen sicherlich noch mehr an Bedeutung, und kann als Vermarktungsvorteil genutzt werden. Weitere Anstrengungen werden in Richtung der besseren Erfassung und Beschreibung des „Qualitätsbegriffes“ unternommen. Ziel der Forschung ist es, dem Konsumenten mittels der Entwicklung geeigneter Messmethoden beschreiben zu können, welche Qualität ein gewisser Apfel beim Verzehr aufweist, also eine Beschreibung der vom Menschen wahrgenommenen Genuss-Qualität. Dies wäre der Schlüssel zum Erfolg, denn eigentlich käme dieser Ansatz dem vom Menschen geforderten Qualitätsbegriff am nächsten. Die Forschung steckt diesbezüglich noch in den Kinderschuhen, erste Ansätze hierfür finden sich im Projekt MONALISA wieder: Ein erster Schritt um dem Konsumenten noch mehr Fruchtqualität garantieren zu können.

Knackigkeit mittels Licht ertasten

Eines der wichtigsten Qualitätsmerkmale des Apfels, wenn nicht das wichtigste überhaupt, ist die Knackigkeit, Festigkeit und Saftigkeit des Fruchtfleisches. Natürlich müssen diese Merkmale einhergehen mit einer guten Balance zwischen Süße und Säure und mit einer angenehmen aromatischen Note. Primär erwartet also der Konsument bestimmte strukturelle Eigenschaften dieser Frucht, mehlig oder weiche Früchte sollten jedenfalls vermieden werden.

Die destruktive Messung der Fruchtfleisch-Festigkeit im Labor hat sich bereits als Qualitätsparameter etabliert, jedoch ist es bis dato noch nicht gelungen, diese mittels zerstörungsfreier Technologien zu bestimmen. Nur diese nicht-destruktiven Technologien würden es erlauben, jeden einzelnen Apfel vor dem Verkauf z.B. auf Mehligkeit zu testen.

Genau auf diesem Gebiet wurde im Rahmen des Projekts

MONALISA ein Schwerpunkt gesetzt, um das Zukunftspotential der vielversprechendsten Technologien international abzuschätzen. Zur bestmöglichen Realisierung des Vorhabens hat sich das Versuchszentrum Laimburg zwei führende Forschungseinrichtungen mit ins Boot geholt, nämlich das CNR – Istituto di Fotonica e Nanotecnologie – in Mailand, repräsentiert durch den Gruppen-Leader Lorenzo Spinelli, und die Arbeitsgruppe von Wouter Saeys an der Universität Leuven in Belgien. Das Hauptziel aller Partner war dasselbe, wobei jedoch zwei verschiedene Ansätze gewählt wurden. Mit dem CNR in Mailand wurde die zeitlich aufgelöste Nahinfrarot-Spektroskopie (TRS) getestet (Abb. 41), während mit der Universität Leuven (B) die räumlich aufgelöste Nahinfrarot-Spektroskopie (SRS) geprüft wurde (Abb. 42).

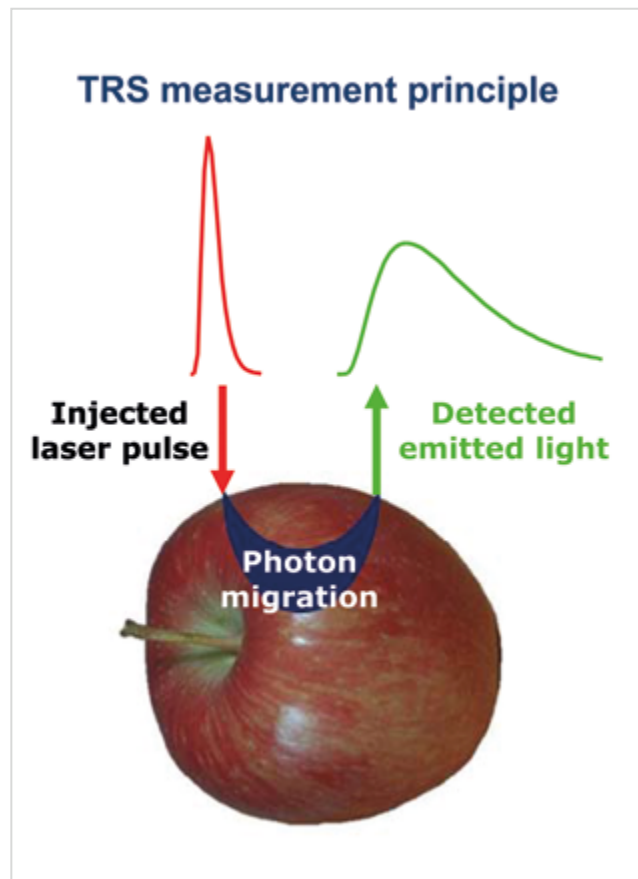


Abbildung 41: Messprinzip der zeitlich aufgelösten Nahinfrarot-Spektroskopie (TRS).

Das gemeinsame Prinzip nutzt Licht bestimmter Wellenlängen im sichtbaren und Nahinfrarotbereich. Durch innovative Messgeräte wird gemessen, wie lange das eingestrahlte Licht vom Fruchtfleisch aufgehalten wird, bevor es wieder austritt (TRS), oder wie breit es durch die Reflektion der Frucht-Zellen wieder hinausgestreut wird (SRS). Diese Ansätze versprechen Rückschlüsse auf den Zustand der Struktur des Fruchtfleisches. Primär wurde der Fokus auf die Bestimmung der Fruchtfleisch-Fes-

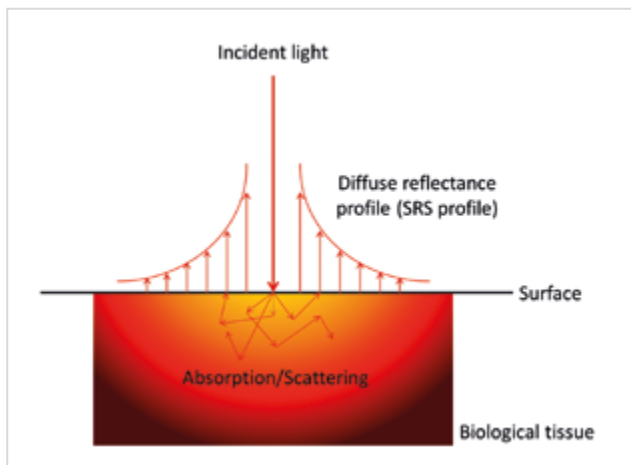


Abbildung 42: Funktionsprinzip der räumlich aufgelösten Nahinfrarot-Spektroskopie (SRS).

tigkeit gelegt, wobei mäßige Ergebnisse erzielt werden konnten. Glücklicherweise hat sich die Forschungstätigkeit aber nicht nur lediglich alleine darauf beschränkt, sondern es wurde versucht, einen Zusammenhang zwischen TRS bzw. SRS und anderen Qualitätseigenschaften der Frucht zu finden. In diesem Zusammenhang haben sich vielversprechende Möglichkeiten eröffnet, sprich die vorläufigen Ergebnisse deuten darauf hin, dass sich sowohl die zeitlich aufgelöste Nahinfrarot-Spektroskopie als auch die räumlich aufgelöste Nahinfrarot-Spektroskopie eignen könnten, die Struktureigenschaften einer Frucht nicht-destruktiv zu bestimmen, auf eine Weise, die nach Ansicht des Forscherteams, nahe an die vom Konsumenten wahrgenommene Genussqualität herankommt. Die weitere Verfolgung dieser These und deren Beweis obliegen zukünftiger Forschungstätigkeit. Der erste Schritt in die richtige Richtung wurde gemacht, wobei es gelungen ist, das Potential und die Schwachpunkte der zwei untersuchten Messmethoden aufzuzeigen. Es bleibt nun die Aufgabe, durch gezielte Forschung und Beteiligung der Anwender und Gerätehersteller die Stärken obgenannter Technologien weiter auszubauen und somit der „Praxis“ zukunftssträchtige nicht-destruktive Technologien zur Bestimmung der Fruchtqualität anbieten zu können.

Den Apfel innen durchleuchten

Die Forschungstätigkeit des Versuchszentrums Laimburg im Rahmen von MONALISA macht nicht bei der zerstörungsfreien Bestimmung der Genuss-Qualität Halt, denn entlang der gesamten Wertschöpfungskette bis hin zum Konsumenten sind noch weitere Aspekte sehr interessant: ein wesentlicher davon ist die Erkennung von Schäden im Innern der Frucht. Hier besteht seitens Forschung und Entwicklung noch großer Aufholbedarf. Innere Fruchtschäden können durch tierische oder pilzliche Erreger oder auch durch falsche Lagerungsmethoden verursacht werden. Auf die Vermarktung wirkt sich

negativ aus, dass innere Fruchtschäden von außen mit bloßem Auge nicht sichtbar sind, sondern lediglich beim Verzehr.

Bestehende nicht-destruktive Technologien sind noch nicht soweit ausgereift, dass nur die schadhafte Früchte erkannt werden. Es ist bisher nicht gelungen, eine präzise und vor allem zuverlässige Methode zu entwickeln: Je nach Feinheit der gewählten Einstellungen, werden entweder gesunde Früchte als schadhaft klassifiziert und können so nicht verkauft werden, oder umgekehrt, ein Teil der schadhafte Früchte gelangt immer noch zum Konsumenten. Somit kann auch ein kleiner Anteil an nicht wünschenswerter Qualität den gesamten Rest guter Früchte abwerten. In Zusammenarbeit mit Pieter Verboven von der Universität Leuven (Belgien) zielten wir in MONALISA genau auf die Lösung des oben erwähnten Problems ab. Die Methode der Wahl, um Einblicke in das Innere des Apfels bekommen zu können, war die Röntgenstrahlung. Verschiedene zwei- und dreidimensionale CT-Bilder (Abb. 43) wurden auf ihre Eignung hin getestet, mit dem Ziel, dem Konsumenten mit großer Sicherheit eine Frucht frei von inneren Fruchtfleisch-Verbräunungen garantieren zu können. Es ist gelungen, das Potential und die Schwächen der Röntgenstrahlen zur Erkennung von inneren Schäden aufzuzeigen (Abb. 44).

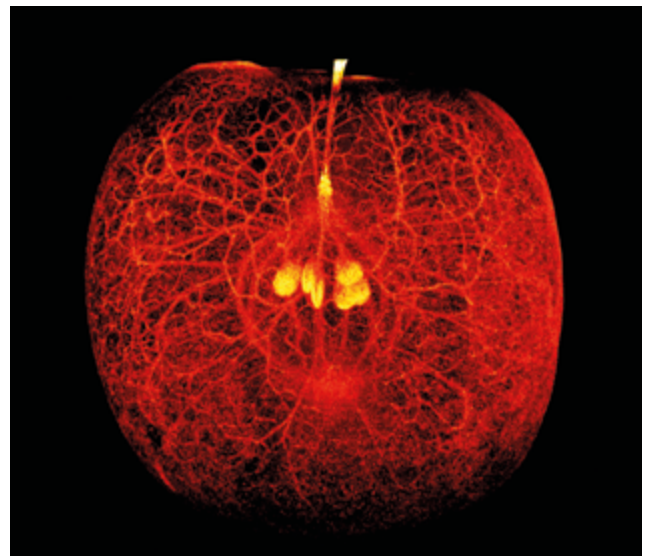


Abbildung 43: Dreidimensionales CT-Bild der internen Struktur eines Apfels.

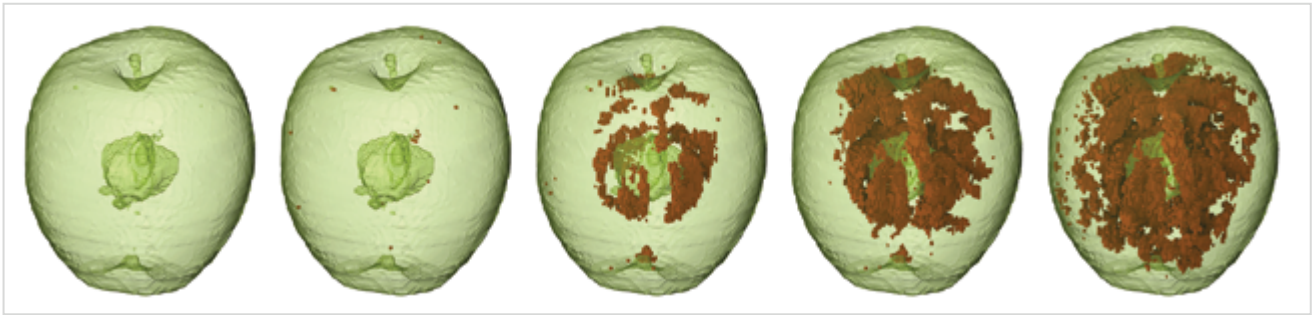


Abbildung 44: Dreidimensionale CT-Darstellung der Entwicklung eines inneren Schadens während der Lagerung.

Die erzielten Ergebnisse sind vielversprechend und können als Fundament für zukünftige Forschungstätigkeit in diesem Bereich genutzt werden: Es konnte gezeigt werden, dass durch Fusion unterschiedlicher technischer Messmethoden, jene bis dato kostspieligen Geräte eine praxistaugliche Anwendbarkeit erfahren könnten. Dadurch könnte eine Win-win-Situation generiert werden: Der Konsument kommt mit größter Sicherheit in den Genuss einer einwandfreien Frucht, und entlang der gesamten Wertschöpfungskette werden gesunde Äpfel nicht durch schadhafte abgewertet. MONALISA hat gezeigt, dass die Röntgenstrahlung ein Potential hat, dessen Ausbaufähigkeit in Zukunft angegangen werden sollte.

