

Mensch–Maschine–Schnittstelle zur Bildverarbeitung im RemoteFarming

Wolfram Strothmann¹, Arnd Kielhorn¹, Fabian Sellmann¹, Kim Möller¹, Martin Hänsel², Dieter Trautz¹, Arno Ruckelshausen¹

¹ Hochschule Osnabrück, Albrechtstraße 30, 49076 Osnabrück
Email: a.ruckelshausen@hs-osnabrueck.de

² Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden

Zusammenfassung: Im Rahmen des Forschungsprojekts RemoteFarming.1 mit Laufzeit bis 30.09.2014 wird derzeit ein System zur interaktiven Beikrautregulierung innerhalb der Pflanzenreihen von Möhrenkulturen entwickelt. Hierbei finden die sensorische Aufnahme und die mechanische Beikrautregulierungsaktion durch einen autonomen Feldroboter statt. Im ersten Schritt übernimmt ein Clickworker dabei vollständig die Beikrautidentifizierung aus den erfassten Bilddaten. Im zweiten Schritt wird der Clickworker durch die Integration einer wissensbasierten Bildverarbeitung mit Vorschlägen für die Beikrautidentifizierung unterstützt.

Bei der Bilderfassung wird hier ein System aus synchron getriggerten Mono-Kameras und Beleuchtungseinheiten in unterschiedlichen Wellenlängen genutzt. Dieses ermöglicht die Aufnahme von Bildern bei definierten Beleuchtungsbedingungen mit den beschränkten Energieressourcen des mobilen Roboters, da sich die Beleuchtung auf die Wellenlängen und Zeiten von Interesse beschränkt und keine Lichtverluste durch filternde Optik entstehen. Durch Übereinanderlegen von Bildern mehrerer Spektralkanäle wird ein farbiges, kontrastreiches Suggestivbild für den Nutzer erzeugt und ihm an einem Webarbeitsplatz mit Markierungsmöglichkeiten dargestellt.

Deskriptoren: RemoteFarming, Beikrautregulierung, Bildverarbeitung, Unkrautererkennung, Mensch-Maschine Interaktion

Summary: *As part of the collaborative research project RemoteFarming.1 – ongoing until Sep-30, 2014 – a system for intra-row weed control in carrots is currently being developed. It allows weed control in a cooperative manner. Thereby the sensor data gathering as well as the mechanical weed treatment will be conducted by an autonomous field robot. In the first step the weed identification will be done solely by a human clickworker. In the second step the clickworker will be supported with suggestions of a knowledge-based computer vision system.*

For image-capturing a system with synchronously triggered mono-cameras and lighting units at different wavelengths is used. It allows capturing images under defined lighting while fulfilling the energy resource-constraints of the mobile robot, because lighting is only applied at times and wavelengths of interest and no filtering optics are involved. By

overlaying different spectral-channels high-contrast color-images are generated and shown to the user in a web-interface along with marker tools.

Keywords: *RemoteFarming, Weed control, Image Processing, Detection and Identification of weeds, Human-machine interaction*

1 Einleitung

Das Projekt RemoteFarming.1 beschäftigt sich mit der mechanischen Beikrautregulierung innerhalb von Möhrenreihen im ökologischen Landbau. In diesem Anwendungsfeld findet die Beikrautregulierung gegenwärtig manuell statt, wobei auf einem Jäteflieger liegende Personen die Beikräuter von Hand entfernen. Hierbei ist ein hoher Zeitaufwand von ca. 275 AKh/ha und mehr erforderlich (REDELBERGER 2004).

Die optisch gesteuerte, mechanische Beikrautregulierung innerhalb von Pflanzenreihen stellt ein zum gegenwärtigen Zeitpunkt ungelöstes Problem dar. Die meisten hier verwendeten Techniken sind einfache mechanische Komponenten ohne elektronische Steuer- und Regelungstechnik, z. B. Fingerhacken oder Striegel, die die Reihe nicht oder kaum selektiv bearbeiten. Nur wenige Lösungen gehen optisch gesteuert selektiv vor, sind aber noch von der marktreife entfernt (RUEDA-AYALA *et al.* 2010). Die wesentlichen Problemfelder bei der Umsetzung autonomer, robotergestützter mechanischer Beikrautregulierung sind die Navigation, Detektion und Identifizierung der Beikräuter sowie die hochpräzise mechanische Regulierungsaktorik, wobei Detektion und Identifizierung die für eine robuste Praxisumsetzung gravierendsten Probleme darstellen (SLAUGHTER *et al.* 2008). Trotz einer langen Historie von Forschungsaktivitäten auf diesem Feld ist eine stabile Beikrautererkennung im Feld nach wie vor nicht verfügbar (WEIS & SÖKEFELD 2010, SLAUGHTER *et al.* 2008).

