

— | | —

PRG

Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation

Journal for Photogrammetry, Remote Sensing
and Geoinformation Science

Organ der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie,
Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) e. V.

Jahrgang 2015, Heft 4

Hauptschriftleiter:
Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kresse

Schriftleiter:
Prof. Dr.-Ing. Stefan Hinz, Prof. Dr. techn. Franz Rottensteiner,
Prof. Dr. rer. nat. Christopher Conrad, Prof. Dr. rer. nat. Lars
Bernard und Dr.-Ing. Eckhardt Seyfert

Redaktionsbeirat (Editorial Board): Clement Atzberger, Andrew Frank,
Christian Heipke, Joachim Hill, Patrick Hostert, Hans-Gerd Maas, Wolfgang
Reinhardt, Camillo Ressel, Jochen Schiewe



E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung
(Nägele u. Obermiller) Stuttgart 2015

— | | —



Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung
und Geoinformation (DGPF) e.V.
Gegründet 1909

Die *Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation* (DGPF) e.V. unterstützt als Mitglieds- bzw. Trägergesellschaft die folgenden Dachverbände:



International Society
for Photogrammetry
and Remote Sensing

DAGM

Deutsche Arbeits-
gemeinschaft für
Mustererkennung e.V.



Herausgeber:

© 2015 Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) e.V.
Präsident: Prof. Dr. Thomas Kolbe, Technische Universität München, Institut für Geodäsie, GIS und Landmanagement, Lehrstuhl für Geoinformatik, Arcisstraße 21, 80333 München, Germany, Tel. +49-89-289-23888
Geschäftsstelle: Tanja Nyc, c/o Technische Universität München, Institut für Geodäsie, GIS und Landmanagement, Lehrstuhl für Geoinformatik, Arcisstraße 21, 80333 München, Germany, Tel.: +49-89-289-22578, e-mail: geschaeftsstelle@dgpf.de

Published by: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Johannesstraße 3A, 70176 Stuttgart, Germany, Tel.: +49-711 351456-0, Fax: +49-711 351456-99, e-mail: mail@schweizerbart.de
Internet: <http://www.schweizerbart.de>

⊗ Gedruckt auf alterungsbeständigem Papier nach ISO 9706-1994

All rights reserved including translation into foreign languages. This journal or parts thereof may not be reproduced in any form without permission from the publishers.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in dieser Zeitschrift berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Verantwortlich für den Inhalt der Beiträge sind die Autoren.

ISSN 1432-8364 / e-ISSN 2363-7145

Science Citation Index Expanded (also known as SciSearch®) Journal Citation Reports/Science Edition

Hauptschriftleiter: Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kresse, Hochschule Neubrandenburg, Fachbereich Landschaftswissenschaften und Geomatik, Brodaer Straße 2, 17033 Neubrandenburg, Germany, e-mail: kresse@hs-nb.de

Schriftleiter: Prof. Dr.-Ing. Stefan Hinz, Karlsruher Institut für Technologie – KIT, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Englerstraße 7, 76131 Karlsruhe, Germany, e-mail: stefan.hinz@ipf.uni-karlsruhe.de, Prof. Dr. techn. Franz Rottensteiner, Leibniz Universität Hannover, Institut für Photogrammetrie und GeoInformation, Nienburger Straße 1, 30167 Hannover, Germany, e-mail: rottensteiner@ipi.uni-hannover.de, Prof. Dr. rer. nat. Christopher Conrad, Universität Würzburg, Institut für Geographie und Geologie, Oswald-Külpe-Weg 86, 97074 Würzburg, Germany, e-mail: christopher.conrad@uni-wuerzburg.de, Prof. Dr. rer. nat. Lars Bernard, Technische Universität Dresden, Fachrichtung Geowissenschaften, Helmholtzstraße 10, 01062 Dresden, Germany, e-mail: lars.bernard@tu-dresden.de, und Dr.-Ing. Eckhardt Seyfert, Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg, Heinrich-Mann-Allee 103, 14473 Potsdam, Germany, e-mail: eckhardt.seyfert@geobasis-bb.de

Erscheinungsweise: 6 Hefte pro Jahrgang.

Bezugspreis im Abonnement: € 249,- pro Jahrgang. Mitglieder der DGPF erhalten die Zeitschrift kostenlos. Der Online-Zugang ist im regulären Subskriptionspreis enthalten.

Anzeigenverwaltung: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Johannesstraße 3A, 70176 Stuttgart, Germany, Tel.: +49-711 351456-0; Fax: +49-711 351456-99.

e-mail: mail@schweizerbart.de, Internet: <http://www.schweizerbart.de>

Bernhard Harzer Verlag GmbH, Westmarkstraße 59/59a, 76227 Karlsruhe, Germany, Tel.: +49-721 944020, Fax: +49-721 9440230, e-mail: Info@harzer.de, Internet: www.harzer.de

Printed in Germany by Tutte Druckerei & Verlagsservice GmbH, 94121 Salzweg, Germany.