Die Gesundheit im Apfel erkennen

Im Rahmen von „MONALISA“ verfolgten wir einen ganzheitlichen Ansatz, sprich die Qualität des Objektes „Apfel“ sollte in ihrer ganzen Komplexität auf verschiedensten Ebenen untersucht werden. Somit war es eine logische Konsequenz, die Untersuchungen nicht lediglich auf die Standard-Qualitätsparameter zu limitieren, sondern einen Schritt weiterzugehen und zu versuchen, die Forschungsaktivität auf bioaktive Komponenten der Frucht, wie Vitamin C oder Antioxidantien, auszuweiten. Heutzutage wird genau diesen Substanzen, unter anderem auch als „Nutraceuticals“ bezeichnet, von Seiten der Konsumenten her immer mehr und mehr Bedeutung beigemessen. Der Lifestyle-Trend in den entwickelten Ländern dieser Welt geht in Richtung Nahrung und Gesundheit. Dieser Entwicklung wollte auch die Forschung in MONALISA Rechnung tragen.

Der aktuelle technische Stand setzt zur Messung der gesuchten bioaktiven Substanzen aufwendige und destruktive Messungen im Labor voraus. Daher versuchten die Forscher um Peter Robatscher am Versuchszentrum Laimburg, sich die optische Nahinfrarot-Spektroskopie (NIRS) zunutze zu machen (Abb. 45).



Abbildung 45: Die optische Nahinfrarot-Spektroskopie (NIRS): eine Technik für die nicht-destruktive Qualitätsanalyse.

Hierbei wird die Wechselwirkung von ausgesendetem Nahinfrarot-Licht mit den Apfelbestandteilen genutzt, um zerstörungsfrei bioaktive Substanzen zu messen. Es wurden 27 verschiedene Apfelsorten untersucht, wobei vordergründig der Gehalt an Vitamin C, Antioxidantien, Polyphenolen und Anthocyanen näher unter die Lupe genommen wurde. Nach einigen anfänglichen Schwierigkeiten ist es den Wissenschaftlern gelungen, den Gehalt an bioaktiven Substanzen in der Schale eines Apfels mit einer ansprechenden Genauigkeit ($R^2 > 0,8$) mittels NIRS-Technologie zerstörungsfrei zu bestimmen (Abb. 46).

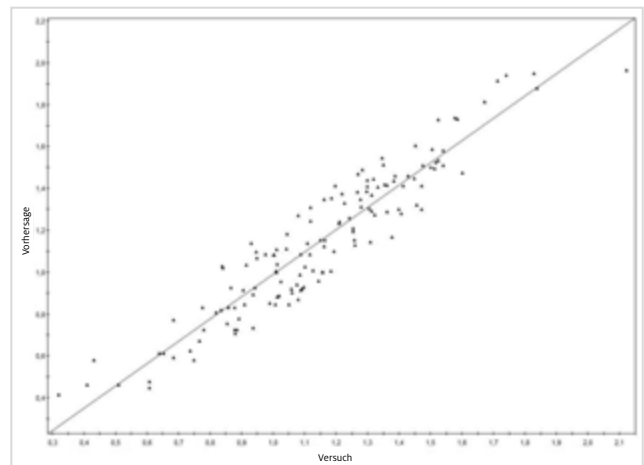


Abbildung 46: Vorhersagegenauigkeit bioaktiver Substanzen mittels der zerstörungsfreien NIRS-Technologie.

Dieses vielversprechende Ergebnis mit Potential für zukünftige Weiterentwicklung könnte Praxistauglichkeit erreichen durch Vereinfachung auf die nun bekannten wesentlichen Lichtabschnitte im NIR-Spektrum.

Zu guter Letzt sind die Forscher noch einen Schritt weiter gegangen und haben versucht die NIRS-Technologie auch zur Messung von Vorläufersubstanzen der Schalenbräune einzusetzen, einem bedeutenden Lagerungsschaden bei vielen Apfelsorten. Es handelt sich hierbei um eine physiologische Störung der Frucht, die während der Lagerung auftritt und zu großen Nachernteverlusten führen kann. Die frühzeitige Erkennung bzw. Vorhersage der Schalenbräune-Anfälligkeit birgt ein großes Potential für die Vermarktung von Äpfeln in sich. Die am Versuchszentrum Laimburg durchgeführten Untersuchungen haben klar das Potential der NIRS-Technologie aufgezeigt, die Herausforderung liegt nun darin, die Technologie praxistauglich zu machen.

Schlussfolgerungen

Eine wichtige Erkenntnis ist, dass es zurzeit noch nicht möglich ist, die konventionellen Technologien hundertprozentig mit nicht-destruktiven Methoden zu ersetzen. Jedoch ist es der Wissenschaft gelungen, der „Praxis“ einige Instrumente mit Zukunftspotential anzubieten.

Bevor ein Apfel auf den Markt gelangt, wird er durch zerstörungsfreie Maschinen überprüft, welche die angefaulten Früchte ausgelesen und die markttauglichen je nach Gewicht, Form und Farbe sortieren. In Zukunft wird man auch die Saftigkeit, Knackigkeit oder Mehligkeit eines Apfels messen können. Man wird sogar den Gehalt an Vitamin C oder an Phenolen ermitteln können. Welche Eigenschaften sind jedoch für den Bauern wichtig bzw. sollten ermittelt werden können? Welche Parameter spielen für den Markt eine ausschlaggebende Rolle? Sind Supermärkte bereit, mehr für ein Produkt zu bezahlen, um darüber genauere Informationen zu erhalten? „Aus technischer Sicht sind äußerst detaillierte Überprüfungen möglich. Man sollte sich jedoch fragen, ob sie wirklich nützlich sind. Hierbei ist es schwierig festzulegen, welche Parameter tatsächlich für die Qualität ausschlaggebend sind“, erklärt Angelo Zanella, Leiter der Arbeitsgruppe Lagerung und Nacherntebiologie des Land- und Forstwirtschaftlichen Versuchszentrums Laimburg. Um diese Frage zu beantworten, organisierten die Techniker und Forscher des Zentrums zwei Workshops, bei denen die im Projekt MONALISA entwickelten Technologien vorgestellt wurden. Teilgenommen haben dabei alle Vertreter der Südtiroler Apfelwirtschaft sowie die wichtigsten europäischen Hersteller von Anlagen zur Qualitätsermittlung. Beide Gruppen haben die Vorschläge der Forscher zur Qualitätsermittlung bei Äpfeln angehört und Möglichkeiten zur Implementierung der ermittelten Daten, eventuelle Mängel sowie künftige Verbesserungsmaßnahmen aufgezeigt. „Diese Workshops gaben Apfelbauern und Anlagenherstellern die Möglichkeit, ihre Bedürfnisse einzubringen. Zuvor hatte

es keine Austauschmöglichkeiten zwischen diesen Gruppen gegeben. Dieser Mangel an Kommunikation behindert eine effiziente Arbeitsweise“, so Zanella. Derzeit erhalten die Hersteller nämlich keine klaren Angaben von den Bauern über die zu ermittelnden Parameter, weil sich die Bedürfnisse und damit die Marktverhältnisse ständig verändern und die Landwirte sich kontinuierlich anpassen müssen. Um den Austausch zwischen den Betroffenen zu fördern, werden sich Landwirte, Anlagenhersteller und Forscher regelmäßig treffen und die mit MONALISA begonnene Arbeit fortsetzen.

DATENBANK

Roberto Monsorno, Eurac Research

In diesem Kapitel: In den vorangehenden Kapiteln wurden Untersuchungsmethoden und praxisbezogene Lösungen vorgestellt, anhand derer Umweltparameter und Kenngrößen gemessen werden können, welche die Qualität des Agrarproduktes ausmachen, wobei Klimabedingungen und menschlicher Eingriff in die Apfelanlagen gleichermaßen eine Rolle spielen.

All diesen Tätigkeiten und Monitoringmethoden ist eines gemein: Sie dienen der Bereitstellung von *Daten*, die nach der Erhebung geordnet, aufbereitet und zugänglich gemacht werden müssen. Eine Herausforderung, welche das Projekt MONALISA angenommen hat, betrifft die Organisation und Verwaltung der gesammelten Informationen des Projektes selbst.

Für die Organisation von Beobachtungsdaten gibt es einerseits proprietäre Systeme. Diese Lösungen eignen sich für den Forschungsbereich jedoch nicht, da sie langfristig nicht anwendbar, übertragbar und nachhaltig sind, vor allem wenn mehrere Partner aus unterschiedlichen Einrichtungen zusammenarbeiten. Zu den Bedürfnissen der verschiedenen Wissenschaftsgemeinden gehören neben dem Informationsaustausch zudem die Interoperabilität sowie die Personalisierbarkeit der Infrastrukturen. Proprietäre Lösungen sind in dieser Hinsicht nicht verwendbar, da sie teuer und kaum personalisierbar sind, keine Interoperabilität bieten und mit Lizenzkosten verbunden sind, die auf Dauer nicht tragbar sind. Andererseits gibt es Open-Source-Lösungen nach internationalen Standards und Vorschriften, anhand derer komplexe Systeme geschaffen werden können, die jedoch offen sind, wiederverwendbare Anwendungen bieten und langfristig nutzbar sind.

Im Rahmen des Projektes MONALISA wurden eine Dateninfrastruktur sowie eine Umweltdatenbank basierend auf Open-Source-Technologien entwickelt, welche den internationalen Standards und Protokollen entsprechen, sowie interoperabel und frei zugänglich sind. Diese Umweltdatenbank kann jede Art von Beobachtung aufnehmen, sowohl aus am Boden installierten Sensoren als auch aus Labortests, wobei z. B. ein Zusammenhang zwischen den

in der Apfelwiese erhobenen Daten und der Qualität der später geernteten Äpfel hergestellt werden kann. Dieses Kapitel beschreibt die Organisation und Harmonisierung der im Rahmen des Projektes gesammelten heterogenen Daten und führt den Katalog der Metadaten sowie das angewandte Modell an, eine Implementierung der Initiative SWE (Sensor Web Enablement) des Open Geospatial Consortium (OGC). Des Weiteren werden die Anwendungen für die Datenpräsentation und -nutzung basierend auf Webstandards mit Interoperabilität sowie das Datenportal MONALISA beschrieben. Zuletzt werden einige technische Aspekte angeführt, welche im Rahmen des Labors für Umweltsensorik weiter ausgebaut werden können, um eine bessere Zusammenführung von Fernerkundungsdaten und am Boden erhobenen Daten zu erzielen.

Datenerhebung und -verwaltung: Harmonisierung

Für das Forschungsvorhaben des Projektes MONALISA wurde eine große Menge verschiedener Daten gesammelt, die unterschiedlich gehandhabt werden müssen, damit die Wissenschaftler sie visualisieren und mathematisch analysieren können.

Zur Heterogenität der Daten hat auch beigetragen, dass selbst die Erhebungssysteme derselben Art Unterschiede aufweisen (z. B. Instrumente zur Messung desselben Parameters von verschiedenen Herstellern; Aufnahmen derselben Fläche mit unterschiedlicher räumlicher bzw. zeitlicher Auflösung). Daraus ergibt sich die Notwendigkeit eines Harmonisierungsprozesses, um die Primärdaten (Sensoren-Output) in vorprozessierte, praxistaugliche Daten umzuwandeln.

Das Harmonisierungskonzept orientiert sich an dem Ziel, unterschiedliche Daten in einer standardisierten, den verschiedenen Wissenschaftsgemeinden gemeinsamen Form zugänglich machen zu können. Der Hauptvorteil der Harmonisierung liegt in der gemeinsamen Archivierung (Datenbank, Webportal) der Daten, der vereinfachten Suche nach einzelnen Daten sowie deren besserer Zugänglichkeit.

In einer ersten Arbeitsphase wurden folgende Datentypen ermittelt:

1. georeferenzierte Aufnahmen aus unterschiedlichen Plattformen (Satellit, UAV) mit unterschiedlichen RADAR- und optischen Sensoren,
2. nicht georeferenzierte Aufnahmen aus Kameras, welche die Vegetationsphänologie festhalten,
3. Beobachtungsdaten aus:
 - Messstationen
 - ort- und zeitgebundenen Beobachtungen (Vor-Ort-Erhebungen)
 - Labormessungen: Daten über die Apfelqualität.

In einer zweiten Phase des Projektes MONALISA wurde eine Reihe von Informationen ermittelt, die sämtlichen

Datensätzen gemein sind, etwa die geografischen Koordinaten, die Art des untersuchten Ökosystems (z. B. Wiesen, Wälder, Weiden), die Wiederholrate, der gemessene Parameter, die Charakteristiken des Sensors etc. Zudem wurden auch die Struktur, das Format und das verwendete Modell der Daten vereinheitlicht.

Aufgrund der Heterogenität der Werte ist im Rahmen des Projektes MONALISA die Entwicklung einer einheitlichen Infrastruktur notwendig, die eine Datenverwaltung unabhängig von deren Originalformat gewährleistet.