Aus diesem Grund wird im Rahmen des Projektes RemoteFarming.1 ein Weg gegangen, bei dem ein menschlicher Anwender als „Bildverarbeiter“ (Clickworker) in den Prozess der Beikrautregulierung integriert wird. Dieser ist bei der Beikrautregulierung durch ein Webinterface über das Internet mit dem Feldroboter verbunden und kann im Webinterface die Positionen der Beikräuter in den durch den Roboter aufgenommenen Bildern entsprechend markieren (**Bild 1**). Anschließend werden die Positionen zurückübertragen und der mit einem Aktor ausgestattete Roboter kann die Beikräuter entsprechend eliminieren.

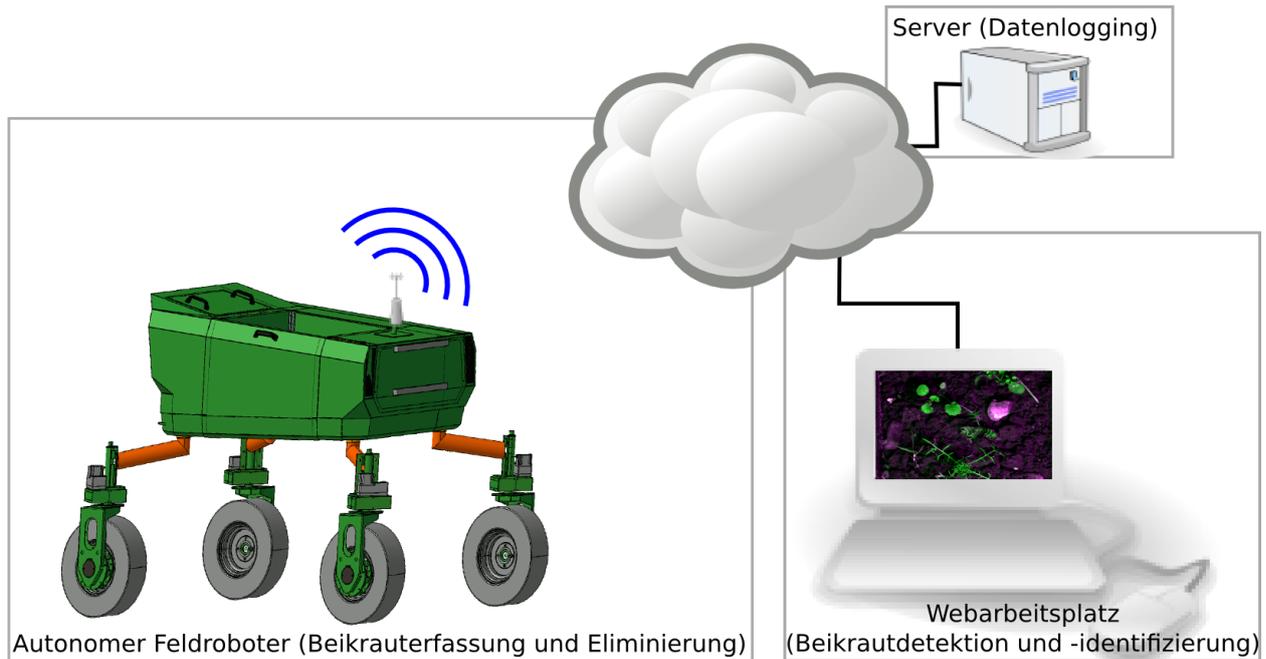


Bild 1: Funktionsübersicht RemoteFarming.1

Für die Umsetzung des RemoteFarming Konzepts wird derzeit ein Feldroboter auf Basis der bewährten Plattform BoniRob entwickelt (RAHE *et al.* 2010). Im ersten Teilschritt des Projektes wird die Beikrautidentifizierung hierbei vollständig durch den Clickworker am Webarbeitsplatz übernommen. Dieser Stand wird im Projekt als RemoteFarming.1a bezeichnet. Durch die Einbindung des Clickworkers als robuste „Bildverarbeitung“ werden hierbei die Risiken von Ausführungsfehlern deutlich reduziert und dadurch die Machbarkeitsschwelle der robotergestützten Beikrautregulierung gesenkt.