PFG – Jahrgang 2015, Heft 4 Inhaltsverzeichnis

Originalbeiträge

GLIRA, P., PFEIFER, N., BRIESE, C. & RESSL, C.: A Correspondence Framework for ALS Strip Adjustments based on Variants of the ICP Algorithm	275
RIENOW, A., GOETZKE, R., HOYMAN, J. & MENZ, G.: Simulation von Flächenverbrauch im Ruhrgebiet bis 2025 - Eine Gegenüberstellung von „bottom-up“ und „top-down“ Modellen auf der Basis von Satellitendaten	291

Beitrag aus Wissenschaft und Praxis

SEIP, C.: Evaluierung und Monitoring von Dienstqualität (Quality of Service) dargestellt am Beispiel der Marinen Dateninfrastruktur Deutschland (MDI-DE)	313
--	-----

Mitteilungen

Berichte von Veranstaltungen

LowCost3D – Sensors, Algorithms, Applications, 2.–3. December 2014, Berlin	331
ISPRS Workshop 3D-ARCH 2015, 25.–27. February 2015, Ávila, Spain	333
35. Wissenschaftlich-Technischen Jahrestagung der DGPF, 16.–18.3.2015, Köln.	336

Berichte der Arbeitskreise der DGPF

Aus- und Weiterbildung	338
Optische 3D-Messtechnik	340
Bildanalyse und Bildverstehen	341
Hyperspektrale Fernerkundung	341
Radarfernerkundung und Flugzeuglaserscanning	342
3D-Stadtmodelle	343

Hochschulnachrichten

Karlsruher Institut für Technologie, Dissertation von Sven Wursthorn	345
Technische Universität Dresden, Dissertation von Ahmed Naser Al-Hameedawi.	346
Technische Universität Dresden, Dissertation von Karsten Pippig	346
Technische Universität Dresden, Dissertation von Eva Hauthal	347

Veranstaltungskalender	348
------------------------------	-----

Korporative Mitglieder	349
------------------------------	-----

Zusammenfassungen der „Originalbeiträge“ und der „Beiträge aus Wissenschaft und Praxis“
(deutsch und englisch) sind auch verfügbar unter www.dgpf.de/neu/pfg/ausgaben.htm

— |

| —

— |

| —



A Correspondence Framework for ALS Strip Adjustments based on Variants of the ICP Algorithm

PHILIPP GLIRA, NORBERT PFEIFER, CHRISTIAN BRIESE & CAMILLO RESSL, Vienna, Austria

Keywords: Airborne laser scanning, strip adjustment, ICP comparison, maximum leverage sampling.

Abstract: In order to minimize discrepancies within the overlap area of airborne laser scanning (ALS) strips, strip adjustment can be performed. Apart from the transformation model, the quality of strip adjustment is strongly affected by the observations used in this process. In order to exploit the full resolution of the data, correspondences should be established on the basis of the original point cloud instead of interpolated surfaces or rasters, so that a loss in accuracy and systematic interpolation effects can be avoided. A surface matching method in which correspondences are based on the original point cloud is the iterative closest point (ICP) algorithm. In this study several ICP variants suitable for large amounts of data are investigated. We introduce a new method for the selection of correspondences which is based on the influence of a point on the adjustment calculations. As a result of this study, a combination of variants, forming a baseline optimized for most ALS data, is presented. The investigated variants provide a correspondence framework for ALS strip adjustment. The benefit of specific variants is demonstrated on the basis of a challenging ALS scene.

Zusammenfassung: *Korrespondenzen für die ALS-Streifenausgleichung auf Basis von ICP.* Durch eine Streifenausgleichung können systematische Diskrepanzen im Überlappungsbereich von Airborne Laser Scanning (ALS)-Streifen minimiert werden. Die Qualität einer Streifenausgleichung hängt neben dem Transformationsmodell wesentlich von den verwendeten Korrespondenzen ab. Nutzt man für die Korrespondenzen die Punktwolke selbst anstelle von interpolierten Flächen oder Rastern, so kann man davon ausgehen, keinen Genauigkeitsverlust oder systematischen Fehler durch Interpolationseffekte zu erleiden, und somit sehr hohe Genauigkeitsansprüche erfüllen zu können. Eine Methode, auf die das zutrifft, ist der Iterative Closest Point (ICP) Algorithmus. In dieser Arbeit wurden mehrere für große Datenmengen geeignete ICP-Varianten untersucht. Im Zuge dessen stellen wir eine neue Selektionsmethode für Korrespondenzen vor, die auf dem Einfluss jedes Punktes auf das Ausgleichungsergebnis aufbaut. Als Ergebnis dieser Studie wird in diesem Artikel eine Variantenkombination vorgestellt, die für typische ALS-Szenen optimiert ist. Diese kann als Grundlage für die Korrespondenzbildung einer Streifenausgleichung herangezogen werden. Der Vorteil bestimmter Varianten wird anhand einer geometrisch herausfordernden ALS-Szene gezeigt.