Abbildung 47: Veranschaulichung der verschiedenen im Rahmen des Projektes MONALISA gesammelten Daten

Nach der Übertragung der gesammelten Daten auf den Storage-Server werden die Informationen sofort einer Qualitätskontrolle unterzogen:

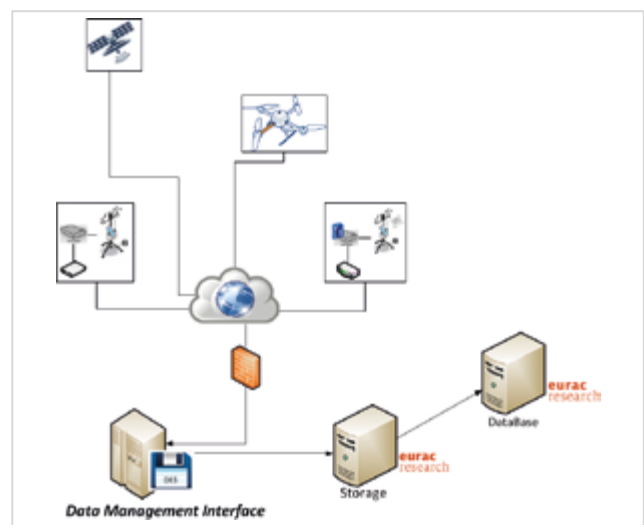


Abbildung 48: Veranschaulichung der Datenverwaltung innerhalb der Infrastruktur

- Anzahl der gesammelten Daten vs. vorgesehene Datenanzahl
- Größe der gesammelten Daten vs. Größe der vorgesehenen Daten
- Vollständigkeit der Daten

Diese Vorbereitung kann für jede Datentypologie angewandt werden.

Am Ende dieser Phase werden die Daten je nach Art und Herkunft auf unterschiedliche Art und Weise analysiert und daraufhin in die Umweltdatenbank aufgenommen. Dieser Ansatz beruht auf der Notwendigkeit, die Daten bei Bedarf verschiedenen Qualitätskontrollen zu unterziehen, um deren wissenschaftliche Richtigkeit festzustellen. Zu diesem Zweck wurden Qualitätsgrenzwerte definiert, nach denen die Daten während der Aufnahme von hard- oder softwarebasierten Fehlern bereinigt werden, welche nicht direkt überprüfbar sind. Somit werden die Daten vor dem Speichern von Fehlern befreit, die deren Zuverlässigkeit beeinträchtigen könnten, und daraufhin in einem dateibasierten System gespeichert und in die Datenbank aufgenommen.

Im dateibasierten System wurden verschiedene Herkunftsgruppen erstellt, denen die gesammelten Daten zugeordnet werden, um eine einfachere Suche zu gewährleisten.

Datennutzung

Beobachtungsdaten

Für die Organisation der erhobenen Daten in einer einzigen Infrastruktur ist ein allgemeines, jedoch effizientes und personalisierbares Datenmodellsystem notwendig. Hier wurde das Modell „Sensor Web Enablement“ (SWE) der Open Geospatial Consortium (OGC) eingesetzt. Das SWE beinhaltet eine Reihe von Standardfunktionen, die Folgendes ermöglichen:

- die Suche nach Sensoren, Verfahren und Erhebungen,
- die Zuordnung von Tätigkeiten bei Sensoren und Modellen,
- den Zugang zu den beobachteten Daten und Werten,
- die Einrichtung von Warnsystemen.

Für die Implementierung dieser Standards wurde die Open-Source-Software von 52° North (<http://52north.org/about/52north/>) verwendet bzw. die Software des Projektes Sensor Observation Service (SOS), welche den Zugriff auf Informationen über die Sensoren (Sensor Model Language, SensorML) sowie auf die Erhebungen der Sensoren (Observation & Measurement, O&M) erlaubt. In diesem Zusammenhang kann der Entwickler anhand des SOS – 52°N WML-Modelle und -schemen definieren, um jeglichen Prozess zu beschreiben, darunter auch die Messung anhand eines Sensorsystems sowie die Aufbereitung von Messwerten und Modelldaten.

Dieser Dienst ist ein webbasiertes Instrument, welches die Erhebungen der verschiedenen Geräte (z. B. Feinstaubmessgeräte, Wetterstationen etc.) interoperabel sammelt und bereitstellt – sowohl wenn die Geräte aus fix installierten Sensoren bestehen als auch wenn es sich um mobile, dynamische Geräte (wie etwa an einem UAV installierte oder von einem Arbeiter mitgeführte Sensoren) handelt.

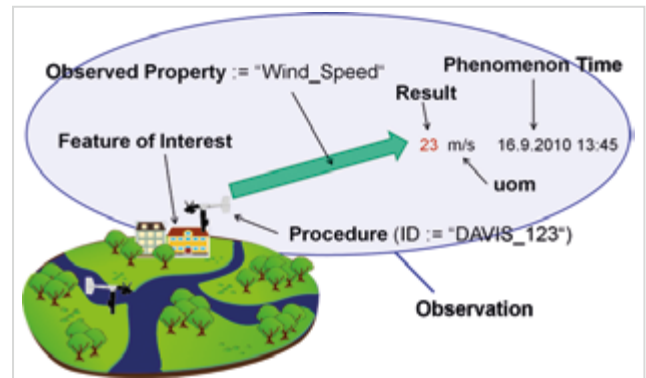


Abbildung 49: Grafische Darstellung des Zusammenhangs zwischen SOS und Sensornetzwerk.

Wie bei allen herkömmlichen webbasierten Diensten können auch mit dem SOS Anfragen (requests) gestellt werden, auf die der Server in XML-Sprache anhand von Daten oder Informationen über den Sensor oder den gesamten Dienst Auskunft gibt (response).

Aufgrund der enormen Datenmenge, die täglich von den unterschiedlichen Sensoren gesammelt wird, erweist sich eine Harmonisierung derselben als unerlässlich, da sich ansonsten die Suche anhand von Katalogen und Suchmaschinen äußerst schwierig gestalten würde, vor allem weil sie weder miteinander verbunden sind, noch ein einheitliches Format haben. Im Rahmen des Projektes MONALISA wurde der SOS-Dienst eingesetzt, um sämtliche Informationen als Ganzes zu vereinheitlichen und in einer einzigen Datenbank zu speichern, welche alle erhobenen Daten aufnehmen kann. Somit stehen diese Daten und deren Informationen nun zur Verfügung und können von der gesamten Wissenschaftsgemeinde genutzt werden.

Fernerkundungsbilder

Die im Rahmen des Projektes MONALISA gesammelten Fernerkundungsdaten (mittels Satellit und UAV) sind georeferenzierte Raster (Bilder): raumbezogene Luftaufnahmen.

Die Aufnahmen lassen sich in einzelne Bilder und Zeitreihen unterteilen. Bei Letzteren handelt es sich – anders als bei einzelnen Aufnahmen – um eine Serie mehrerer Bilder ein- und desselben Interessensgebietes, welche zu unterschiedlichen Zeitpunkten in relativ regelmäßigen Zeitabständen (täglich, alle zehn Tage etc.) aufgenommen wurden. Alle Daten dieser Art werden mit webbasierten OGC-Diensten bereitgestellt: WMS (Web Map Service) und WCS (Web Coverage Service), welche mittels Webanwendung (WebGIS) oder GIS-Desktop-Applikationen (z. B. QGIS) zugänglich sind.

Dadurch können Daten nach einmaliger Speicherung den zugelassenen Endanwendern online zur Verfügung gestellt werden. Forscher können anhand von fernerkundungsbasierten Primärdaten neue Endprodukte erstellen wie z. B. Karten über die Schneebedeckung am Boden

oder über die Vegetation, welche wiederum durch das Netz weiterverbreitet werden können.

Nicht georeferenzierte Bilder

Im Rahmen dieses Projektes wurden auch Daten erhoben, welche nicht zu den zwei vorgenannten Kategorien gehören (Beobachtungsdaten und Rasterdaten). Es handelt sich dabei um Daten, welche mithilfe besonderer Kameras (Phenocam) aufgenommen wurden. Diese nicht georeferenzierten Produkte sind jenen einer Webcam vergleichbar, wobei aber unterschiedliche Sensoren zum Einsatz kommen. Dieser Datentyp wird nicht anhand internationaler Standards definiert und wird als einfaches, im *Dateisystem* gespeichertes Bild zur Verfügung gestellt.

Metadaten

Metadaten sind Informationen zu den Daten und beschreiben auf strukturierte Weise deren Eigenschaften. Bei herkömmlichen Daten, die in einer digitalen Bibliothek gespeichert sind, geben Metadaten z. B. Auskunft über:

- den/die Autor/in
- den Zeitpunkt der Erstellung bzw. der Änderungen
- das Thema
- den/die Inhaber/in
- den Interessensbereich

Sämtliche gespeicherten Daten können mittels Suchbegriff gesucht und als Suchergebnis wieder aufgerufen werden. Metadaten vereinfachen die Suche und erleichtern den Informationsaustausch zwischen Kollegen ein- und derselben Einrichtung sowie innerhalb der Wissenschaftsgemeinde.

Zahlen

Die in der MONALISA_DB gespeicherten Daten stammen von verschiedenen Sensoren unterschiedlicher Forschungseinrichtungen, die im Rahmen des Projekts MONALISA an der Datensammlung beteiligt sind.

Derzeit weist die Datenbank die folgenden Eigenschaften auf:

- Eine einzige Datenbank für die Beobachtungsdaten
- 35 Messstationen, welche in unterschiedlichen Naturräumen im Land Südtirol verteilt sind (siehe Infografik in der Einleitung)
- über 80 installierte Sensoren
- 80 Umweltparameter
- 30 Parameter aus Laboruntersuchungen
- über 30 Millionen Einträge (gespeicherte Beobachtungen)
- über 15.000 Phenocam-Aufnahmen
- 3 Zugangsmöglichkeiten zur DB:
- Webportal
- REST-API (programmierbare Anwendung, die mit jeder Art von Applikation kompatibel ist)
- Direktzugang zur DB PostgreSQL

Dank der laufend erhobenen und automatisch übertragenen oder händisch speicherbaren Daten aus den Stationen steigt die Anzahl der Datensätze ständig an. Dadurch wird eine langfristige Datenzeitreihe erstellt, welche für die Überwachung der Veränderungen in der Umwelt und deren Gesundheitszustandes notwendig sind.

Die Grenzen der Technik

Die im alpinen Gelände installierten Stationen weisen oft Zugangsprobleme auf, sind extremen Wetter- und Umweltbedingungen ausgesetzt und befinden sich an schwer erreichbaren Standorten, an denen oft kein Netz für die Datenübertragung verfügbar ist. Diese Probleme wurden aufgezeigt und zum Teil gelöst. Die Kommunikation innerhalb des Sensornetzes des Projektes stützt sich auf GPRS-Technik, was in einigen Fällen zu Problemen bei der Echtzeitkommunikation zwischen den Überwachungsstationen und der Umweltdatenbank führte. Die technisch bedingten Herausforderungen werden in Zusammenarbeit mit lokalen Unternehmen des Technologieparks Bozen im Rahmen des Labors für Umweltsensorik (Environmental Sensing Laboratory - ES LAB) in Angriff genommen.

Von Umweltdaten zur Apfelqualität

Zu den interessantesten Beispielen für den Gebrauch der MONALISA-Datenbank gehört der Vergleich der im Labor gemessenen Daten über die Apfelqualität mit jenen der Sensoren auf dem Feld.

Für die Schätzung der Apfelqualität wurden unter anderem folgende Eigenschaften gemessen: Zuckergehalt, Festigkeit, Chlorophyllgehalt, Knackigkeit, Gewicht, Größe etc.

Dadurch kann die Apfeligüte im Zusammenhang mit den Umweltbedingungen analysiert werden, die den Reifeprozess der Frucht bestimmt haben. Künftig soll durch die Untersuchung dieses Zusammenhangs, abhängig von den Klimabedingungen während der Reifephase, die Apfelqualität vorhergesagt werden.

Möglich ist dieser Vergleich durch die verschiedenen in der Datenbank gespeicherten Informationen für jede Erhebung. Neben dem Wert des gemessenen Parameters selbst können jeder Erhebung ein Datum und geografische Informationen zugeordnet werden.

