

# Zentimetergenauigkeit mit dem BIMAGE Backpack im Wald und im Stadtzentrum

J. Meyer, S. Blaser, S. Nebiker

Die fortschreitende Digitalisierung führt zu tiefgreifenden Veränderungen im Infrastrukturmanagement. Mithilfe bildbasierter Webdienste mit 3D-Messfunktionalität können zahlreiche aufwändige und gefährliche Mess-, Beurteilungs- und Planungsaufgaben vom Feld ins Büro verlagert werden. Mit portablen bildbasierten Mobile Mapping Systemen (MMS), wie dem prototypischen Messrucksack «BIMAGE Backpack» der Fachhochschule Nordwestschweiz, können unzugängliche Orte im Aussenraum wie enge Gassen in der Innenstadt oder schmale Waldwege kinematisch erfasst werden. In diesem Beitrag wird einerseits die Weiterentwicklung des BIMAGE Backpacks für den Einsatz im Aussenraum beschrieben. Andererseits wurden ausgedehnte Aufnahmen in herausfordernden Testgebieten in der Innenstadt und im Wald durchgeführt und dabei das Genauigkeitspotenzial dreier unterschiedlicher Georeferenzierungsmethoden untersucht. Dieser Beitrag basiert auf den beiden DGPF- und ISPRS-Publikationen [1] und [2] und fasst die zentralen Punkte und die aktuellsten Ergebnisse zusammen.

*La digitalisation progressive amène de profonds changements dans la gestion des infrastructures. A l'aide de services web basés sur l'imagerie avec des fonctionnalités de mesures 3D il est possible de déplacer des tâches fastidieuses et dangereuses de mensuration, d'évaluation et de planification du terrain au bureau. Avec des systèmes map mobiles portables (MMS) à base d'imagerie tel que le prototype de sac à dos «BIMAGE Backpack» de la HES du nord-ouest de la Suisse des endroits difficilement accessibles à l'extérieur comme des ruelles étroites du centre-ville ou des petits sentiers en forêt peuvent être saisis de façon cinématique. Dans cet article on décrit d'une part la poursuite du développement du BIMAGE Backpack pour l'utilisation à l'extérieur. D'autre part de vastes prises dans des zones test exigeantes au centre-ville et en forêt ont été exécutées en examinant le potentiel de précision de trois méthodes de géoréférencement différentes. Cet article se réfère aux deux publications DGPF (1) et ISPRS (2) en résumant les points centraux et les résultats les plus actuels.*

La progressiva digitalizzazione induce profondi cambiamenti nella gestione delle infrastrutture. Con l'aiuto di servizi web basati su immagini con funzionalità di misurazione 3D è ora possibile trasferire dal terreno all'ufficio innumerevoli compiti complessi e pericolosi di misurazione, valutazione e pianificazione. Con i sistemi di rilevamento Mobile Mapping (MMS) portatili di mappatura mobile basata su immagini, come il prototipo di zaino di misurazione «BIMAGE Backpack» della Scuola universitaria professionale della Svizzera nordoccidentale, è possibile catturare in modo cinematografico luoghi esterni solitamente inaccessibili, come le anguste viuzze del centro della città o gli stretti sentieri nel bosco. Quest'articolo descrive l'ulteriore sviluppo dello zaino BIMAGE Backpack per l'uso esterno. In aggiunta, si è provveduto a scattare immagini per esteso in zone di test impegnative nel centro città e nel bosco e si è valutato il potenziale di precisione di tre diversi metodi di georeferenziazione. L'articolo si basa sulle due pubblicazioni DGPF e ISPRS [1] e [2] e riassume i punti salienti e i risultati più recenti.