1 Introduction

Airborne laser scanning (ALS) is the prime data acquisition method for digital terrain models (DTM), especially in forested areas or areas with little texture. In order to georeference the scanner raw measurements, the fol-

lowing information is required (SKALLOUD & LICHTI 2006, RESSL ET AL. 2009):

1. The position and orientation of the acquisition platform. They are measured by a position and orientation system (POS), consisting of a GNSS system (global navigation satellite system) and an INS (inertial navigation system).

2. The relative orientation of the scanner to the POS, consisting of a rotational and a translational part (mounting calibration).
3. The time synchronization between scanner and the POS system.
4. Internal scanner parameters, e.g. zero point and scale of range and angle.

Any inaccuracy in these categories results in wrong coordinates of the ground points. In order to minimize and correct these systematic errors, a strip adjustment can be performed. One of the major challenges in this context is the necessity to handle large amounts of data, thus algorithms have to be fast and efficient. On the other hand, the initial orientations of the strips are typically relatively good, since systematic errors are small compared to the extents of the strips.

The basic observations for a strip adjustment are corresponding geometric elements, e.g. points or planes, within the overlap area of the strips. To exploit the full potential of ALS, these correspondences should be established on the highest data resolution level, i.e. on the basis of the original point cloud, as interpolation potentially introduces additional errors (TOTH 2008). A surface matching method in which correspondences are based on the original point cloud is the iterative closest point (ICP) algorithm (BESL & MCKAY 1992, CHEN & MEDIONI 1991).

The aim of the ICP algorithm is finding the optimal alignment of two overlapping point clouds. The geometric transformation applied within the ICP algorithm is typically a rigid body transformation. In ALS strip adjustment with trajectory information the transformation model is more complex (SKALLOUD & LICHTI 2006). However, we are interested in the correspondence problem primarily. Therefore, we only concentrate on a single strip pair, whose alignment is an inherent part of ICP. The topic of strip adjustment is only briefly addressed.

We study the effects of different ICP variants on convergence speed and accuracy. A few variants are newly introduced to meet the special requirements in ALS. One of them addresses the problem of correspondence selection and is called "maximum leverage sampling". Using this new strategy the correspondences which are best suited for the es-

timination of the transformation are selected. All investigated variants are suitable for large amounts of data, as they typically occur in ALS.

After a review of related literature, the basic ICP concept is described, introducing a taxonomy of the algorithm in five main steps, derived from RUSINKIEWICZ & LEVOY (2001). Next, the investigated variants for each of these steps are presented. In this context, a combination of variants forming a baseline optimized for most ALS data is introduced. We conclude by demonstrating the benefits of specific variants.

2 Related work

In the rich body of literature on ICP algorithms, a huge number of modifications were derived from the original works of BESL & MCKAY (1992) and CHEN & MEDIONI (1991). They refer to the selection of points, the weighting of correspondences, the metric for measuring the distance, and other aspects. A summary has been given by RUSINKIEWICZ & LEVOY (2001), who suggest that a better expansion of the acronym ICP would be iterative *corresponding* point instead of the original iterative closest point. PLANITZ et al. (2005) summarize methods based on intrinsic surface parameters for solving the correspondence problem. References to ICP variants adopted for this study are given in section 5.

Strip adjustment methods are either formulated in a rigorous way, i.e. with trajectory and calibration parameters, (KAGER 2004, SKALLOUD & LICHTI 2006, KERSTLING et al. 2012) or in an approximate way, i.e. without trajectory (RESSL et al. 2009). The strip discrepancies can be minimized in a pairwise way or simultaneously for all strip pairs. Correspondences are either generated on the basis of the original point cloud or of derived data, e.g. a grid, a triangulation or higher order primitives (MAAS 2002). Most approaches use planes as corresponding features. They can be of fixed or variable size, in the latter case determined by segmentation (PFEIFER et al. 2005, FILIN & VOSSELMAN 2004). In AKCA (2010) reflectance, colour and temperature are considered as additional input for the matching of point clouds.

An overview of strip adjustment methods is given by TOH (2008).

3 General ICP Concept and Taxonomy

The ICP algorithm improves the alignment of two point clouds by minimizing the discrepancies within the overlap area of these point clouds. The alignment is optimized by transforming iteratively the so called loose point cloud, whereas the position of the other point cloud remains fixed. To apply the algorithm, a good estimate of the initial relative orientation of the point clouds is necessary. This main requirement is typically fulfilled in ALS.

The ICP algorithm can be broken down into five main steps (Fig. 1):

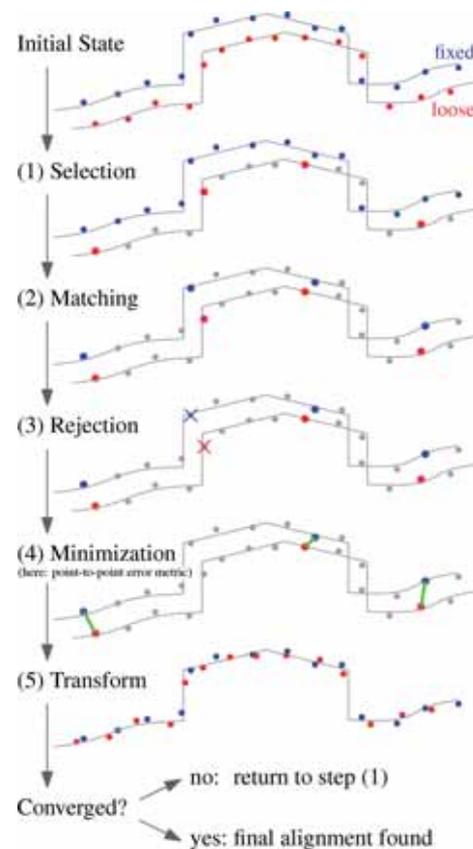


Fig. 1: Visualization of the five basic ICP steps for two overlapping strips (blue = fixed strip, red = loose strip, green = correspondence).