Bei den Umweltdaten wird lediglich ein Messdatum vorhanden sein, während bei den Labordaten die Datierung komplexer ist, weil verschiedene Informationen mit im Spiel sind:

1. Datum der Probenahme (Apfelernte)
2. Datum der Messung im Labor
3. Lagerungszeit in den Kühlzellen
4. Zeitspanne zwischen dem Ende der Kühlung und der Messung des Parameters

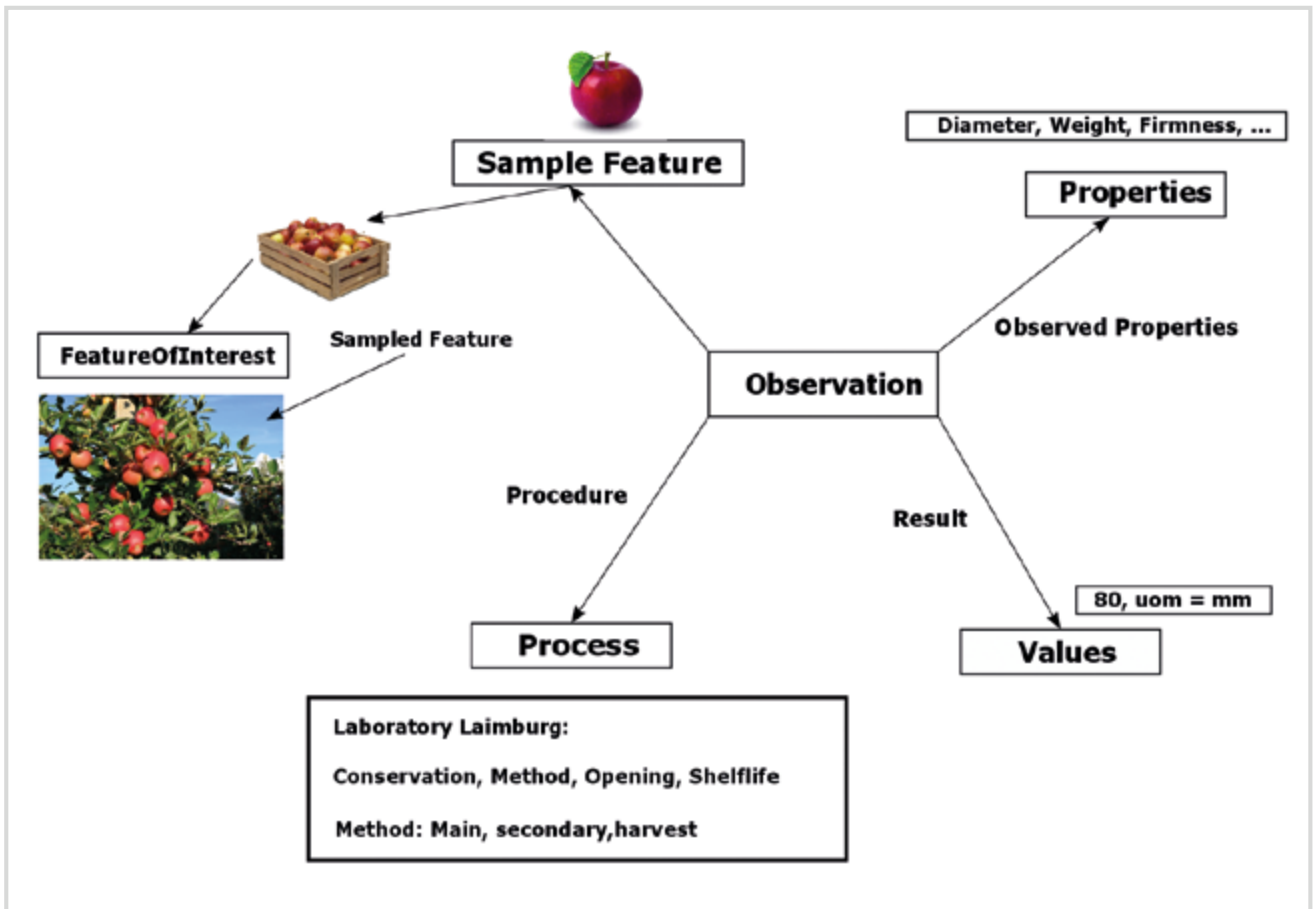


Abbildung 50: Modell der Datensammlung für die Untersuchungen an Äpfeln im Labor

Die geografischen Informationen belegen den Ort, an dem die Messung mittels Sensoren auf dem Feld erfolgt ist bzw. an dem die im Labor analysierte Frucht entnommen wurde.

Im Folgenden sind als Beispiel einige Anfragen angeführt, welche an die Datenbank gerichtet werden können:

1. Vergleich der Apfelqualität nach Herkunftsapfelwiese.
2. Vergleich der Veränderungen in der Apfelqualität (welche zum selben Zeitpunkt in derselben Wiese geerntet wurden) nach x Monaten Kühlagerung und nach y Tagen nach deren Entnahme (SL). Beispiele:
 - Werte zum Zeitpunkt der Ernte
 - Werte nach x Monaten Lagerung
 - Werte nach x Monaten Lagerung und y Tagen SL (Tage nach Entnahme)
3. Vergleich der GDU = Growing Degree Units (GDD(ays)/GDH(ours)) bzw. der cumulative GDD (1. April bis 31. Oktober) nach Wachstumszeitraum /Apfelwiese/Höhenlage/Wachstumsregion.

Das MONALISA-Portal

Der Webservice MONALISA Data Service (<http://monalisasos.eurac.edu/sos>) ist eine personalisierte Version der

Anwendung 52north SOS, welche eine Beschreibung der enthaltenen Beobachtungsdaten liefert und dem Benutzer den Zugang zu sämtlichen Metadaten der Daten des Projektes MONALISA bietet. Zudem kann der Anwender eine Auswahl an erhobenen Projektdaten abrufen und herunterladen.

Die Bereiche des Portals sind:

- Sensor Data – Map View (http://monalisasos.eurac.edu/MONALISA_data_service/#/map): Hier werden die Standorte der Vor-Ort-Stationen auf einer Karte angezeigt. Durch die Konfiguration der gemessenen Parameter und der Zeiträume können die Daten grafisch dargestellt werden. Diese Anwendung ermöglicht das Herunterladen der angezeigten Daten im CSV-Format.
- Phenocam (<http://monalisasos.eurac.edu/sos/static/phenocam.html>): Der MONALISA Data Service bietet des Weiteren ein Anzeigeprogramm für die mittels Phenocams erhobenen Webcam-Aufnahmen, mit denen einige Stationen ausgestattet sind. Die Aktualisierung der Bilder in RGB und im Infrarotbereich erfolgt alle 30 Minuten.

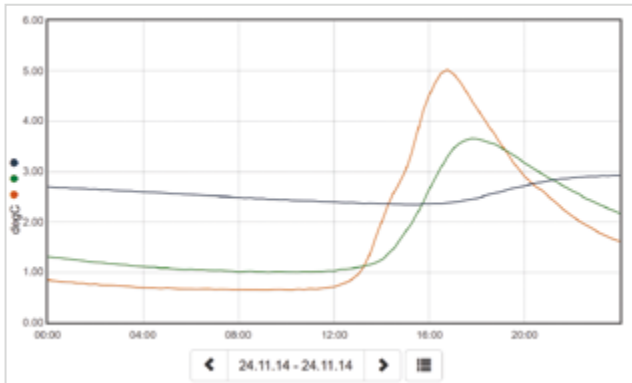


Abbildung 51: Beispiel für die Anzeige der zeitlichen Entwicklungen der beobachteten Parameter

- Metadata: Sämtliche Daten des Projektes MONALISA sind mit Metadaten versehen, welche über den Katalog CWS (Catalogue Web Service) unter <http://sdi.eurac.edu/geonetwork/srv/eng/main.home> abrufbar sind. Hier kann man nach verschiedenen Informationen suchen, wie etwa der Art der eingesetzten Sensoren, der Zeitspanne der Beobachtung des Parameters und dem für die einzelnen Daten verantwortlichen Wissenschaftler.

Webservices für Rasterdaten

Neben dem MONALISA-Portal mit den verfügbaren Stationsdaten, sind gesammelten Daten auch über WMS- (Web MAP Service) und WCS-Dienste (Web Coverage Services) abrufbar. Die Primärdaten sind größtenteils auf einem Dateiserver (Archiv) gespeichert, während die ausgearbeiteten Produkte (Karten) auf dem Server <http://sdi.eurac.edu/geoserver> gespeichert sind.

Zugang zur SOS-Datenbank mittels SOS4R plugin

Zur Ausarbeitung von Produkten verwenden Forscher oft statische open source Softwares wie R. Diese Software ermöglicht die Auswertung der Daten anhand äußerst komplexe Algorithmen und kann somit neue, ausgefeiltere Produkte erstellen.

Die Software R verfügt über das Plugin SOS4R, welches den direkten Zugang zur SOS-Datenbank von 52°North (wie eben die MONALISA_DB) ermöglicht, wodurch die Forscher sämtliche von der Software gebotenen Berechnungs- und Exportfunktionen ausführen können. Ermöglicht wird dies durch den Dienst REST-API, welcher innerhalb des SOS von 52°North implementiert wurde und alternativ von unterschiedlichen Softwares oder Webanwendungen verwendet werden kann. Somit kann das gesamte Forscherteam an ein- und derselben gemeinsamen und ständig aktualisierten Datenbank arbeiten.

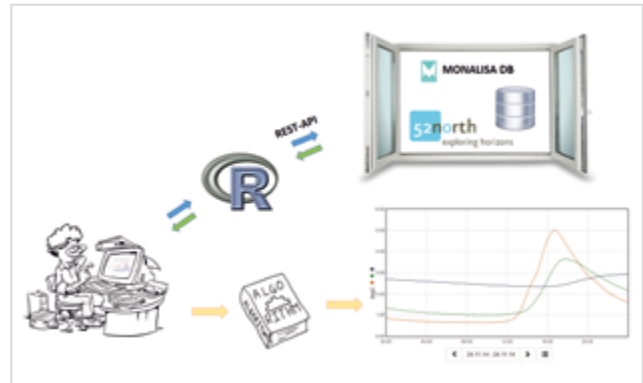


Abbildung 52: Darstellung des Zugangs zur Datenbank mittels des Plugin SOS4R.

Schlussfolgerungen

Die Arbeit zur Organisation und Harmonisierung der heterogenen Daten ermöglichte die Erstellung einer Datenbank welche verschiedenste Datentypen vereinigen konnte. Eine noch offene Herausforderung ist die Harmonisierung der Rasterdatenzeitreihen und eine weitere Aufgabe für die Zukunft besteht in der Intergration der Punktbasierten- und Rasterdaten zur gemeinsamen Verarbeitung bzw. Analyse in geeigneter Software. Die Datenbank beinhaltet derzeit nicht weiter verwendete Umweltinformationen sowie im Labor durchgeführte Beobachtungen über die Qualität der Äpfel. Das System wird es zukünftig erlauben, die notwendigen Analysen zur Korrelation der Umweltparameter mit den Parametern zur Beschreibung der Apfelqualität durchzuführen.

Zusammenarbeit Forschung - Unternehmen

Johannes Brunner, IDM Südtirol

Die enge Zusammenarbeit der Südtiroler Forschungsorganisationen und Unternehmen auf dem Gebiet der Umweltmesstechnik stellt eine Besonderheit des Forschungsprojektes MONALISA dar und unterscheidet es von Vorgängerprojekten, die entweder als reine Forschungs- oder unternehmerische Innovationprojekte ausgelegt waren.



Die Einbindung der Unternehmen Cisma, Mountaineering, Gecosistema und Territorium Online gelang durch Informationsveranstaltungen, bei denen die geplanten Forschungsaktivitäten von Eurac Research und der Universität Bozen vorgestellt und das Kooperationspotential beidseitig aufgezeigt wurde.

Im folgenden Teil werden die involvierten Unternehmen kurz vorgestellt:

CISMA ist ein Umwelttechnik-Unternehmen, das sich auf hydrologische und hydraulische Studien, Umweltfolgenstudien- und -schätzungen, Messkampagnen im Luft- und Wasserbereich und die Anwendung komplexer Methoden der Wettervorhersage spezialisiert.

MOUNTAINEERING bietet Dienstleistungen in den Bereichen Analyse von Naturgefahren zur Vorhersage und Entschärfung der Bedrohung und zum Schutz von gefährdeten Infrastrukturen, hydrologische Analyse der Bergumwelt zur Quantifizierung der Wasserressourcen

und Bestimmung möglicher Zukunftsszenarien und Umweltberechnungen an.

Das Ingenieurbüro GECO SISTEMA ist auf fortgeschrittene Beratungs- und Modellierungsdienste in den Bereichen Wasser, Energie, Umweltverschmutzung und Naturgefahren spezialisiert. Entscheidungsträger im öffentlichen und privaten Sektor werden durch moderne Geographische Informationssysteme (GIS), Fernerkundung, Umweltmodellierung und Bewertungsmethoden unterstützt. TERRITORIUM ONLINE hat sich auf die Entwicklung von mobilen und webbasierten GIS-Lösungen spezialisiert. Die entwickelten Softwarelösungen beinhalten wichtige Funktionen für die Verbesserung der Produktivität, für die Datenverarbeitung, Import- und Exporthandel, Berichtswesen, sowie für die Integration von Daten und Anwendungen.

Die Zusammenarbeit erfolgte zunächst themenspezifisch zwischen jeweils einem Unternehmens- und einem Forschungspartner durch die Definition der gemeinsamen Interessen und die Spezifikation der gegenseitigen Verpflichtungen mit Lieferterminen und Ansprechpartnern. Ein kritischer Punkt dabei war die Klärung der Rechte des im Projekt entstandenen geistigen Eigentums. Hierfür wurden für jedes absehbare Ergebnis wie Messdaten, Softwarealgorithmen oder technische Lösungen den involvierten Partnern die Rechte für Nutzung, Veröffentlichung oder kommerzielle Nutzung zugewiesen. Zusätzlich zu vielen bilateralen Kooperationen wurden mehrere Veranstaltungen mit Experten und Userworkshops mit Anwendern organisiert, um zum einen weitere Unternehmens- und Forschungspartner für das Projekt zu gewinnen und zum anderen eine breitere Öffentlichkeit zu erreichen.