Im zweiten Schritt wird das so entstandene robuste Grundgerüst zur mechanischen Beikrautregulierung durch eine digitale Bildverarbeitung ergänzt. Als Grundlage für die Entwicklung der Bildverarbeitung dienen hierbei die in RemoteFarming.1a generierten Sensordaten und Nutzereingaben. Durch die automatisierte Bildverarbeitung werden dem Nutzer hierbei Vorschläge für eine Beikrautidentifizierung im Webinterface angezeigt und er kann diese verwerfen oder bestätigen, bevor die Beikrautregulierung durchgeführt wird. Dieser Schritt wird im Projekt als RemoteFarming.1b bezeichnet. Gerade hier ergibt sich ein großes Potential für das RemoteFarming System, da eine Reihe moderner Bildverarbeitungssysteme, bspw. sog. *Graph-Cuts* (BOYKOV & JOLLY 2001, ROTHER *et al.* 2004), wie auch maschinelle Lernverfahren zur Klassifizierung auf Nutzereingaben angewiesen sind. Diese sind auf Anwendungen in der Landtechnik jedoch bislang noch nicht untersucht worden. Durch den Ansatz einer Bildverarbeitung in *Shared Autonomy* oder *Adjustable Autonomy* (KAUPP & MARKARENKO 2008, PITZER *et al.* 2011) werden technisch ungelöste Probleme in der Agrartechnik-Bildverarbeitung einer praktisch anwendbaren Lösung zugeführt.

2 Sensorik zur Beikrauterfassung

Für die Beikrauterfassung wird in RemoteFarming.1 auf ein kamerabasiertes Sensormodul gesetzt. Hierbei sind, wie aus Forschungsaktivitäten zur Beikrauterkennung bekannt, insbesondere der rote und der nahinfrarote Wellenlängenbereich von Interesse (z. B. WEIS & SÖKEFELD 2010, OEBEL 2006). Das Sensormodul besteht aus zwei monochromen, im nahinfraroten Wellenlängenbereich empfindlichen Kameras von der Firma Baumer vom Typ *HXG20NIR*. Die Kameras und eine Blitzeinheit von der Firma Gardasoft mit zwei verbundenen Power-LED-Clustern in unterschiedlichen Wellenlängen werden synchron über eine Mikrocontrollersteuerung ausgelöst. Die Speicherung und Verarbeitung der Daten erfolgt mit einem Industrie-PC welcher gleichzeitig den Hauptkommunikationsknoten des Moduls darstellt. Der Industrie-PC wird mit *Ubuntu 12.04 LTS* betrieben und stellt sechs *Gigabit-Ethernet*-, zwei *RS485*-, fünf *RS232*- und sechs *USB* Schnittstellen zur Verfügung. Vier Ethernetschnittstellen werden dabei jeweils in Zweierpaaren (*Dual GigE*) zum Anschluss der Kameras benötigt. Jeweils eine der mittels des „balance-xor“ *Bonding Mode* verbundenen Ethernetschnittstellen verfügt dabei über die Fähigkeit angeschlossene Geräte mittels *Power over Ethernet (PoE)* elektrisch zu versorgen. Die maximal erreichbare Framerate mit diesem Setup beträgt ~105 fps pro Kamera bei einer Auflösung von 2048x1088 Pixel und einer Farbtiefe von 8 Bit. Der Aufbau der gesamten Kommunikationsstruktur ist in **Bild 2** dargestellt.