## Einleitung

Im Strassen- und Schienenbereich finden bildbasierte Webdienste – im Ansatz vergleichbar mit Street View – bereits verbreitet Anwendung. Aufwändige und potenziell gefährliche Mess-, Beurteilungs- und Planungsaufgaben lassen sich damit vom Feld ins Büro verlagern, wodurch auch Fachspezialisten und Expertinnen ohne Vermessungshintergrund ehemals anspruchsvolle 3D-Messungen intuitiv per Mausclick durchführen können. Mit einer nahtlosen Integration fachspezifischer Geodatenbanksysteme lassen sich im Webdienst 3D-Objekte digitalisieren sowie bestehende Objekte lagerichtig einblenden. Voraussetzung für den Aufbau von bildbasierten 3D-Webdiensten für grössere Infrastrukturanlagen, ganze Städte oder Regionen ist eine effiziente 3D-Datenerfassung. Diese wird ermöglicht durch moderne Mobile Mapping Systeme auf unterschiedlichen Trägerplattformen wie Strassen- oder Schienenfahrzeugen und ausgerüstet mit Sensorik für die kinematische Positions- sowie Orientierungsbestimmung einerseits und die Umgebungserfassung andererseits. Im offenen Strassen- und Schienenbereich werden heute von spezialisierten Unternehmen genaue 3D-Geodaten über Hunderte von Kilometern aufgezeichnet und produziert. Aufgrund der rasant fortschreitenden Digitalisierung im Infrastrukturmanagement wird die Ausweitung der Technologie auf Innenräume für das Gebäudemanagement [3] sowie auf Innenstädte oder Waldgebiete für die lückenlose Dokumentation zunehmend nachgefragt. Weil Innenräume, Innenstädte oder Waldgebiete mit herkömmlichen mobilen Messfahrzeugen nicht oder nur teilweise befahrbar sind, kommen portable Messsysteme vermehrt zum Einsatz.

## Systemkonfiguration

Der prototypische portable Messrucksack BIMAGE Backpack, ursprünglich für die

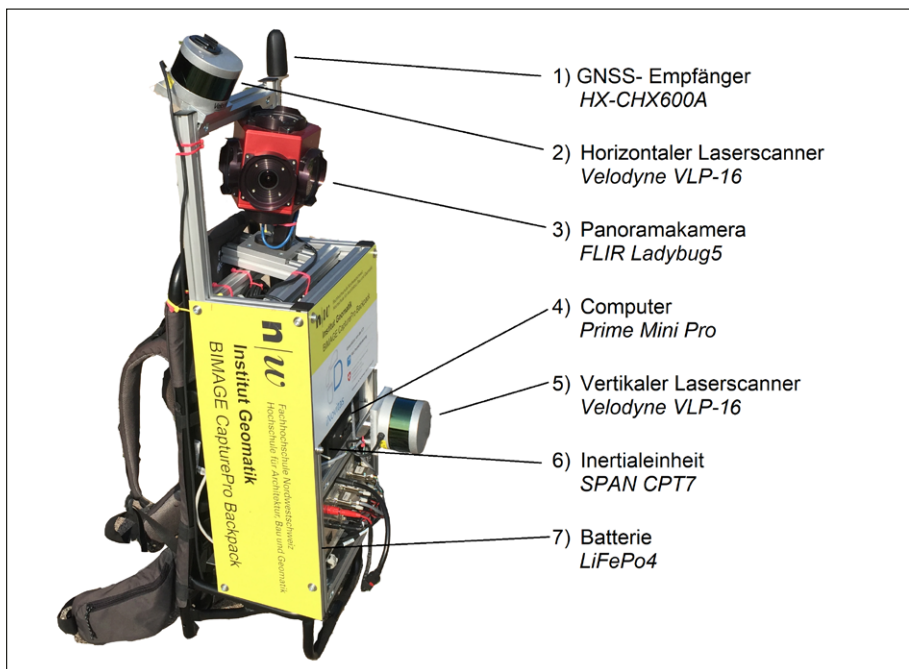


Abb. 1: BIMAGE Backpack – erweiterte Systemkonfiguration für den Innen- und Aussenraum [1].

Erfassung von Innenräumen konzipiert, wurde um die direkte Georeferenzierung mittels eng gekoppelter Sensordatenfu-

sion von GNSS und INS erweitert. Die aktuelle Systemkonfiguration besteht aus einer Mehrkopf-Panoramakamera *Lady-*

*bug5*, zwei Multiprofillaserscannern *Velodyne VLP-16* sowie aus dem neu integrierten Inertial-Navigations-System (INS) mit GNSS Empfänger Novatel *SPAN CPT7* (Abb. 1). Letztere bildet die Zeitreferenz, womit alle übrigen Sensoren hardwarebasiert hochgenau synchronisiert werden. Während der kinematischen Erfassung der Umgebung kann die Mehrkopf-Panoramakamera basierend auf zeitlichen oder geometrischen Bedingungen, wie Distanz- oder Azimutänderungen, beispielsweise jeden Meter oder bei einer Drehung von mehr als 20° ausgelöst werden. Damit wird die gewünschte Bildüberlagerung für die anschliessende Georeferenzierung und 3D-Auswertung sichergestellt.