Das Resultat der Zusammenarbeit von Forschung und Unternehmen ist ein gegenseitiges Verständnis und Vertrauen, das durch den intensiven Austausch im Laufe der mehrjährigen Projektzusammenarbeit entstanden ist, und auf dem zukünftige Zusammenarbeiten aufbauen können. Die Forschungspartner durften im Gegenzug für ihr Wissen und ihre Expertise durch die Unternehmen interessante Anwendungen, neue Nutzer und eine nachhaltige Finanzierung kennenlernen. Andererseits konnten Unternehmen vom fundierten Wissen und den entwickelten Technologien und Methoden mehrjähriger wissenschaftlicher Forschungstätigkeit profitieren.

Die beteiligten Unternehmen

CISMA

Über uns

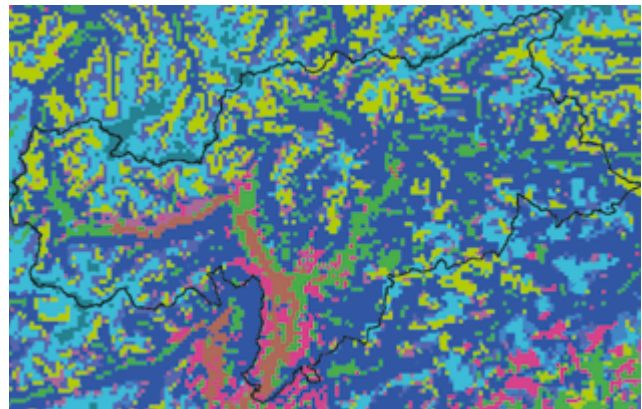
Die Firma CISMA ist auf Studien und Lösungen im Bereich Umweltprobleme spezialisiert; zu ihren Schwerpunkten gehören Innovation und Transfer der neuesten Techniken. Die Tätigkeitsbereiche der Firma CISMA sind:

- Umweltverträglichkeitsstudien
- Wettervorhersagen
- Maßnahmen in den Bereichen Luftqualität und Hydro-meteorologie
- Bewertung des Energiepotentials

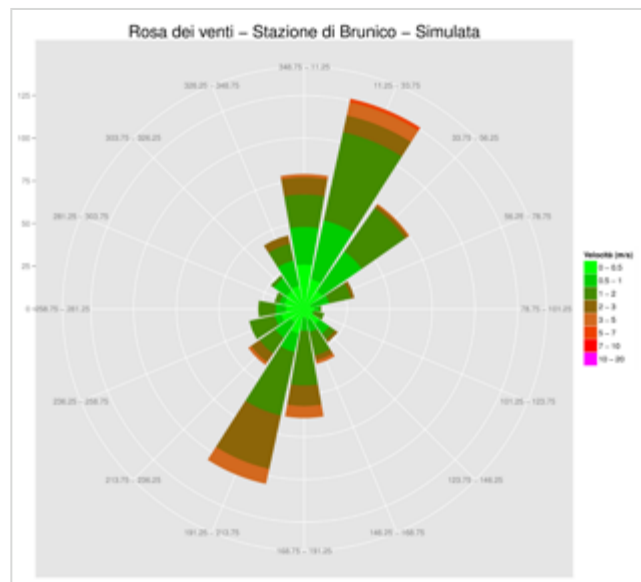
Projekt MONALISA

Ziel des Projektes MeteoAlp ist die Entwicklung von Methoden und Produkten der angewandten Meteorologie im Rahmen des Projektes MONALISA. Letzteres zielt auf die kontinuierliche und räumlich flächendeckende Überwachung von Umweltparametern ab, welche zu einer verbesserten Verwaltung der Umweltaktivitäten führen könnte. Das Projekt bestand aus zwei miteinander verbundenen Teilen, deren Ergebnisse auf zweierlei Weise zum Einsatz kommen können. Der erste Teil (von CISMA GmbH entwickelt) sah die Ausarbeitung einer Methode für die Erstellung eines Klimaatlas für das gesamte Land Südtirol vor. Ermöglicht wurde dies durch die Rekonstruktion des Verlaufs der vergangenen meteorologischen Verhältnisse im Zeitraum von zehn Jahren mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung. Im zweiten Teil (in Zusammenarbeit mit Mountain-eering GmbH entwickelt) wurden Methoden und Instrumente ausgearbeitet, welche meteorologisch-hydrologische Produkte für die Vorhersage klimatischer Szenarien liefern können.

Die diagnostischen Produkte können bei der Rekonstruktion vergangener klimatischer Verhältnisse eines bestimmten Interessensgebietes eingesetzt werden; die prognostischen können hingegen bei der Bewertung von künftigen Umweltvariablen zum Einsatz kommen. Zu den Nutzungsbereichen dieser Produkte zählen unter anderem die Verwaltung von landwirtschaftlichen Wasserressourcen, Zivilschutz, Tourismus und Produktion erneuerbarer Energie (Sonnen-, Wasser- und Windenergie).



Beispiel einer Bodennutzungskarte mit Auflösung 0,5 km



Beispiel einer vom System generierten Windrose

GECOSISTEMA

Über uns

GECOSistema GmbH ist ein Ingenieurbüro für Umwelt- und Raumfragen, das 2001 als Spin-off des Projektes Spinner (www.spinner.it) entstand, und betreibt neben dem Firmensitz in Cesena eine Forschungs- und Entwicklungsabteilung in Bozen. Zu den Schwerpunkten unserer Tätigkeit gehören die Umsetzung von Entscheidungsunterstützungssystemen (**SDSS**) mit Web-GIS-Technik, die mathematische Modellierung für Umweltverträglichkeitsprüfungen und Umweltgenehmigungen von Projekten und Plänen (**VIA-VAS**), Geografische Informationssysteme (**GIS**), angewandte Forschung sowie Verwaltungsdienste in den Bereichen Wasserressourcen und Klimawandel (**Water&Climate-Services**). Genauere Informationen über unser Team und unsere Tätigkeit sind unter www.gecosistema.com abrufbar.

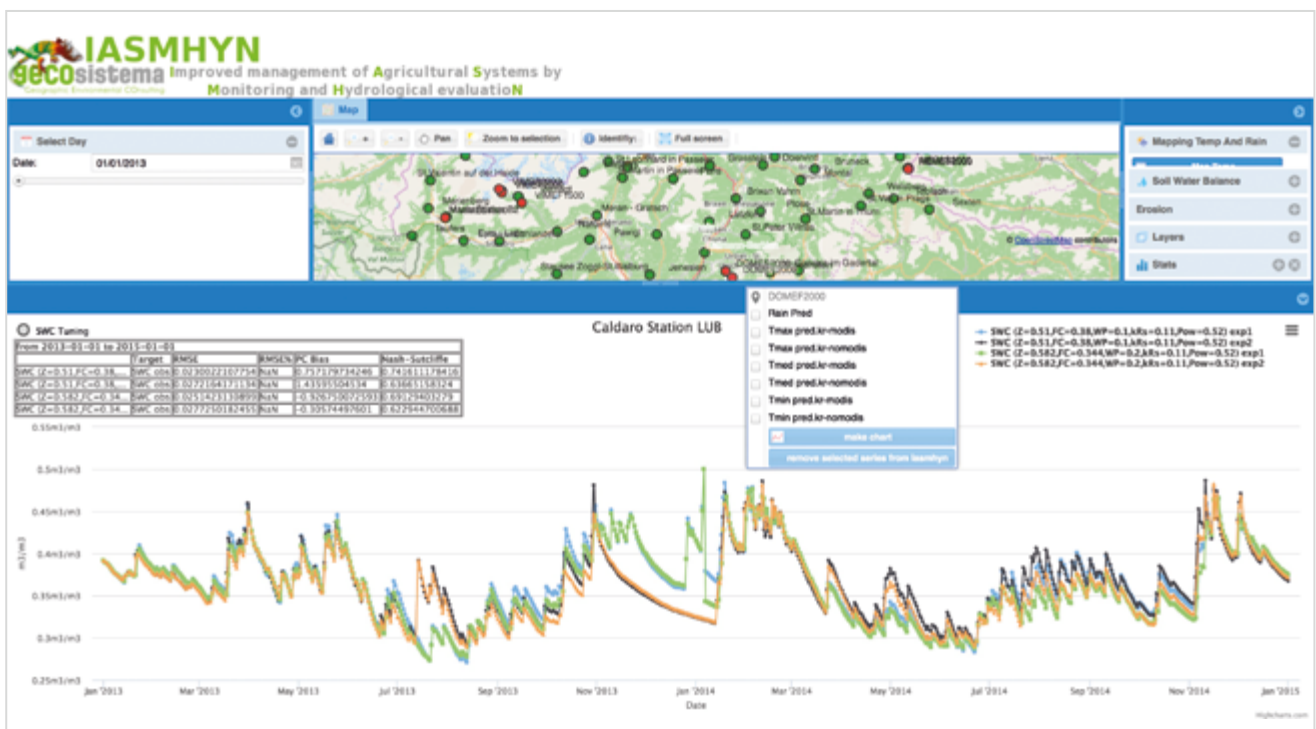
Projekt MONALISA

Im Rahmen des Projektes MONALISA hat GECOSistema

den Service IASMHYN entwickelt. Dieser innovative Dienst liefert in Echtzeit (*near real-time*) hochauflösende tägliche Karten über die wichtigsten landwirtschaftlich-klimatischen Parameter wie Temperatur, Niederschlag, Bodenfeuchte, reelle Evapotranspiration und Schneefall.

IASMHYN unterstützt verschiedene Stakeholder (Landwirte, Wassermanager, landwirtschaftliche Dienste auf Landes- und Regionalebene, Tierzüchter, hydrografische Dienste, Umweltschutzeinrichtungen) bei der Verwaltung von Wasserressourcen und Bewässerungstätigkeiten, bei der Kartierung und der Überwachung des Wasserverbrauchs, aber auch bei der Vorhersage von Umweltrisiken im Zusammenhang mit Klimawandel und extremen Wetterereignissen wie etwa Bränden, Dürre und Hochwasser. IASMHYN ist als Webservice unter <http://gecosistema.com/iasmhyn> verfügbar.

Die Erfahrung mit IASMHYN hat gezeigt, dass die Ergänzung von Satelliten- bzw. Radardaten und bodengestützten Erhebungsdaten mit einfachen Modelldarstellungen des Bodens hochauflösende tägliche Karten der wichtigsten landwirtschaftlich-klimatischen Variablen auch ohne komplexe Modellierungssysteme liefert.



MOUNTAIN-EERING SRL

Über uns

Mountain-eering GmbH (www.mountain-eering.com) wurde 2008 als beratende Ingenieurfirma für Umweltthemen gegründet. Als erste Spin-off-Gesellschaft der Universität Trient wurde sie zu einem technologischen Unternehmen des TIS und daraufhin der IDM.

Mountain-eering GmbH bietet Ingenieur-, Beratungs- und Weiterbildungsdienste in den Bereichen Naturgefahrenanalysen und Wasser-/Schneeprobleme im Gebirge an. Dabei fließen die Ergebnisse der aktuellsten wissenschaftlichen Forschung in die Ingenieur Tätigkeit ein. Zu den Hauptaufgabenbereichen gehören:

- Naturgefahrenanalyse bei hydrogeologischen Katastrophen wie Murgängen, Erdbeben, Steinlawinen, Überschwemmungen und Steinschlag zur Unterstützung bei Raumplanung und -schutz;
- hydrologische Analyse der Bergumwelt (z. B. Flüsse, Gletscher, Hochgebirge) zur Quantifizierung der Wasserressourcen und Identifikation möglicher Zukunftsszenarien;
- Umweltmonitoring und Wassermessungen in Bergflüssen;
- topographische Erhebungen zur Charakterisierung von Gewässerbetten.

Projekt MONALISA

Mountain-eering GmbH hat im Rahmen des Projektes MONALISA in Zusammenarbeit mit der Firma Cisma GmbH das Produkt MeteoAlp – ein neues Vorhersage- und Monitoringsystem für Umweltvariablen – entwickelt. Das von Mountain-eering GmbH entwickelte System schätzt hydrologische Variablen durch einen Algorithmus, welcher den physikalischen Gesetzen der Massen- und Energieerhaltung entspricht. Durch die Anwendung wurde die Entwicklung der Schneebedeckung in Form von dynamischen Karten veranschaulicht. Weitere Produkte waren eine WebGIS-Infrastruktur und eine App für die Anzeige der Karten in den neuesten Systemen.

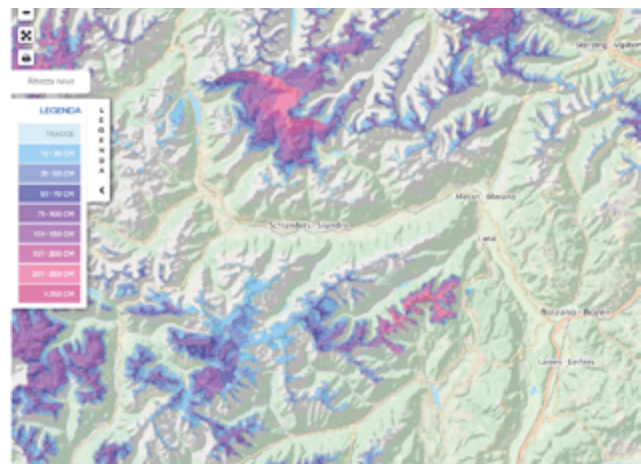
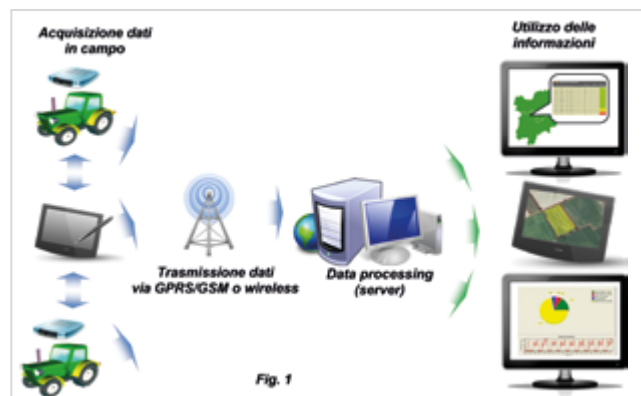
TERRITORIUM ONLINE

Über uns

Die Unternehmensgruppe TOL mit ihren Standorten in Heidelberg, München und Bozen ist ein IT System- und Entwicklungshaus für CAFM/CMMS-, GIS- und CAD-basierte Lösungen.