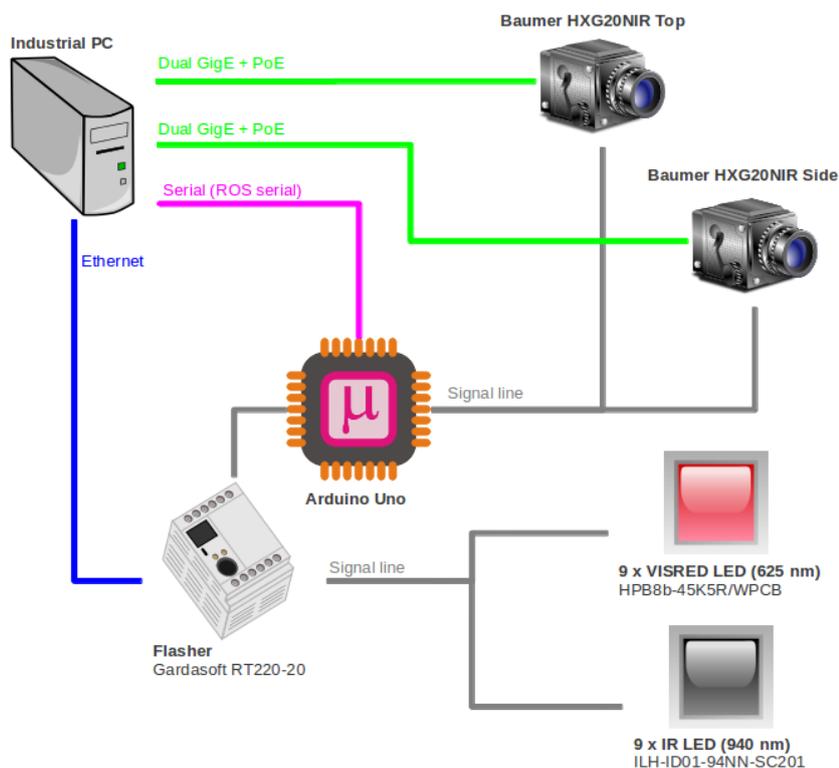


Bild 2: Kommunikationsstruktur des Sensormoduls

Dabei ist eine Kamera senkrecht zur Bodenoberfläche angebracht und liefert eine Draufsicht auf die Pflanzen. Die Zweite Kamera ist schräg, mit Blick in Fahrtrichtung angebracht und zeigt eine Seitenansicht der Szenerie. Beide Kameras nehmen dabei den identischen Dammsabschnitt auf (**Bild 3**).

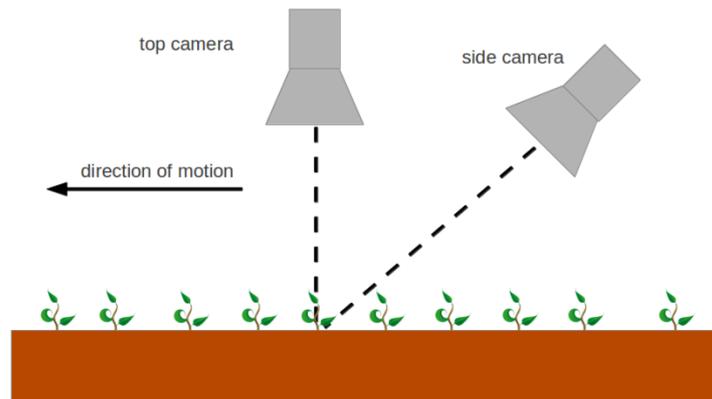


Bild 3: Kamerapositionen über den Pflanzen

Dieses Multi-View Konzept bietet dem Clickworker über die schräge Seitenansicht einen zusätzlichen Blickwinkel auf die Pflanzen, um damit bei eventuellen Überlappungen eine präzisere Klassifizierung vornehmen zu können. Die Beleuchtung der Szenerie erfolgt über zwei Blitz-Cluster welche mit Power-LEDs bestückt sind. Der erste Cluster deckt den sichtbaren, roten Wellenlängenbereich (625 nm) und der Zweite den Nahinfraroten Bereich (940 nm) ab.