1. Selection

A subset of points is selected within the overlap area in one point cloud.

2. Matching

Find the corresponding points of the selected subset in the other point cloud.

3. Rejection

False correspondences (outliers) are rejected on the basis of the compatibility of points.

4. Minimization

Estimation of transformation parameters (for the loose point cloud) by minimizing the distances between corresponding points.

5. Transformation

Transformation of the loose point cloud using the estimated parameters.

Finally, a suitable convergence criterion is tested. If it is not met, the process restarts from step 1, or step 2 if point selection is not repeated iteratively. In section 5 we will discuss some variants for each of these five steps.

4 Preprocessing of the ALS Data

The surface normal vectors of the point clouds are required many times throughout the alignment process (section 5). Therefore, the preprocessing of the ALS data includes the estimation of the normal vector $\mathbf{n} = (n_x, n_y, n_z)^T$ ($\|\mathbf{n}\| = 1$) and its reliability for each point.

The surface normal vectors can be estimated for each point using a principal component analysis of the co-ordinates of neighbouring points (SHAKARJI et al. 1998). It is recommended to select a neighbourhood based on a fixed radius search, where the search radius should be chosen in dependence of (a) the point density and (b) the topography of the strips. Considering the point density in selecting the search radius should ensure that a sufficient number of neighbouring points is used for the normal vector estimation, e.g. $n \geq 8$, whereas the topography has to be considered so that the radius does not exceed the size of the available smooth surface areas. Usually, we choose the search radius in the range of 1 m – 3 m. Given this set of n three dimensional points,

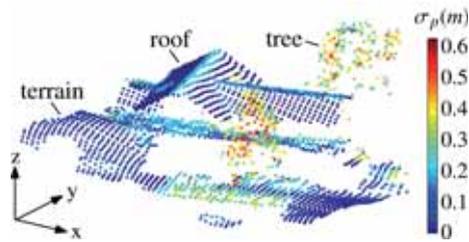


Fig. 2: ALS point cloud coloured by the roughness attribute σ_p . For the alignment process only points in smooth areas should be used, e.g. points with $\sigma_p \leq 0.1$ m.

$\mathbb{P} = \{\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2, \mathbf{p}_3, \dots, \mathbf{p}_n\}$, $\mathbf{p} \in \mathbb{R}^3$, the 3×3 co-variance matrix of its co-ordinates is denoted by $\mathbf{C}(\mathbb{P})$. The principal components of $\mathbf{C}(\mathbb{P})$ are its eigenvectors and form an orthogonal basis. The associated eigenvalues correspond to the variance in the directions of the eigenvectors. Assuming a descending ordering of the eigenvalues ($\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \lambda_3$), the third eigenvector \mathbf{e}_3 is a least-squares estimate for the normal vector of the adjusting plane ($\mathbf{n} = \mathbf{e}_3$). The square root of the third eigenvalue can be used as a reliability measure for the normal vector. This value corresponds to the standard deviation of the selected points from the estimated plane and can therefore be interpreted as a measure for the roughness of the adjusting plane ($\sigma_p = \sqrt{\lambda_3}$) (Fig. 2).

To ensure a high reliability of the normal vectors, only points on smooth surface areas should be retained for the alignment process, e.g. $\sigma_p \leq 0.1$ m.

Each of these remaining points is then described for the subsequent steps by its co-ordinates $\mathbf{p} = (x \ y \ z)^T$, its normal vector $\mathbf{n} = (n_x \ n_y \ n_z)^T$ and its roughness measure σ_p .

5 ICP Variants Suitable for ALS Data

This section covers some variants of the ICP algorithm for each of the steps introduced in section 3. A special focus lies on the applicability on large amounts of data, as they typically occur in ALS. The new proposed selection method called **maximum leverage sampling** is briefly introduced here. A detailed description follows in section 6.

Variants forming a **baseline optimized for most ALS scenes** are marked by an asterisk (*).

5.1 Selection (Step 1)

For comparatively small point clouds each point may be selected. However, for ALS data this is not feasible. This is particularly true if the single strip pair problem is generalized to an ALS strip adjustment of a complete data acquisition campaign, in which hundreds of strip pairs have to be processed simultaneously. Thus, compared to the full amount of available data (up to several million points), only a comparatively small number (a few thousands) of points can be selected within the overlap area of each strip pair. Since the selected subset heavily affects the final alignment accuracy, the selection of relevant points is crucial.