Projekt MONALISA

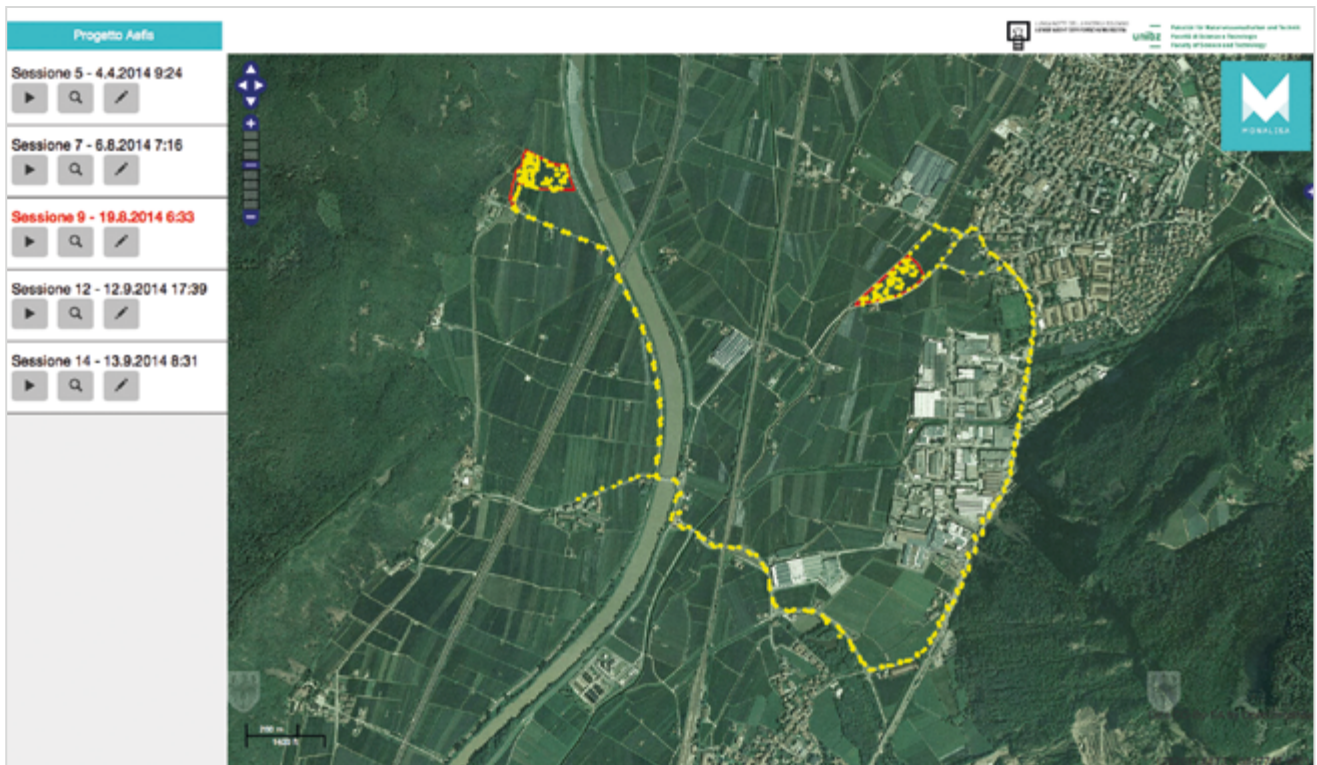
Allgemeines Ziel des **Projektes MONALISA** war die Ermittlung und Prüfung der besten Hardware- und Software-Lösungen sowie deren möglicher Ausbau, um eine Client-Server-Plattform zu entwickeln, welche die Beobachtungsdaten von mechanisierten Einsätzen in Land- und Forstwirtschaft im alpinen Raum sammeln, organisieren und verwalten kann. Das System von MONALISA (Abb. 1) besteht aus Hardware- und Softwarekomponenten, welche respektive zur Sammlung und Verwaltung der Daten dienen. Dabei wurden die Traktoren mit Dataloggern und die Bearbeitungsmaschinen mit Funksendern ausgerüstet. Die Daten werden an ein Zentralsystem gesendet, das sie speichert und aufbereitet. Eigene Webclients ermöglichen den Benutzern die Einsichtnahme in sämtliche Informationen über die Eingriffe in ihrem Betrieb.



Im Laufe des Projektes wurden verschiedene technologische Lösungen getestet, um die Anforderungen zu ermitteln, welche die einzelnen Systemkomponenten und das System als Ganzes erfüllen müssen, um als effiziente Verwaltungsinstrumente der landwirtschaftlichen Betriebe zu Einsatz kommen zu können.

Dank der genehmigten Kofinanzierung und der Zusammenarbeit mit der Universität konnten wichtige Kompetenzen und ein umfassendes Know-how im Bereich

operatives Monitoring in landwirtschaftlichen Betrieben erworben werden. Diese Kompetenzen werden in das automatische Monitoring im Weinbauinformationssystem (WIS) einfließen, welches kürzlich von der Firma TOL entwickelt wurde. Künftig werden also die Tests weitergeführt und die Module zur Datensammlung auf dem Feld und deren Übertragung an den Server sowie zur Ermittlung der eingesetzten Wirkstoffe mittels Smartphone weiter ausgebaut.



Rekonstruktion der mechanisierten Eingriffe des Pilotbetriebes. Anwendung aus der Demo LuNa.

Schlussfolgerungen: Das Projekt MONALISA und der NOI – Nature Of Innovation, Technologiepark Bozen

Andrea Vilardi

Ab Ende 2017 wird der **NOI – Nature Of Innovation, Technopark Südtirol/Alto Adige** zur Schnittstelle zwischen Forschung und Unternehmen in den Bereichen Food Technology, Automation, Green Technology und Alpine Technology (nähere Infos unter <https://noi.bz.it>). Das Projekt MONALISA galt bereits in der Entwicklungsphase als möglicher Lieferant wissenschaftlich-technologischer Informationen für den Park, besonders aufgrund seines Bestrebens, durch die Zusammenarbeit von Unternehmen und Forschungseinrichtungen ein neues Ökosystem für Innovation in Südtirol zu bilden. Einige Ergebnisse des Projektes – darunter vor allem im Zusammenhang mit der Datenbank – werden durch die Gründung des **Labors** für Umweltsensorik **von Eurac Research** in vollem Umfang in den Tätigkeitsbereich des Parks aufgenommen. Ziel des Labors ist die technische Unterstützung bei der Ausarbeitung von qualitativ hochwertigen Dienstleistungen im Bereich Umweltmonitoring. Das Projekt wird die Festigung und den weiteren Ausbau eines integrierten Informationssystems für die Ver-

waltung, Untersuchung und Nutzung von in Südtirol gesammelten Daten und von kostengünstigen Technologien mit Mikrocontrollern bzw. Mikroprozessoren für die Verwaltung und Erhebung von Daten mittels Sensorik ermöglichen.

Zudem wird das Labor den Austausch des von Eurac Research generierten Know-hows im Bereich Umweltmonitoring erleichtern bzw. fördern, um Forschung und Innovation einander näher zu bringen und technologische Lösungen zu liefern, welche verschiedenen sozialen und wirtschaftlichen Bereichen wie Alpine Technology, Landwirtschaft, Naturgefahren und Tourismus zugutekommen werden.

Insbesondere wird das Labor den gesamten Lebenszyklus der Daten begleiten, von der Planung und Gestaltung der Erhebung - unter Berücksichtigung der Sensoren und der Technologien für die Informationsübertragung -, über die Systeme für die Sammlung, Organisation und Auswertung der Daten, bis hin zu den Überwachungs- und Verteilersystemen von Produkten und Dienstleistungen.

Veröffentlichungen

Wasser und Kohlenstoff

Paper

On the energy balance closure and net radiation in complex terrain. Wohlfahrt, G., Hammerle, A., Niedrist, G., Scholz, K., Tomelleri, E., Zhao, P. (Agricultural and Forest Meteorology, Volumes 226-227, 15 October 2016, Pages 37-49).

Assessment of climate change effect on intrinsic water use efficiency of two European Norway spruce chronosequences by a multi-stable isotope approach ISI Paper submitted to Tree Physiology F. Giammarchi; P. Cherubini; H. Pretzsch; G. Tonon

Two-source energy balance modeling of evapotranspiration in Alpine grasslands. Remote Sensing of Environment, submitted July 2016. M. Castelli, M.C. Anderson, Y. Yang, G. Wohlfahrt, G. Bertoldi, G. Niedrist, A. Hammerle, P. Zhao, M. Zebisch, C. Notarnicola

The integrated hydrologic model intercomparison project, IH-MIP2: A second set of benchmark results to diagnose integrated hydrology and feedbacks. Water Resour. Res. Accepted Author Manuscript. doi:10.1002/2016WR019191 (2016) S. Kollet, M. Sulis, R. Maxwell, C. Paniconi, M. Putti, G. Bertoldi, E.T. Coon, E. Cordano, S. Endrizzi, E. Kikinzon, E. Mouche, C. Mügler, Y.-J. Park, J. C. Refsgaard, S. Stisen, and E. Sudicky

Estimation of soil moisture in mountain areas using SVR technique applied to multiscale active radar images at C band, L. Pasolli, C. Notarnicola, G. Bertoldi, L. Bruzzone, R. Remelgado, F. Greifeneder, G. Niedrist, S. Della Chiesa, U. Tappeiner and M. Zebisch, , IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing 01/2015; 8(1):262-283 (Paper)

Soil moisture estimation by SAR in Alpine fields using Gaussian Process Regressor trained by model simulations, J. Stamenkovic, L. Guerriero, P. Ferrazzoli, C. Notarnicola, F. Greifeneder, J-P. Thiran, in press 2017 Transaction on Geoscience and Remote Sensing.

Proceedings

On the concept of a multi-scale integrated environmental monitoring system for South Tyrol, Proceedings of the Workshop on UAV-based Remote Sensing Methods for Monitoring Vegetation. 09. -10.09.2013, University of Cologne, Germany, A. Vilardi, C. Notarnicola, E. Tomelleri, R. Monsorino, M. Zebisch

On the additional information content of hyperspectral remote sensing data for estimating ecosystem carbon

dioxide and energy exchange, G. Wohlfahrt, A. Hammerle, and E. Tomelleri. Geophysical Research Abstracts Vol. 17, EGU2015-7193, 2015 EGU General Assembly 2015

Multiple years monitoring of Carbon fluxes by eddy covariance in an apple orchard Proceedings of the XXIX International Horticultural Congress (IHC2014); 17-22 August 2014, Brisbane (Australia) D. Zanotelli, L. Montagnani, G. Manca, F. Scandellari, M. Tagliavini

Multiple years monitoring of Carbon fluxes and allocation pattern in an apple orchard The Earth Living Skin: Soil Life and Climate Changes (EGU – SSS Conference). Proceeding of ELS2014 conference, Bari 22-25 September 2014 D. Zanotelli, L. Montagnani, G. Manca, F. Scandellari, F. Mazzetto, W.B. Melo, P. Cassol, M. Tagliavini

The Integrated Hydrologic Model Intercomparison Project, IH-MIP2: A second set of benchmark results to diagnose integrated hydrology and feedbacks. Proceedings of the XXI CMWR Conference, 20-24 June 2016, Toronto, Canada. S. Kollet, M. Sulis, R. Maxwell, C. Paniconi, M. Putti, G. Bertoldi, E.T. Coon, E. Cordano, S. Endrizzi, E. Kikinzon, E. Mouche, C. Mügler, Y.-J. Park, J. C. Refsgaard, S. Stisen, and E. Sudicky

Talks

HPC needs for Integrated Hydrological Models: examples of application of the GEOTop model to the Vienna Scientific Cluster, G. Bertoldi G., Senoner S., Cordano E., Endrizzi S., Dall'Amico, and S. Cozzini. Austrian HPC Meeting 2017 - AHPC17, Grundlsee, Austria, March 1-3, 2017.