Durch die Erweiterung der Systemkonfiguration stehen nun drei Georeferenzierungsmethoden zur Verfügung, um die äusseren Orientierungen der Panorama-Einzelbilder zu berechnen:

- Direkte Georeferenzierung basierend auf GNSS und INS mit einer eng gekoppelten Sensordatenfusion.

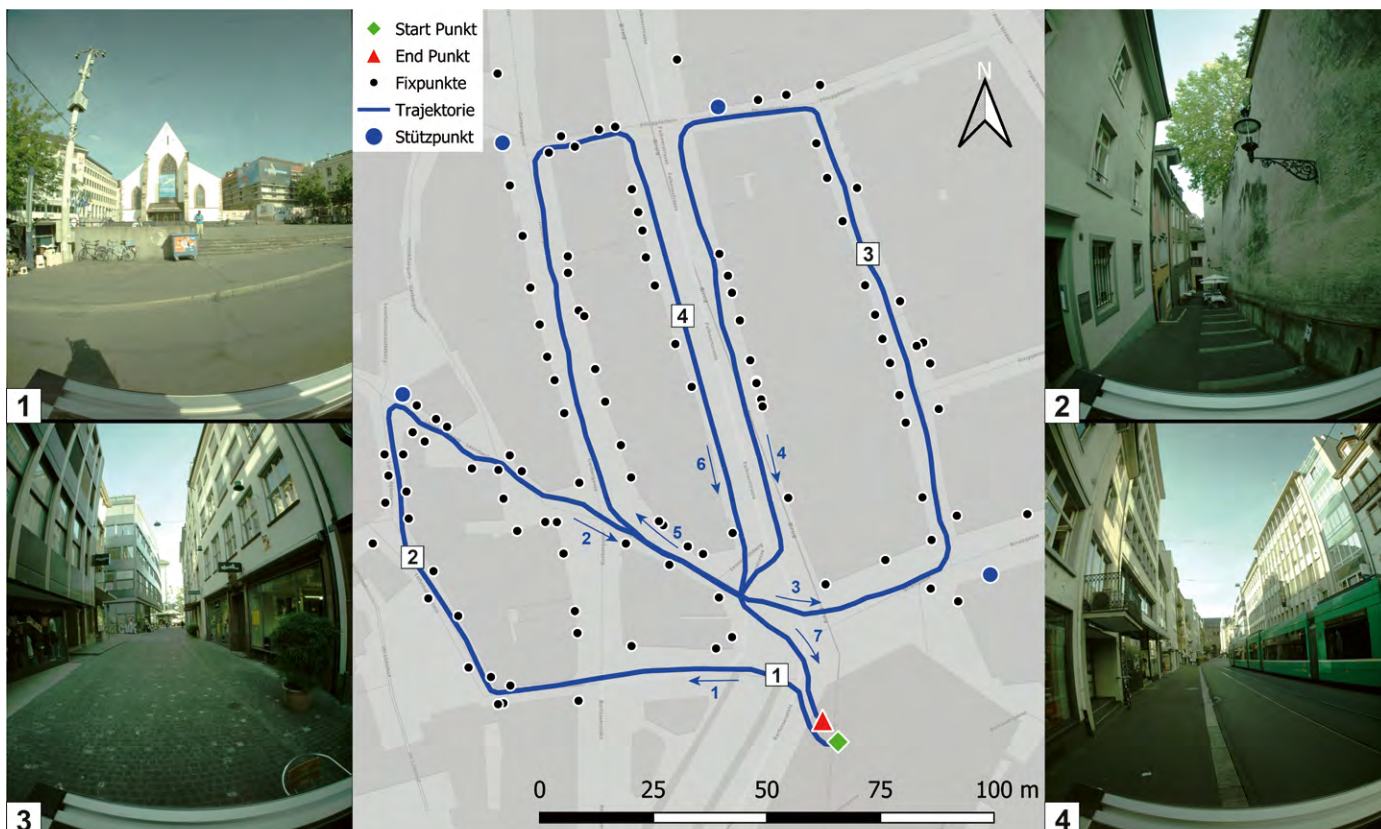


Abb. 2: Testgebiet in der Basler Innenstadt mit teilweise engen Wegen und Gassen [1].