We consider the following four strategies for the selection of points in one point cloud. They are sorted by increasing computational complexity (Fig. 3):

1. Random sampling

This is the fastest of the investigated options: points are randomly selected within the overlap area (MASUDA & YOKOYA 1995). Since the point density of ALS is only varying slightly, compared e.g. to typical TLS datasets, this option can be considered as an approximation of uniform sampling.

2. Uniform sampling

Uniform sampling in object space gives a homogeneous distribution of the selected points within the overlap area. This option was implemented by dividing the overlap area into a voxel structure and selecting the closest point to each voxel centre. Consequently, the mean sampling distance in each coordinate direction corresponds to the edge length of a single voxel. A k-d tree was used for the closest point search.

3. Maximum leverage sampling (*)

This strategy selects those points which are best suited for the estimation of the transformation parameters. For this purpose, the leverage of each point on the parameter estimation is considered. This method is described in section 6.

4. Normal space sampling

The aim of this strategy is to select points such that the distribution of their normals in angular space is as uniform as possible (RUSINKIEWICZ & LEVOY 2001). For this the angular space (slope vs. aspect) is divided into classes, e.g. $2.5^\circ \times 10^\circ$, and points are randomly sampled within these classes. Strategies 3 and 4 are useful when one normal direction is predominating, but the data still include some valuable features for the alignment. This is especially true for ALS data acquired over flat terrain.

A comparison of the methods is shown in Fig. 3. For this figure, a synthetic point cloud

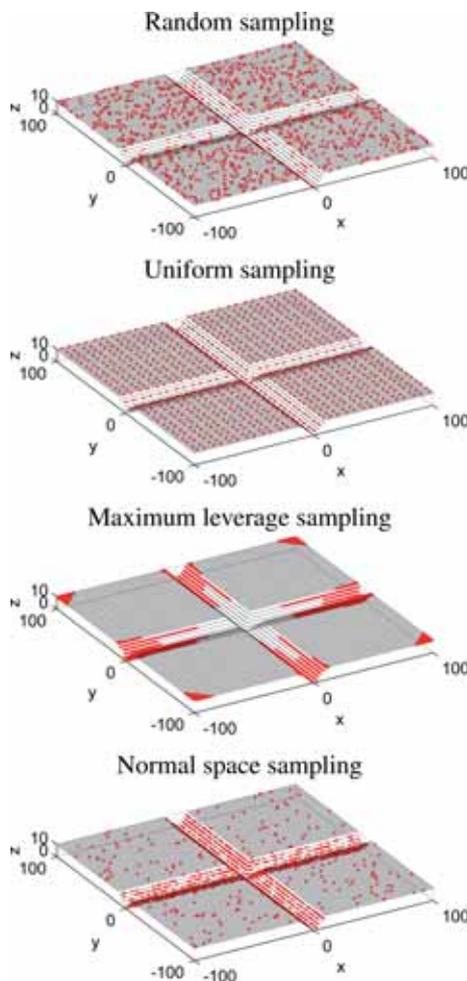


Fig. 3: Comparison of different selection strategies. With each strategy 10% of points are selected.

made of 10,201 points ($=101^2$) was generated by sampling a plane with two orthogonal ditches. For each strategy 10% of the original points were selected.

5.2 Matching (Step 2)

In this step the correspondences are established, i.e. each selected point from the previous step is matched with one point in the other point cloud.

The simplest strategy is to match the selected points to their **closest points** (*), as proposed by BESL & MCKAY (1992). We found that for ALS data this is an adequate choice, mainly due to the good initial relative orientation and the high point density of ALS strips. The search for closest points can be realized efficiently using k-d trees.

Further matching methods are either computationally too expensive, e.g. **normal shooting**, (CHEN & MEDIONI 1991), **reverse calibration** (BLAIS & LEVINE 1995), or not necessary (PLANITZ et al. 2005) due to the good initial orientation of the strips, e.g. **closest compatible point** (SHARP et al. 2002). Thus, within this study, no other variants were investigated for this step.

5.3 Rejection (Step 3)

The aim of this step is the a priori detection and rejection of false correspondences (outliers), as they may have a large effect on the result of the minimization step. One option is the **rejection on the basis of the distances between corresponding points** (*). For this strategy the distribution of the a priori distances between corresponding points is analyzed. For the recommended point-to-plane error metric (see next step), the signed distances d_1, d_2, \dots, d_n are assumed to have a Gaussian distribution. A robust estimator for the standard deviation (HAMPEL 1974) of this contaminated normal distribution is given by

$$\sigma_{\text{mad}} = 1.4826 \cdot \text{mad}, \quad (1)$$

where mad is the median of the absolute differences (with respect to the median)

$$\text{mad} = \text{median}_i \left(\left| d_i - \text{median}_j(d_j) \right| \right). \quad (2)$$

In this work, all correspondences with distances outside the range

$$d_{\max} = \tilde{d} \pm 3\sigma_{\text{mad}} \quad (3)$$

are rejected, where \tilde{d} denotes the median of the point-to-plane distances.