Die Kameras werden mithilfe des Mikrocontrollers synchron mit der jeweils geforderten Blitzlichtwellenlänge getriggert. Dabei erfolgt erst eine Aufnahme des Dammsabschnittes mit rotem Blitzlicht und nach 3 ms eine Aufnahme bei nahinfrarotem Blitz. Die so entstandenen Aufnahmen werden danach zu einem RGB-Bild zusammengefügt wobei das monochrome, mit roter Beleuchtung aufgenommene Bild auf den roten und blauen Kanal gelegt wird und das monochrome, bei infraroter Beleuchtung aufgenommene Bild auf den grünen Kanal. Dieses Vorgehen erzeugt ein farbiges, kontrastreiches Suggestivbild welches eine eindeutige Unterscheidung von Pflanzen und Boden zulässt (**Bild 4**).

Die Nutzung einer wellenlängenangepassten Blitzsteuerung hat den Vorteil, dass die Beleuchtung nur zu den Zeiten erfolgt, zu denen der Kamerachip belichtet werden muss, was deutliche Energieeinsparungen mit sich bringt und damit die knappen Energieressourcen des Feldroboters schont. Außerdem kann durch die Auswahl der Wellenlängen der LEDs im Zusammenspiel mit einer Abschattung trotz des weiten Sensitivitätsbandes der Kamera eine leichte spektrale Selektivität auf einen schmalen Wellenlängenbereich erzielt werden. Im Vergleich zu einem Multispektralansatz treten dabei keine Verluste durch eine wellenlängensplittende Optik oder ein Bayer-Pattern auf.

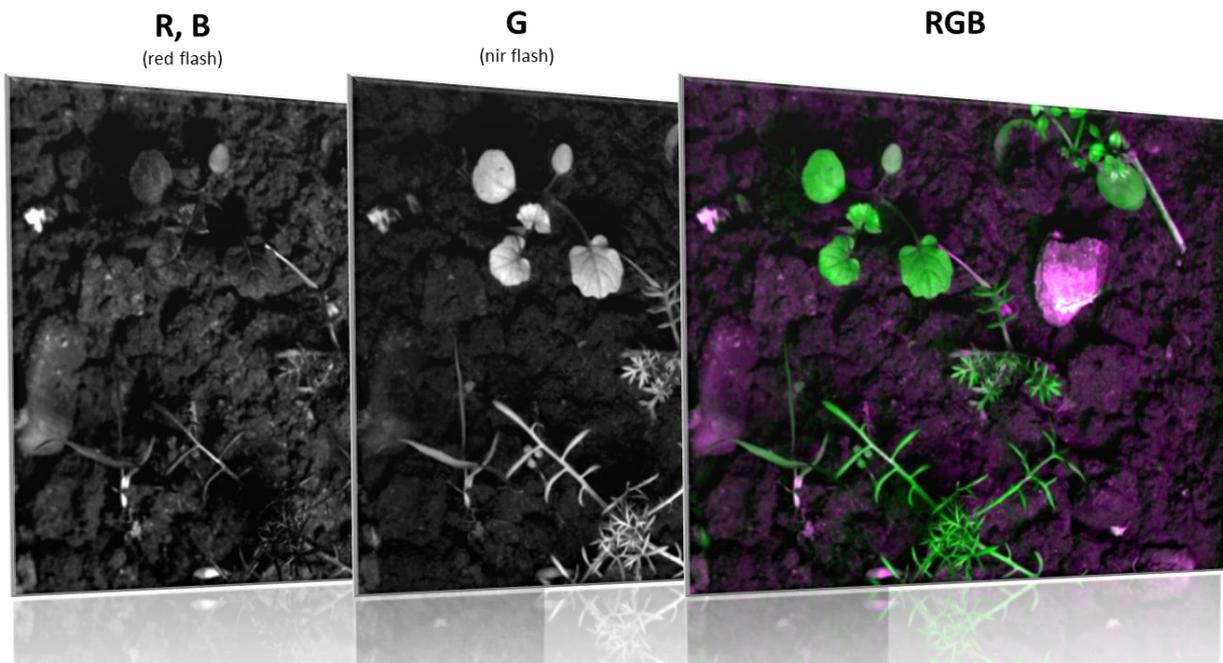


Bild 4: Generierung des Suggestivbildes von Beispiepflanzen

Um das gesamte Sensormodul auch außerhalb der Roboterplattform BoniRob und im Besonderen außerhalb des üblichen Wachstumszeitraumes der zu jätenden Pflanzen testen zu können, wurde ein Teststand entwickelt, welcher alle Module des Vorhabens emuliert oder real beinhaltet.