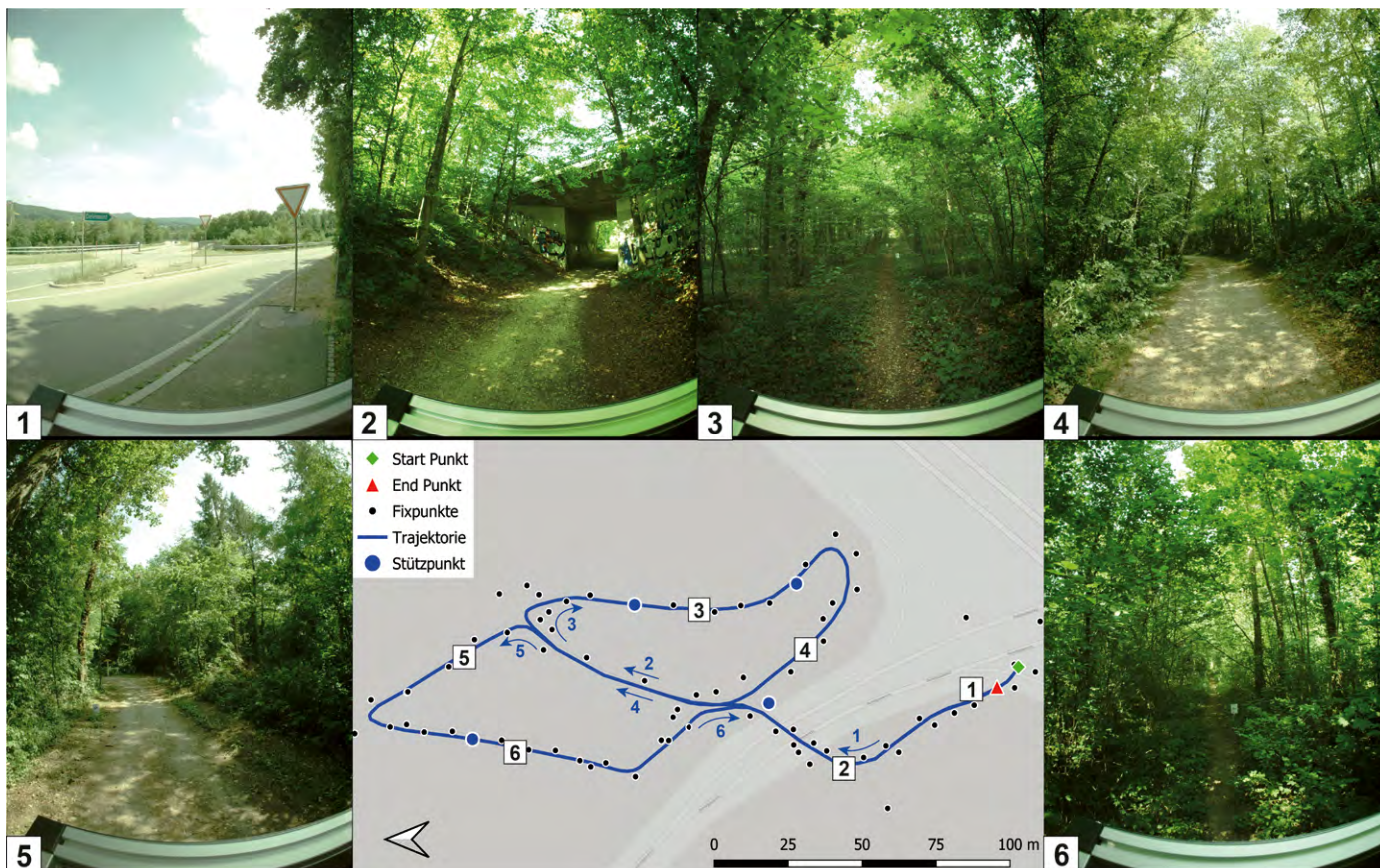


Abb. 3: Testgebiet im Wald bei Münchenstein mit unterschiedlichen Wegbreiten und Bewuchsdichten [1].