Mapping Evapotranspiration in the Alps through Two-Source Energy-Balance Models and Multi-Satellite Data Fusion: Scale Effects in Heterogeneous Landscapes. Abstract H31J-05; Fall Meeting, AGU, San Francisco, Calif., 14-18 Dec 2015. M. Castelli, Anderson, Y. Yang, G. Wohlfahrt, G. Bertoldi, E. Tomelleri, C. Notarnicola

Poster

Impacts of climate change on spatial distribution of snow, evapotranspiration and soil moisture in an Alpine Region. ROME2015 - Science Symposium on Climate, November 19-20, 2015, FAO Headquarters, Rome, Italy. (poster) G. Bertoldi, J. Brenner, S. Della Chiesa, G. Niedrist, U. Tappeiner

Vegetation und Boden

Paper

On the relationship between ecosystem-scale hyperspectral reflectance and CO₂ exchange in European mountain grasslands. Balzarolo, M., Vescovo, L., Hammerle, A., Gianelle, D., Papale, D., Tomelleri, E., Wohlfahrt, G. (2015). Biogeosciences, 12, 3089, 3108

Phenopix: A R-package for image-based vegetation phenology. Filippa, G., Cremonese, E., Migliavacca, M., Galvagno, G., Forkel, M., Wingate, L., Tomelleri, E., Morra di Cella, U., Richardson, A.D. (2016). *Agricultural and Forest Meteorology*, Volume 220, Pages 141, 150

Time scale effects on the environmental control of carbon and water fluxes of an apple orchard. L. Montagnani, M. Tagliavini, D. Zanotelli, E. Tomelleri. Submitted to *Global Change Biology* (31.3.2017)

Retrieval of leaf area index in mountain grasslands in the Alps from MODIS satellite imagery, Article *Remote Sensing of Environment* 165, p. 159-174 (2015), L. Pasolli, S. Asam, M. Castelli, L. Bruzzone, G. Wohlfahrt, M. Zebisch, C. Notarnicola

Analysis of rockfall protection function temporal patterns in an uneven-aged forest by using LiDAR-derived data as input for Rockyfor3D and Samsara2 models ISI Paper Submitted to *Iforest*, V. Floreancig, J. Monnet, F. Bourrier, G. Lagarrigues, V. Lafond, A. Antonello, S. Franceschi, A. Andriolo, F. Comiti, G. Tonon

Net ecosystem carbon balance of an apple orchard Article *European Journal of Agronomy*, 2015- 63:97-104 D. Zanotelli, L. Montagnani, G. Manca, F. Scandellari, M. Tagliavini (Paper)

Effect of fruit load on the photosynthetic capacity and on the ecological light use efficiency of an apple orchard Article *Acta Hort.* – submitted D. Zanotelli, F. Scandellari, W.B. Melo, P. Cassol, M. Tagliavini

Farmer data sourcing. The case study of the spatial soil information maps in South Tyrol. Submitted to *Geoderma* 2017. S. Della Chiesa, D. La Cecilia, A. Balotti, M. Thalheimer, U. Tappeiner, G. Niedrist.

Evaluation of a Lidar-based 3D-stereoscopic vision system for the automatic monitoring of the canopy vigour status in orchards ISI Paper Submitted to *Biosystems Engineering*, M. Bietresato, R. Vidoni, A. Gasparetto, F. Mazzetto

Proceedings

UAV-based NDVI calculation over grassland: An alternative approach. A. Mejia-Aguilar, E. Tomelleri, S. Asam, and M. Zebisch. *Geophysical Research Abstracts* Vol. 18, EGU2016-12659, 2016
EGU General Assembly 2016

Hyperspectral data for scaling ecosystem traits from point to landscape, E. Tomelleri, S. Asam, C. Notarnicola. Abstract B41N-06 presented at 2014 Fall Meeting, AGU, San Francisco, Calif., 15-19 Dec.

Calibration of Cosmic Ray Neutron Probes in complex systems: open research issues. L. Piussi, E. Tomelleri, G. Bertoldi, M. Zebisch, G. Niedrist, G. Tonon. *Geophysical Research Abstracts* Vol. 19, EGU2017-19500, 2017 EGU General Assembly 2017

UAV based tree height estimation in apple orchards: potential of multiple approaches. A. Mejia-Aguilar, E. Tomelleri, A. Vilardi, and M. Zebisch. *Geophysical Research Abstracts* Vol. 17, EGU2015-7082, 2015 EGU General Assembly 2015.

Forest protection function and uneven-aged management: a case study on the evolution of rockfall hazard for different forest opening sizes Contribution to conference V. Floreancig, J. Monnet, F. Bourrier, G. Lagarrigues, A. Antonello, S. Franceschi, A. Andriolo, F. Comiti, G. Tonon.

Modelling Feedbacks between Vegetation and Soil Moisture in Mountain Grasslands. Proceedings of the XXI CMWR Conference, 20-24 June 2016, Toronto, Canada. G. Bertoldi, C. Notarnicola, J. Brenner, F. Greifeneder, M. Castelli, G. Niedrist, U. Tappeiner

Modellazione degli impatti del cambiamento climatico sulla distribuzione spaziale dell'evapotraspirazione, dell'umidità del terreno e del manto nevoso in una vallata alpina. Atti del XXXIV Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, pp 364-365, Bari, 7-10 Settembre 2014. J. Brenner, G. Bertoldi, S. Della Chiesa, G. Niedrist, U. Tappeiner, A. Bronstert (Proceedings)

Un confronto multi-temporale tra la stima dell'umidità del terreno con immagini SAR e modello idrologico in ambito alpino. Atti del XXXIV Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, pp 301-302, Bari, 7-10 Settembre 2014. G. Bertoldi, C. Notarnicola, F. Greifeneder, G. Cuozzo, S. Della Chiesa, G. Niedrist, U. Tappeiner

Soil moisture estimation using synergy of optical, SAR, and topographic data with Gaussian process regression, SPIE Remote Sensing, Amsterdam, Netherlands, September 2014. J. Stamenkovic, C. Notarnicola, N. Spindler, G. Cuozzo, G. Bertoldi, G. Niedrist, S. Della Chiesa, F. Greifeneder, D. Tuia, M. Borgeaud, J. P. Thiran,

The role of soil moisture on the coevolution of soil and vegetation in mountain grasslands. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 18, EGU2016, 14925-1, 2016. EGU General Assembly 2016- Vienna, Austria, 18-22 April 2016. G. Bertoldi, C. Notarnicola, J. Brenner, M. Castelli, F. Greifeneder, G. Niedrist, J. Seeber, U. Tappeiner

Farmer data sourcing. The case study of the spatial soil information maps in South Tyrol. *Geophysical Research Abstracts* Vol. 19, EGU2017-12701, 2017 EGU General Assembly 2017. S. Della Chiesa, G. Niedrist, M. Thalheimer, H. Hafner, D. La Cecilia

UAV-based NDVI calculation over grassland: An alternative approach, Abraham Mejia-Aguilar, Enrico Tomelleri, Sarah Asam, and Marc Zebisch, *Accademia Europea di Bolzano (EURAC)*, Istituto per il Telerilevamento Applicato, Bolzano, Italy, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 18, EGU2016-12659, 2016, EGU General Assembly 2016

On the design of a Mechatronic Mobile System for Laser Scanner Based Crop Monitoring Contribution to conference 14th Mechatronics Forum International Conference M. Bietresato, P. Boscariol, A. Gasparetto, F. Mazzetto, R. Vidoni

Design and first tests of a vision system to be placed on a tele-operated vehicle for monitoring the canopy vigour status in orchards Contribution to conference 1st Conference on Proximal Sensors Supporting Precision Agriculture, M. Bietresato, R. Vidoni, A. Gasparetto, F. Mazzetto

Integrating Remote And Ground-Based Sensing Techniques for Faster Diseases Detection In Vineyards. Gallo R., Ristorto G., Daglio G., Massa N., Berta G., Lazzari

M., Mazzetto F., 2017 - In Proceedings of EFITA conference. Montpellier (France)

A tracked mobile robotic lab for monitoring the plants volume and health. Bietresato M., Carabin G., D'Auria D., Gallo R., Ristorto G., Mazzetto F., Vidoni R., Gasparetto A., Scalera L., 2016, August. In Mechatronic and Embedded Systems and Applications (MESA), 2016 12th IEEE/ASME International Conference on (pp. 1-6). IEEE.

Tracked robot over a slope path: Dynamic stability control. D'Auria, D., Ristorto, G., Gallo, R., Mazzetto, F., 2016 - Proceedings - 2016 IEEE 17th International Conference on Information Reuse and Integration, IRI 2016

New solutions for the automatic early detection of diseases in vineyards through ground sensing approaches integrating LiDAR and optical sensors. Gallo R., Ristorto G., Daglio G., Massa N., Berta G., Lazzari M., Mazzetto F., 2017 - In Proceedings of CIOSTA conference "Research and Innovation for the Sustainable and Safe Management of Agricultural and Forestry Systems". Palermo (Italy).

A Mobile Laboratory for Orchard Health Status Monitoring in Precision Farming. Ristorto G., Gallo R., Gasparetto A., Scalera L., Vidoni R., Mazzetto F., 2017 - In Proceedings of CIOSTA conference "Research and Innovation for the Sustainable and Safe Management of Agricultural and Forestry Systems". Palermo (Italy).

Talks

Leaf Area Index derivation from hyperspectral remote sensing data based on radiative transfer model inversion in heterogeneous grassland 9th EARSEL SIG Imaging Spectroscopy Workshop, 14-16 April, Luxembourg, S. Asam, J. Verrelst, D. Klein, C. Notarnicola

Phenological monitoring based on biophysical remote sensing products adapted to alpine areas, Contribution to Phenology 2015 Conference, 5. - 8. October 2015, Kusadasi, Turkey, S. Asam, J. Staab, M. Callegari, A. Costa, L. De Gregorio, F. Greifeneder, R. Monsorno, C. Notarnicola

Applicazioni agro-forestali di droni in Alto-Adige. Droni e professioni tradizionali viste nell'ottica del domani, Tomelleri, E., Mejia-Aguilar, A., Castelli, M., Thiebes, B., Schlögel, R., Franceschi, S., San Michele all'Adige (I) - May 2016

Validation of LiDAR-based methods for tree tops and crown extraction: a case study from South Tyrol IX Congresso Nazionale SISEF, V. Floreancig, A. Antonello, F. Comiti, A. Andriolo, G. Tonon

A GIS based toolbox for forestry analysis - comparison of methodologies. Tyrol IX Congresso Nazionale SISEF A. Antonello, V. Floreancig, F. Comiti, G. Tonon

Feedbacks between vegetation and soil moisture in mountain grasslands, Abstract H33M-01; 2015 Fall Meeting, AGU, San Francisco, Calif., 14-18 Dec 2015. M. Castelli, G. Bertoldi, C. Notarnicola, J. Brenner, F. Greifeneder, G. Niedrist, U. Tappeiner

Monitoring soil moisture to improve irrigation efficiency in apple orchards in South Tyrol, Tagungsprogramm Zoologische und botanische Forschung in Südtirol-Programm del convegno Ricerca zoologica e botanica in Alto

Adige_04-05.09.2014 S. Della Chiesa, G. Niedrist, G. Bertoldi, H. Hafner, M. Thalheimer, M. Zebisch, C. Notarnicola, U. Tappeiner

Temporal and spatial soil moisture dynamics in mountain meadows by integrating Radarsat2 images and ground data, IGARSS 2014&35th Canadian Symposium on Remote Sensing, Quebec, Canada, 13-18 July 2014. C. Notarnicola, L. Pasolli, G. Cuzzo, F. Greifeneder, G. Bertoldi, S. Della Chiesa, G. Niedrist, D. Castelletti, U. Tappeiner, L. Bruzzone, M. Zebisch

Irrigazione mirata nella frutticoltura altoatesina. 48ima Giornata Frutticola. Cortina s.s. del Vino (ITA) 07.02.2017 S. Della Chiesa, G. Niedrist, R. Wiedmer, H. Hafner.

Bedarfsorientierte Bewässerung im Südtiroler Obstbau. 61. Obstbautagung, Meran (ITA) 11.01.2017. G. Niedrist, S. Della Chiesa, R. Wiedmer, H. Hafner.

Flächendeckendes Bodenfeuchte-Monitoring im Südtiroler Obstbau. Obstbau-Weinbau, 1/2017, 5-10. G. Niedrist, S. Della Chiesa, R. Wiedmer, H. Hafner, M. Zöschg.

Monitoraggio estensivo dell'umidità del terreno nella frutticoltura altoatesina. Frutta e vite. 1/2017, 15-20. G. Niedrist, S. Della Chiesa, R. Wiedmer, H. Hafner, M. Zöschg.