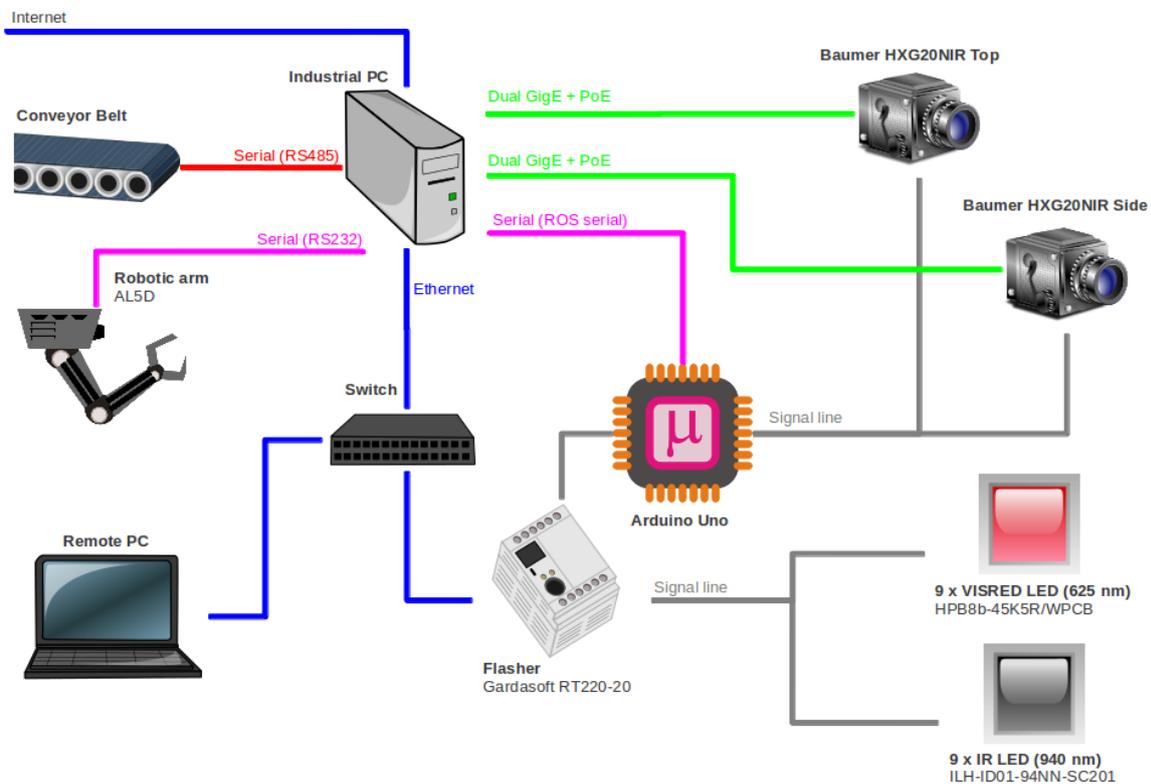


Bild 5: Kommunikationsstruktur des Teststandes

Zu den in **Bild 2** gezeigten Komponenten des Sensormoduls kommen hier noch ein Förderband, welches die Fahrt des Roboters emuliert, ein Roboterarm, welcher den Unkraut-Manipulator emuliert und ein mit dem Netzwerk verbundenen Remote PC, welcher den Remote Arbeitsplatz darstellt. Die Kommunikationsstruktur des Teststandes ist in **Bild 5** dargestellt.

Die Kommunikation mit dem Förderband erfolgt über *Modbus-RTU (RS485)* und die mit dem Roboterarm über *RS232*. Beim Teststandsetup dient der Industrie-PC gleichzeitig als Server, um Bilddaten zu speichern. Der Remote PC wird direkt über Ethernet in das Netzwerk eingebunden und kann das Webinterface aufrufen. Die gesamte Kommunikation zwischen den Komponenten des Moduls ist mit dem *Robot Operating System ROS* (QUIGLEY *et al.* 2009) realisiert.