- *LiDAR-SLAM (Simultaneous Localisation And Mapping)*-basierte Georeferenzierung unter Verwendung der LiDAR-Daten der beiden mitgeführten Laserscanner wie in [5] beschrieben.
- Nachträgliche *bildbasierte Georeferenzierung* mit einer Structure-from-Motion (SfM)-Pipeline [4], wodurch eine signifikante Verbesserung im Innenraum [5] und unter Tage [6] mehrfach nachgewiesen wurde.

## Untersuchungen

Um das Potenzial der verschiedenen Georeferenzierungsmethoden in unterschiedlichen Umgebungen aufzuzeigen, wurden grossflächige Untersuchungen im Aussenraum durchgeführt. Zwei repräsentative Testgebiete – eines befindet sich im Wald (Abb. 2) das andere in der Basler Innenstadt (Abb. 3) – wurden ausgewählt.

Die Testgebiete zeichnen sich durch unterschiedliche Strassen- und Wegbreiten

sowie teilweise starke GNSS-Signalabstimmungen durch Bäume und enge Strassenschluchten aus. Vorgängig zur Messkampagne wurde in beiden Testgebieten ein dichtes Referenzpunktnetz angelegt und tachymetrisch eingemessen. Für die Materialisierung der Referenzpunkte wurden im Wald photogrammetrische Zielmarken an Bäume und Pfähle montiert, während in der Stadt vorwiegend natürliche Punkte (klar definierte Punkte an Fassaden und Verkehrsschildern etc.) verwendet wurden. In beiden Testgebieten wurden mit dem portablen Messsystem mehrere schleifenförmige Trajektorien mit einer Gesamtlänge von jeweils 700 bis 800 m aufgezeichnet. Dabei erfolgte die Auslösung der Panoramakamera in einem Intervall von rund einem Meter, wodurch die Referenzpunkte auf einer grossen Anzahl Bilder zu erkennen sind.

Es wurde sowohl das Genauigkeitspotenzial von absoluten 3D-Koordinatenmessungen als auch von relativen 3D-Messun-

gen untersucht. Für die Untersuchungen der absoluten 3D-Koordinatenmessungen wurden die Referenzpunkte analog zu [5] jeweils in vier Bildern aus unterschiedlichen Kamerastandorten gemessen und deren Koordinaten mithilfe des Vorwärtseinschnitts im lokalen Bezugsrahmen berechnet. Mit einer 3D-Koordinatentransformation wurden die in den Bildern gemessenen Fixpunkte in den globalen Bezugsrahmen überführt und die Differenzen zu den tachymetrisch bestimmten Referenzpunktkoordinaten ausgewiesen. Zusätzlich wurden 3D-Referenzstrecken zwischen bekannten Punkten an diversen Stellen in beiden Testgebieten definiert. Die Längen der Referenzstrecken variierten zwischen 0.03 m und 21.08 m. Für die Untersuchung der relativen 3D-Messungen wurden die Start- und Endpunkte der 3D-Distanzen in unterschiedlichen Bildern gemessen, deren Koordinaten mittels Vorwärtseinschnitt berechnet und die Differenzen zu den Referenzdistanzen ausgewiesen.

## Resultate

Die GNSS-Verfügbarkeit, die Lichtverhältnisse, die Beschaffenheit der kartierten Umgebung sowie weitere Faktoren führten bei sämtlichen Georeferenzierungsmethoden zu Ausreissern. Aufgrund dessen dient der Median als robustes Qualitätsmass.

Mit der *direkten Georeferenzierung* wurde in der Innenstadt ein Medianwert der Differenzen zu den Referenzpunkten von 45.2 cm erzielt, im Wald betrug der entsprechende Medianwert 100.7 cm.

Mit *SLAM-basierter Georeferenzierung* wurde in beiden Testgebieten eine signifikant höhere absolute Genauigkeit erreicht, wobei der Median der Differenzen zu den Referenzpunkten in der Stadt 36.6 cm und im Wald 21.0 cm betrug. Die in der Stadt erreichten Resultate sind mit den von [6] erzielten Werten von 20–23 cm für Messkampagnen im Untergrund – in ebenfalls herausfordernder Umgebung – vergleichbar.