Another option is the **rejection based on the angle between the normal vectors of corresponding points (*)**. The angle between the normals of two corresponding points p and q is defined as:

$$\alpha = \text{acos}(\mathbf{n}_p^T \cdot \mathbf{n}_q). \quad (4)$$

To ensure that two corresponding points belong to the same plane, e.g. a roof, we recommend to reject all correspondences with α larger than

$$\alpha_{\max} = 5^\circ. \quad (5)$$

Additionally, a **rejection based on additional attributes of corresponding points** can be performed if invariant attributes are available for the ALS points. For example, if reflectance values are available, false corresponding points can possibly be detected by comparing their reflectance values.

It is recommended to apply all of the presented rejection strategies. However, it is not guaranteed that this will lead to an a priori rejection of all outliers in the observation data. Thus, a robust adjustment method is used for the detection and removal of the remaining ones.

5.4 Minimization (Step 4)

The transformation parameters are usually estimated by minimizing the sum of squared distances between the established correspondences. Two types of distances are commonly used (Fig. 4).

1. Euclidean (unsigned) distance between corresponding points ("**point-to-point**" error metric Δs) (BESL & MCKAY 1992):

The objective function to be minimized is

$$E = \sum_i \Delta s_i^2 = \sum_i \|T(\mathbf{p}_i) - \mathbf{q}_i\|^2 \quad (6)$$

where \mathbf{p}_i and \mathbf{q}_i are the corresponding points, and T denotes a transformation. The fixed point cloud is formed by the points \mathbf{q}_i and the loose point cloud by the points \mathbf{p}_i .

This error metric should be avoided in ALS, because due to the different ground sampling of two ALS strips, no real point-to-point correspondences exist and the convergence speed is somewhat slow (RUSINKIEWICZ & LEVOY 2001). If a rigid-body transformation is applied, a closed form solution exists for this error metric (HORN et al. 1998).

2. Perpendicular (signed) distance of one point to the tangent plane of the other point ("**point-to-plane**" error metric Δp) (*) (CHEN & MEDIONI 1991):

The objective function to be minimized is:

$$E = \sum_i \Delta p_i^2 = \sum_i \left[(T(\mathbf{p}_i) - \mathbf{q}_i)^T \cdot \mathbf{n}_i \right]^2, \quad (7)$$

where \mathbf{n}_i are the normal vectors in \mathbf{q}_i .

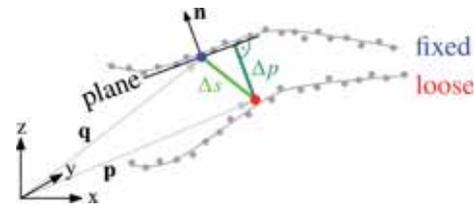


Fig. 4: Comparison of point-to-point (Δs) and point-to-plane (Δp) error metric.

In contrast to the point-to-point error metric, for this error metric it is not necessary for the corresponding points to be identical in object space. The only requirement is that the corresponding points belong to the same plane in object space, e.g. roof. This error metric is characterized by a high convergence speed, as flat regions can slide along each other without costs, i.e. without increasing the value of the objective function E . A closed form solution exists for the rigid-body transformation only after linearizing the rotation matrix, i.e. for small rotations (CHEN & MEDIONI 1991).

In this study, the optimization problem was solved using the Gauss-Markov adjustment model, also called least-squares adjustment by indirect observations. Outliers were detected by using adaptive weights within the adjustment (KRAUS 1997). The closed form solutions were used for verification.

5.5 Transformation (Step 5)

Using a **rigid body transformation** with 6 parameters for rotation and translation for improving the relative and absolute orientation of ALS strips appears to be a reasonable choice. However, as pointed out in RESSL ET AL. (2009), if additionally the effects of a wrong mounting calibration shall be reduced without considering the GNSS-INS trajectory data, then it is important to use an **affine transformation** with 12 parameters.

Reformulating (7) the objective function to be minimized for the recommended point-to-plane error metric is

$$E = \sum_i \left[(R \mathbf{p}_i + \mathbf{t} - \mathbf{q}_i)^T \cdot \mathbf{n}_i \right]^2, \quad (8)$$

where \mathbf{t} denotes a 3-by-1 translation vector and R denotes a 3-by-3 orthogonal rotation matrix for the rigid-body transformation or a 3-by-3 affine matrix for the affine transformation.

6 Maximum Leverage Sampling

The quality of the parameter estimation depends heavily on the selected subset of points (step 1). For example, if too many correspondences are situated in featureless regions, the ICP algorithm may fail to converge because of lack of constraints. Here we propose a new method for the selection of points, which minimizes the uncertainty of the estimated transformation parameters. That is, we select the points which provide the strongest constraints on the transformation. As a consequence, a very small number of correspondences is sufficient for the alignment of two ALS strips. This is of particular advantage when hundreds of strip pairs have to be processed simultaneously within a strip adjustment.

We start from some basic formulae of the Gauss-Markov adjustment model. Then we derive the hat matrix H on which the presented method is based, including some brief explanations of its properties. Subsequently, an example of the hat matrix for a specific case (point-to-plane error metric and rigid body transformation model) is given. Finally, the point selection algorithm is presented.