Poster

Integration of multiple sensors for vegetation monitoring in Alpine areas, Poster: IEEE Sensors 2014, 2-5.11.2014, Valencia, Spain A. Vilaridi, A. Mejia-Aguilar, C. Notarnicola, E. Tomelleri, R. Monsorno, M. Zebisch

Monitoring soil moisture dynamics and irrigation efficiency in apple orchards field in the Venosta and Adige Valleys. Giornate dell'Idrologia 2016 - Trento, 27-29 giugno 2016. S. Della Chiesa, D. la Cecilia, G. Niedrist, H. Hafner, M. Thalheimer, G. Bertoldi, J. Brenner, U. Tappeiner

The green South Tyrol, monitoring and modelling the water budget of the irrigated mountain meadows and pasture. Società Idrologica Italiana, Giornate dell'Idrologia 2016 - Trento, 27-29 giugno 2016. G. Bertoldi, C. Notarnicola, J. Brenner, F. Greifeneder, M. Castelli, E. Cordano, G. Niedrist, U. Tappeiner

Monitoring soil moisture patterns in alpine meadows using ground sensor networks and remote sensing techniques. Geophysical Research Abstracts, Vol. 17, 2015, European Geosciences Union, General Assembly 2015 - Vienna, Austria, 12-17 April 2015. G. Bertoldi, J. Brenner, C. Notarnicola, F. Greifeneder, I. Nicolini, S. Della Chiesa, G. Niedrist, U. Tappeiner

Modellierung der Auswirkungen des Klimawandels auf Evapotranspiration und Bodenfeuchte in einem Alpen Einzugsgebiet (Venosta/Vinschgau, Südtirol, Italien). Tri-nationales Workshop - Hydrologische Prozesse im Hochgebirge, Obergurgl (AT) 28-30/9/2014. G. Bertoldi School

UAV and biogeochemical cycling (ABEL), Training school

Operatives Monitoring

Paper

GNSS-based operational monitoring devices for forest logging operation chains Journal of Agricultural Engineering, 44(2s). R. Gallo, S. Grigolato, R. Cavalli and F. Mazzetto

Developing an Automated Monitoring System for Cable Yarding Systems ISI Paper Submitted to CROJFE Croatian Journal of Forest Engineering, R. Gallo, R. Visser, F. Mazzetto

Proceedings

An ICT application for the assessment of biomass weight during yarding operations Contribution to conference EurAgEng 2015 R. Gallo, F. Mazzetto

A new approach for the assessment of timber weight during cable yarding: some preliminary results Contribution to conference AIIA 2015 R. Gallo, F. Mazzetto

IASMHYN: A web tool for mapping Soil Water Budget and agro-hydrological assessment trough the integration of monitoring and remote sensing data. Geophysical Research Abstracts, Vol. 18, EGU2016, 12253, 2016. EGU General Assembly 2016- Vienna, Austria, 18-22 April 2016. (talk) S. Bagli, A. Pistocchi, P. Mazzoli, M. Borga, G. Bertoldi, J. Brenner, V. Luzzi

An interdisciplinary open-air laboratory to study Alpine ecohydrological systems under environmental and anthropogenic change. Geophysical Research Abstracts, Vol. 17, 2015, European Geosciences Union, General Assembly 2015 - Vienna, Austria, 12-17 April 2015. U. Tappeiner, G. Bertoldi, S. Della Chiesa, J. Brenner, N. Obojes, G. Niedrist

Automatic filling of field activities register, from challenge into reality. Mazzetto F., Gallo R., Importuni P., Petrerá S., Sacco P., 2017 - In Proceedings of CIOSTA conference "Research and Innovation for the Sustainable and Safe Management of Agricultural and Forestry Systems". Palermo (Italy).

Chainsaw vibrations, a useful parameter for the automatic tree volume estimations and production assessment of felling operations. Gallo R., Nalli F., Cortese L., Knollseisen D., Nogglér W., Mazzetto F., 2017 - In Proceedings of CIOSTA conference "Research and Innovation for the Sustainable and Safe Management of Agricultural and Forestry Systems". Palermo (Italy).

Mission Planning for the Estimation of the Field Coverage of Unmanned Aerial Systems in Monitoring Mission in Precision Farming. Ristorto G., D'Incalci P., Gallo R., Mazzetto F., Guglieri G., 2017 - In Proceedings of CIOSTA conference "Research and Innovation for the Sustainable and Safe Management of Agricultural and Forestry Systems". Palermo (Italy).

A further step to the automatic assessment of the yarding operation productivity: an ICT application for the assessment of biomass weight during yarding operations Gallo R., Nogglér W., Mazzetto F., 2017 - In Proceedings of AIIA conference "Biosystems engineering addressing the human challenges of the 21st century". Bari (Italy).

Performing an automatic timber assessment during cable yarding operations: results from an experimental cable yarding system. Gallo R., Mazzetto F., 2016. In Proceeding of AUSTimber2016 "Sustainable Supply Chains for the Timber Economy of the Future". Victoria (Australia).

Talks

Inwieweit kann SAR zum Monitoring der Bodenfeuchte in Gebirgsregionen in Betracht gezogen werden? Tri-nationalen Workshop - Hydrologische Prozesse im Hochgebirge", Obergurgl (AT) 28-30/9/2014. G. Bertoldi

Poster

IASMHYN; A web-mapping tool for improved management of agricultural systems by monitoring and hydrological evaluation. Giornate dell'Idrologia 2016 - Trento, 27-29 giugno 2016 S. Bagli, A. Pistocchi, G. Bertoldi, M. Borga, J. Brenner, P. Mazzoli, V. Luzzi, D. Zanotelli

An open source R-based interface for visualizing and optimizing hydrological models: an application for modeling the water budget of agricultural sites. Giornate dell'Idrologia 2016 - Trento, 27-29 giugno 2016. E. Cordano, G. Bertoldi, J. Brenner

Fruchtqualität

Paper

Relationship between texture sensory profiles and optical properties measured by time-resolved reflectance spectroscopy during post storage shelf life of 'Braeburn' apples Article Journal of Horticultural Research, 2014, vol. 22(1); 113-121 A. Rizzolo, M. Vanoli, G. Bianchi, A. Zanella, M. Grassi, A. Torricelli, L. Spinelli

Proceedings

The Prediction of Ascorbic Acid in Apples Using Near-Infrared (NIR) Spectroscopy together with Partial Least Squares (PLS) Regression, Oral presentation: AHC2016: 2nd Asian Horticultural Congress; 2016, Chengdu, Sichuan, China, Liu T, M. Bassi, N. Sadar, G. Lubes, S. Agnolet, B. Stürz, W. Guerra, P. Robatscher, A. Zanella, M. Oberhuber

Optical, acoustic and textural attributes in cv. Braeburn and cv. Nicoter (Kanzi®) apple resulting from different pre- and post harvest conditions, Article Acta Hort. In press. Sadar N, I. Ebner, O. Rossi, G. Agati, A. Zanella

Image analysis of starch pattern index as an objective parameter of apple fruit maturity stage, Article Acta Hort. In press. Sadar N, A. Zanella

Apples from MONALISA: Biological variation of firmness behaviour in storage and shelf life, Article Acta Hort. In press. Tijsskens L.M.M., R.E. Schouten, A. Zanella, N. Sadar

Techniques to assess biological variation in destructive data, Article Acta Hort. In press. Tijskens L.M.M. , R.E. Schouten, Jongbloed G., P.J. Konopacki

Comparison of methods for online inspection of apple internal quality, 7th Conference on Industrial Computed Tomography, Leuven, Belgium (iCT 2017), M. van Dael, P. Verboven, L. Van Hoorebeke, J. Sijbers, B. Nicolai

Time-resolved reflectance spectroscopy reveals different texture characteristics in 'Braeburn', 'Gala' and 'Kanzi' apples, Article Acta Hort. In press. Vanoli M, M. Grassi, M. Buccheri, F. Lovati, N. Sadar, A. Zanella, A. Torricelli, A. Rizzolo, L. Spinelli

Characterizing Apple Texture during Storage through Mechanical, Sensory and Optical Properties Article Acta Hort. 1079; 383- 390 M. Vanoli, A. Rizzolo, M. Grassi, A. Torricelli, A. Zanella, L. Spinelli

The Potential of Alternative Methods for Determining the Optimum Harvest Date of Apple Fruit Article Acta Hort. 1079; 373- 382 A. Zanella, S. Stürz, A. Panarese, O. Rossi

Uso della spettroscopia di riflettanza risolta nel tempo per distinguere mele con diversa struttura, Atti del 7° Simposio Italiano di Spettroscopia NIR - NIRITALIA 2016, Italy, Rizzolo A, M. Vanoli, F. Lovati, M. Grassi, M. Buccheri, N. Sadar, A. Torricelli, A. Zanella, L. Spinelli

Evolution of Vis/NIR bulk optical properties of apple skin and flesh during fruit maturation, Proceedings of the ICNIRS 2015, Van Beers R, B. Aernouts, R. Watté, A. Schenk, B. Nicolai, W. Saeys

Talks

Relationship between texture sensory profiles and optical properties measured by time resolved reflectance spectroscopy during post storage shelf life of Braeburn apples, Oral presentation: 3rd International Conference on "Effects of Pre- and Post-harvest Factors on Health Promoting Components and Quality of Horticultural Commodities", 2014, P. Skierniewice, A. Rizzolo, M. Vanoli, G. Bianchi, A. Zanella, M. Grassi, A. Torricelli, L. Spinelli

Uso della spettroscopia di riflettanza risolta nel tempo per distinguere mele con diversa struttura, Oral presentation: 7° Simposio Italiano di Spettroscopia NIR - NIRITALIA 2016, Italy, Rizzolo A, M. Vanoli, F. Lovati, M. Grassi, M. Buccheri, N. Sadar, A. Torricelli, A. Zanella, L. Spinelli

Apples from MONALISA: Biological variation of firmness behaviour in storage and shelf life, Oral presentation: VIII International Postharvest Symposium: Enhancing Supply Chain and Consumer Benefits - Ethical and Technological Issues, 2016, Spain, Tijskens L.M.M., R.E. Schouten, A. Zanella, N. Sadar

Techniques to assess biological variation in destructive data, Oral presentation: VIII International Postharvest Symposium: Enhancing Supply Chain and Consumer Benefits - Ethical and Technological Issues, Spain, Tijskens L.M.M. , R.E. Schouten, Jongbloed G., P.J. Konopacki

Evolution of Vis/NIR bulk optical properties of apple skin and flesh during fruit maturation, Oral presentation: 17th International Conference on Near Infrared Spectroscopy,

2015, Brazil, Van Beers R, B. Aernouts, R. Watté, A. Schenk, B. Nicolai, W. Saeys

Time-resolved reflectance spectroscopy reveals different texture characteristics in 'Braeburn', 'Gala' and 'Kanzi' apples, Oral presentation: VIII International Postharvest Symposium: Enhancing Supply Chain and Consumer Benefits - Ethical and Technological Issues, 2016, Spain, Vanoli M, M. Grassi, M. Buccheri, F. Lovati, N. Sadar, A. Zanella, A. Torricelli, A. Rizzolo, L. Spinelli

MONALISA - A collaborative multi-sensor approach for non-destructive prediction of apple fruit quality, XI GIORNATE SCIENTIFICHE SOI 2016, Italy, Zanella A, N. Sadar, G. Agati, P. Robatscher, W. Saeys, R.E. Schouten, L. Tijskens, L. Spinelli, P. Verboven, M. Oberhuber

Nondestructive Technologies in post harvest quality analysis, Oral presentation at: MONALISA - Environmental Sensing for agricultural application (Interpoma 2016 Side Event), A. Zanella, N. Sadar, G. Agati, P. Robatscher, W. Saeys, R.E. Schouten, L. Tijskens, L. Spinelli, P. Verboven, M. Oberhuber

MONALISA on Apple - Monitoring key environmental parameters of the alpine environment: the apple quality in the focus of science and technology, Interpoma 2016, International congress "The apple in the world", Italy, Zanella A, F. Mazzetto, D. Zanotelli

Zukunftsträchtige Ansätze zur Messung und Vorhersage der Apfel-Qualität ab Ernte bis zum Konsumenten, im südtiroler Projekt MONALISA, Laimburger Lagerungstagung 2016, Italy, Zanella A, Sadar N

Poster

Optical, acoustic and textural attributes in cv. Braeburn and cv. Nicoter (Kanzi®) apple resulting from different pre- and post harvest conditions, VIII International Postharvest Symposium: Enhancing Supply Chain and Consumer Benefits - Ethical and Technological Issues, Spain 2016, Sadar N, I. Ebner, O. Rossi, G. Agati, A. Zanella

Image analysis of starch pattern index as an objective parameter of apple fruit maturity stage, VIII International Postharvest Symposium: Enhancing Supply Chain and Consumer Benefits - Ethical and Technological Issues, 2016, Spain, Sadar N, A. Zanella

Studio della texture di mele 'Gala': relazioni tra grado di maturazione misurato con spettroscopia di riflettanza risolta nel tempo e proprietà meccaniche, acustiche e sensoriali, XI GIORNATE SCIENTIFICHE SOI 2016, Italy, Vanoli M, A. Rizzolo, M. Grassi, F. Lovati, M. Buccheri, A. Zanella, N. Sadar, A. Dalla Mora, E. Martinenghi, A. Torricelli, L. Spinelli

Characterizing apple texture during storage through mechanical, sensory and optical properties, V International Conference Postharvest Unlimited, 2014, Lemesos, Cyprus M. Vanoli, A. Rizzolo and M. Grassi, A. Zanella, A. Torricelli, L. Spinelli

Micro-CT imaging of apple tissue microstructure during shelf life, VIII International Postharvest Symposium: Enhancing Supply Chain and Consumer Benefits - Ethical and

Technological Issues, 2016, Spain, Wang Z, D. Cantre, R. Van Beers, N. Nguyen, W. Saeys, P. Verboven, B. Nicolai

Datenbank

Paper

Organizing earth observation data inside a spatial data infrastructure, article, Earth Sci Inform (2016), M. Innerebner, A. Costa, E. Chuprikova, R. Monsorno, B. Ventura

Talks

From research to operationality: a workflow for standardized UAV-borne hyperspectral data. Tomelleri, E., Aasen, H., Mejia Aguilar, A., Monsorno, M. Expert Workshop on Hyperspectral Imaging from UAVs. Milano (I) - December

Eurac Research
Institut für Erdbeobachtung
Institut für Alpine Umwelt

Drususallee 1
39100 Bozen

www.monalisa-project.eu
T 0471 055 370