3 Webinterface / Datenmanagement

Um eine Beikrautmarkierung durch einen Clickworker im Rahmen des RemoteFarming Prozesses zu ermöglichen, wurde ein auf dem Industrie-PC des Feldroboters lauffähiger Embedded-Webserver entwickelt. Dieser wurde mit Hilfe des Toolkits *Wt* (DUMON & DEFORCHE 2008) implementiert und in einen *ROS*-Knoten integriert. Er bietet die Möglichkeit, über einen *ROS*-Service mit dem Roboter aufgenommene Bilder durch einen Webanwender markieren zu lassen.

Dabei wird die Ansicht des Clickworkers bei Vorliegen eines neuen Bildes durch ein serverseitig getriggertes Update automatisch aktualisiert. Anschließend kann dieser Markierungen vornehmen. Hierbei werden die Markierungen mit Hilfe des *HTML 5 Canvas* visualisiert. Dies ermöglicht die Markierungen nach Mausclicks ohne *server-roundtrip* in clientseitigem *Javascript* zu aktualisieren und gewährleistet so eine flüssige Darstellung für den Nutzer. Erst nach der Aktualisierung der Nutzeransicht wird auf den Klick auch serverseitig reagiert.

Während der Beikrautregulierung werden Bilder zusammen mit Nutzerdaten und situations-, feldspezifischen Metadaten zu ImageMaps zusammengefasst. Diese können als *XML*-Dateien mit eingebetteten *png*-komprimierten und *base64*-encodierten Bilddaten auf dem Industrie-PC des Feldroboters während der Feldtests von RemoteFarming.1a laufend gespeichert und geloggt werden. Durch das flexible Design des im Rahmen des Projekts entwickelten ImageMap-Frameworks mit Trennung von *Frontend* und *Backend* ist es aber auch möglich, ImageMaps in *PostgreSQL* Datenbanken abzulegen, sowie erzeugte *XML*-Dateien in eine Datenbank und aus einer Datenbank zu synchronisieren, wie in **Bild 6** zu sehen.

Diese Flexibilität wird insbesondere im Rahmen von RemoteFarming.1b bedeutsam. Für RemoteFarming.1a ist es zunächst vorgesehen, dass sich der Clickworker direkt mit dem Feldroboter verbindet. Dies setzt jedoch eine stabile mobile Internetverbindung des

Feldroboters voraus. In RemoteFarming.1b wird diese Struktur durch einen in der *Cloud* befindlichen Server ergänzt (**Bild 1**). Dieser wird die auf dem Feldroboter erfassten Daten in einer Datenbank mitloggen und bei Unterbrechungen in der Verbindung zum Feldroboter dem Nutzer erlauben weiterzuarbeiten.

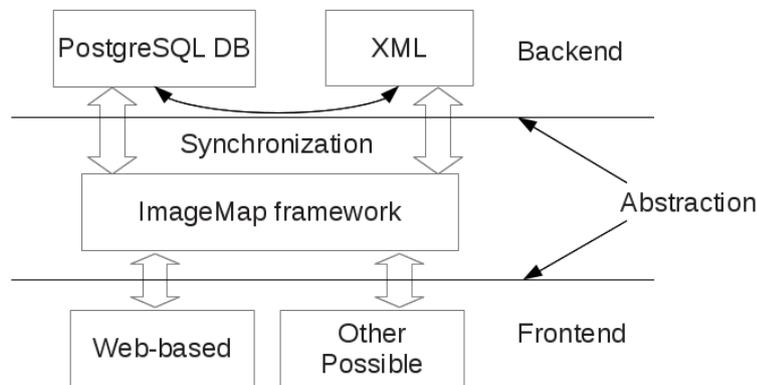


Bild 6: Aufbau des ImageMap Frameworks

Auf diese Weise werden Wartezeiten beim Feldroboter und beim Clickworker vermieden, jedoch ist hierfür eine bidirektionale Synchronisation zwischen Feldroboter und Server notwendig, wie sie mit dem ImageMap-Framework bereitgestellt wird.