6.1 The Hat Matrix H

We consider a system of linear equations given by

$$\mathbf{l} \approx \mathbf{A}\mathbf{x}, \quad (9)$$

where the u unknown transformation parameters \mathbf{x} are linked with the n original observations \mathbf{l} by the full-column rank n -by- u coefficient matrix \mathbf{A} . This over-determined equation system ($n > u$) is solved by introducing n residuals \mathbf{v} for the observations \mathbf{l}

$$\mathbf{l} + \mathbf{v} = \mathbf{A}\hat{\mathbf{x}} \quad (10)$$

and minimizing the least-squares objective function $E = \mathbf{v}^T \mathbf{v}$. By substituting \mathbf{v} with $\mathbf{A}\hat{\mathbf{x}} - \mathbf{l}$ and setting the partial derivatives $\partial E / \partial \hat{\mathbf{x}} = 0$ the estimates for the parameters $\hat{\mathbf{x}}$ are determined by

$$\hat{\mathbf{x}} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{l}. \quad (11)$$

The unknown rms-error of the weight unit $\hat{\sigma}_0$ can be estimated by

$$\hat{\sigma}_0 = \sqrt{\frac{\mathbf{v}^T \mathbf{v}}{n - u}}. \quad (12)$$

The covariance matrix $\Sigma_{\hat{\mathbf{x}}\hat{\mathbf{x}}}$ of the estimated unknown parameters $\hat{\mathbf{x}}$ is then given by

$$\Sigma_{\hat{\mathbf{x}}\hat{\mathbf{x}}} = \hat{\sigma}_0^2 \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}\hat{\mathbf{x}}}, \quad (13)$$

$$\mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}\hat{\mathbf{x}}} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1}. \quad (14)$$

If we denote the estimated observations by $\hat{\mathbf{l}} = \mathbf{l} + \mathbf{v}$, (10) can be rewritten together with (11) as

$$\hat{\mathbf{l}} = A(A^T A)^{-1} A^T \mathbf{l}. \quad (15)$$

To emphasize the fact that each \hat{l}_i is a linear combination of the original observations \mathbf{l} , (15) can be written as

$$\hat{\mathbf{l}} = H\mathbf{l}, \quad (16)$$

with

$$H = A(A^T A)^{-1} A^T. \quad (17)$$

The n -by- n matrix H is known as the **hat matrix**, as it “puts a hat on \mathbf{l} ”. On the one hand H is a projection matrix, as it projects \mathbf{l} into $\hat{\mathbf{l}}$. On the other hand H describes the amount of leverage or influence each observed value in \mathbf{l} has on each fitted value in $\hat{\mathbf{l}}$. For instance, the i -th row of H contains the influence of the original observations \mathbf{l} on the estimated observation \hat{l}_i . More precise, the element h_{ij} can be interpreted as the influence of the observation l_j on \hat{l}_i . This value is independent from the actual value of l_j , because for uncorrelated and unweighted observations H only depends on A .

Due to these properties, the hat matrix can be used to identify observations which have a large influence on the parameter estimation. Such influential observations are defined according to BELSLEY et al. (1980) as:

“An influential observation is one which, either individually or together with several other observations, has a demonstrably larger impact on the calculated values of various estimates (...) than is the case for most of the other observations.”

For a specific observation l_i the influence on the parameter estimates is most directly reflected in its leverage on the corresponding estimated observation \hat{l}_i (HOAGLIN & WELSCH 1978). This information is precisely contained in the corresponding diagonal element h_{ii} of the hat matrix. Thus, we focus our analysis on the diagonal elements of H , the so called **leverages**. They can be directly computed by

$$h_{ii} = \mathbf{a}_i (A^T A)^{-1} \mathbf{a}_i^T, \quad (18)$$

where \mathbf{a}_i denotes the i -th row of A . In this way the memory-intensive computation of the off diagonal elements of H can be avoided.

The leverages have two important properties. According to HOAGLIN & WELSCH (1978) for the leverages h_{ii} it holds that

$$0 \leq h_{ii} \leq 1. \quad (19)$$

Further, as a projection matrix, H is symmetric and idempotent ($H^2 = H$). The trace of an idempotent matrix is equal to its rank, i.e. $\text{trace}(H) = \text{rank}(H)$. From (17), it can be seen that $\text{rank}(H) = \text{rank}(A) = u$, and hence $\text{trace}(H) = u$, i.e.

$$\sum_{i=1}^n h_{ii} = u, \quad (20)$$

where u denotes the number of parameters. The redundancy numbers, which are commonly used in adjustment theory, are linked to the leverages by

$$r_{ii} = 1 - h_{ii}. \quad (21)$$

According to FÖRSTNER (1979), the redundancy number describes the contribution of a single observation to the overall redundancy $r = n - u$, i.e. $\sum_{i=1}^n r_{ii} = r$.

A side note about **partial leverages**: The leverages discussed so far are relevant when all parameters are of equal interest. However, an observation may be influential only for one or a few parameters. For instance, a point on horizontal terrain is especially important for the estimation of the vertical component of the translation vector, but at the same time it is entirely redundant for the estimation of its horizontal components. Thus, the partial influence of an observation on a single parameter may be of interest. It is given by the partial leverages.