Mit der *bildbasierten Georeferenzierung* konnten die Medianwerte der Differenzen um bis zu Faktor 10 verbessert werden. In der Stadt betrug der Median der Differenzen 4.3 cm und im Wald 13.4 cm. Die Genauigkeiten relativer 3D-Messungen wie etwa Distanz- oder Höhendifferenzmessungen – die am meisten genutzten Auswertungen in bildbasierten Webdiensten – lagen je nach Georeferenzierungsmethode in der Grössenordnung von 1.9 bis 9.4 cm. Wobei auch hier der bildbasierte Ansatz die höchste Genauigkeit aufwies.

## Fazit und Ausblick

Die Untersuchungsergebnisse zeigen das grosse Potenzial von alternativen Geore-

ferenzierungs-Strategien. Die direkte Georeferenzierung bietet im offenen Gelände eine mittlere bis hohe Genauigkeit bei geringem Rechenaufwand. Sie stösst jedoch an Grenzen in städtischen und bewaldeten Gebieten. Die Georeferenzierung mit LiDAR-SLAM bietet eine mittlere Genauigkeit für Vermessungsaufgaben im bebauten und bewaldeten Raum und bietet den Vorteil einer Echtzeitfähigkeit, was beispielsweise eine Fortschrittskontrolle bei der Datenerfassung ermöglicht. Die bildbasierte bzw. photogrammetrische Georeferenzierung ist mit Abstand die rechenaufwändigste Methode. Wie unsere Untersuchungen zeigen, ist sie jedoch universal in unzugänglichen Gebieten im Innen- und Aussenraum einsetzbar und hat von allen drei Verfahren das höchste Genauigkeitspotential. In weiteren Untersuchungen wird die Kombination der unterschiedlichen Georeferenzierungsansätze angestrebt. Dadurch könnte neben der Genauigkeit auch die Robustheit der Georeferenzierung unter variierenden Umgebungsbedingungen weiter verbessert werden.

### Literatur:

- [1] Meyer, J., Blaser, S., Nebiker, S., Fricker, L. & Weber, D., 2020: Leistungsfähiges portables Mobile Mapping im Aussenraum – Genauigkeitspotential und Grenzen unterschiedlicher Georeferenzierungsansätze in der Stadt und im Wald. In: 40. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF in Stuttgart, Band 29, 2020.
- [2] Blaser, S., Meyer, J., Nebiker S., Fricker, L. & Weber, D., 2020: Centimetre-Accuracy in Forests and Urban Canyons – Combining a High-Performance Image-Based Mobile Mapping Backpack with New Georeferencing Methods. In: ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., Nice, France.

- [3] Blaser, S., Cavegn, S., Rettenmund, D. & Nebiker, S., 2018b: Innosuisse-Projekt BIMAGE – Cloudbasierte 3D-Bilddienste für das Gebäudemanagement. In: Geomatik Schweiz, 9(1), 260–263.

- [4] Cavegn, S., Blaser, S., Nebiker, S., & Haala, N., 2018: Robust and Accurate Image-Based Georeferencing Exploiting Relative Orientation Constraints. In: ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., Riva del Garda, Italy, Vol. IV-2, pp 57–64.

- [5] Blaser, S., Cavegn, S. & Nebiker, S., 2018a: Development of a Portable High Performance Mobile Mapping System using the Robot Operating System. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 4(1), 13–20.

- [6] Blaser, S., Nebiker, S. & Wisler, D., 2019: Portables bildbasiertes Mobile Mapping System im Einsatz unter Tage – Systemaufbau, Georeferenzierungs- und Genauigkeitsuntersuchungen. Dreiländertagung. Publikationen der DGPF, Band 28, 458–471.

Jonas Meyer  
Stefan Blaser  
Stephan Nebiker  
Institut Geomatik  
Hochschule für Architektur, Bau und  
Geomatik  
Fachhochschule Nordwestschweiz  
Hofackerstrasse 30  
CH-4132 Muttenz  
jonas.meyer@fhnw.ch  
stefan.blaser@fhnw.ch  
stephan.nebiker@fhnw.ch