4 Ausblick

Wie aufgezeigt, hat das Projekt RemoteFarming.1 durch die Einbindung eines Clickworkers mit unterstützender digitaler Bildverarbeitung ein großes Potential zur Entwicklung einer robusten mechanischen Beikrautregulierung. Neben den hier dargestellten Lösungen im Bereich Bilderfassung und Bildverarbeitung durch einen Menschen als Clickworker am Webinterface, wurden auch in den Bereichen Roboterplattform/Navigation und Beikrautaktomatik erste Lösungen geschaffen. Die ersten Feldtests des RemoteFarming.1a Gesamtsystems sind für Mai/Juni 2013 vorgesehen.

Danksagung

Die Firmen Amazonen-Werke H. Dreyer GmbH&Co.KG und Robert Bosch GmbH sind Kooperationspartner der HS Osnabrück im Projekt RemoteFarming.1. Die Förderung des Vorhabens erfolgt aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages. Die Projektträgerschaft erfolgt über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen des Programms zur Innovationsförderung.

Literaturverzeichnis

- BOYKOV Y., JOLLY M.-P. (2001):** Interactive Graph Cuts for Optimal Boundary & Region Segmentation of Objects in N-D Images, in: Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision, Vancouver: 2001, S. 105-112
Internet: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=937505&isnumber=20293>, 22.03.2013
- DUMON W., DEFORCHE K. (2001):** Wt: A Web Toolkit, in: Dr. Dobbs Journal, Feb, 2008. Internet <http://www.drdoobs.com/web-development/wt-a-web-toolkit/206401952>, 20.03.2013
- KAUPP T., MAKARENKO A. (2008):** Measuring human-robot team effectiveness to determine an appropriate autonomy level, in: Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Pasadena: 2008, S. 2146-2151. Internet: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4543524&isnumber=4543169>, 22.03.2013
- PITZER B., STYER M., BERSCH C., DUHADWAY C., BECKER J.C. (2011):** Towards Perceptual Shared Autonomy for Robotic Mobile Manipulation, in: Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Shanghai: 2011, S. 6245-6251. Internet: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5980259&isnumber=5979>, 22.03.2013
- QUIGLEY M., CONLEY K., GERKEY B., FAUST J., FOOTE T.B., LEIBS J., WHEELER R., NG A.Y. (2009):** ROS: an open-source Robot Operating System, in: ICRA workshop on Open-Source Software
2009: Internet <http://pub1.willowgarage.com/~konolige/cs225B/docs/quigley-icra2009-ros.pdf>, 22.03.2013
- RAHE F., HEITMEYER K., BIBER P., WEISS U., RUCKELSHAUSEN A., GREMMES H., KLOSE R., THIEL M., TRAUTZ D. (2010):** First field experiments with the autonomous field scout BoniRob, in: Proceedings 68th International Conference Agricultural Engineering 2010: 419-424
- REDELBERGER H. (Hrsg.) (2004):** Management-Handbuch für die ökologische Landwirtschaft, Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., 2004
- ROTHER C., KOLMOGOROV V., BLAKE A. (2004):** "GrabCut" - Interactive Foreground Extraction using Iterated Graph Cuts, in: ACM Transactions on Graphics (TOG) - Proceedings of ACM SIGGRAPH 2004, Volume 23, Issue 3, August 2004, S. 309-314. Internet: <http://research.microsoft.com/pubs/67890/siggraph04-grabcut.pdf>, 15.12.2011
- RUEDA-AYALA V., RASMUSSEN J., GERHARDS R. (2010):** Mechanical Weed Control, in: Oerke, E.C.; Gerhards, R.; Menz, G.; Sikora, R.A. (Editors): Precision Crop Protection – the Challenge and Use of Heterogeneity, Heidelberg u. a.: Springer, 2010: 279-294
- SLAUGHTER D.C., GILES D.K., DOWNEY D. (2008):** Autonomous robotic weed control systems: A review, in Computers and Electronics in Agriculture, Volume 61, Issue 1 April 2008, S. 63-78. Internet: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169907001688>, 22.03.2013
- WEIS M., SÖKEFELD M. (2010):** Detection and Identification of Weeds, in: OERKE E.C., GERHARDS R., MENZ G., SIKORA R.A. (Editors): Precision Crop Protection – the Challenge and Use of Heterogeneity, Heidelberg u. a.: Springer, 2010: 119-134