The partial leverage $h_{j,i}$ describes the influence of the i -th observation on the estimation of the j -th parameter and is defined according to CHATTERJEE & HADI (1986) as

$$h_{j,i} = \frac{\mathbf{v}_{j,i}^2}{\mathbf{v}_j^T \mathbf{v}_j} \quad (22)$$

$$\mathbf{v}_j = (I - H_{[j]}) \mathbf{a}_j \quad (23)$$

with I n -by- n identity matrix,
 $H_{[j]}$ hat matrix calculated by omitting
 the j -th column of A ,
 A_j j -th column of A ,
 $v_{j,i}$ i -th element of v_j .

As their name already implies, the sum of the partial leverages of an observation gives its overall leverage

$$h_{ii} = \sum_{j=1}^u h_{j,i} . \tag{24}$$

To be complete, in presence of a weight matrix $P = Q_{ll}^{-1}$ for the observations based on a covariance matrix Q_{ll} , the hat matrix becomes

$$H = A(A^T P A)^{-1} A^T P, \tag{25}$$

i.e. H depends on A and P . If the observations are correlated, i.e. the weight matrix P is not a diagonal matrix, the leverages are not restricted to the range $[0,1]$.

6.2 Leverage Calculation Example

Let us assume the point-to-plane error metric (step 4) and the rigid body transformation model (step 5) were chosen for the alignment of two ALS strips. Due to the good initial relative orientation of the point clouds, the rotation matrix R can be linearized, substituting $\cos(\alpha) \approx 1$ and $\sin(\alpha) \approx \alpha$. Thus (8) can be written as

$$E = \sum_i \left[(p_i + r \times p_i + t - q_i)^T \cdot n_i \right]^2, \tag{26}$$

where $r = (\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z)^T$ is the vector containing the rotation angles about the x, y, and z axes, respectively, and $t = (t_x, t_y, t_z)^T$ is the translation vector. After a few algebraic steps, the n -by-6 coefficient matrix A can be found for $x^T = (r^T t^T)$ as

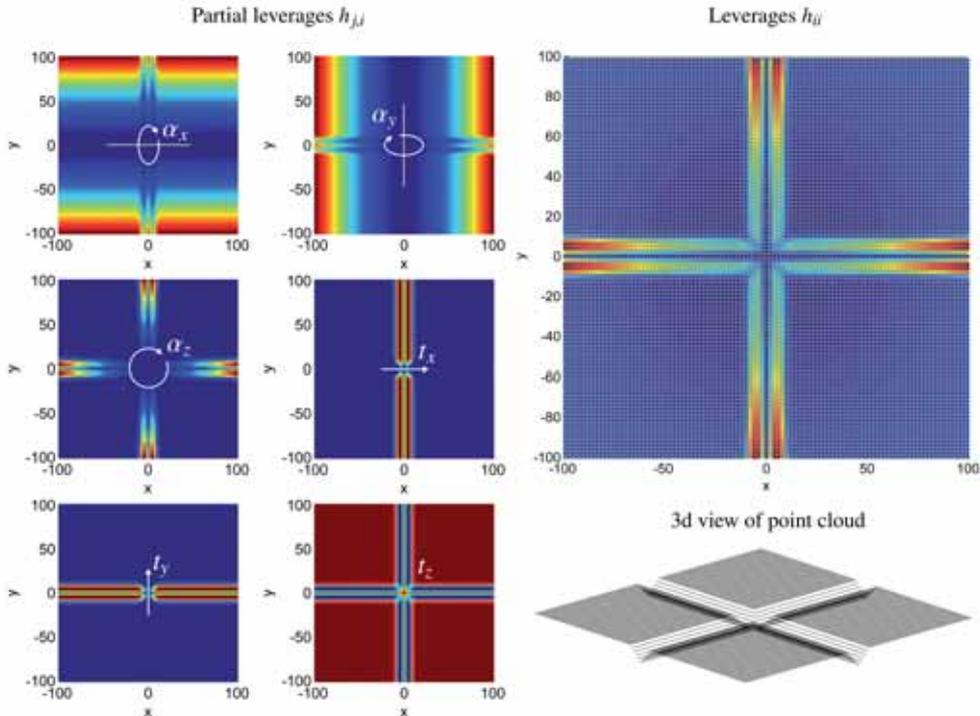


Fig. 5: Partial leverages (left) and leverages (right) of the synthetic point cloud introduced in Fig. 3. (red = high leverage, blue = low leverage).

$$A = \begin{pmatrix} (\mathbf{p}_1 \times \mathbf{n}_1)^T & \mathbf{n}_1^T \\ (\mathbf{p}_2 \times \mathbf{n}_2)^T & \mathbf{n}_2^T \\ \vdots & \vdots \\ (\mathbf{p}_n \times \mathbf{n}_n)^T & \mathbf{n}_n^T \end{pmatrix}. \quad (27)$$

As can be seen, each point \mathbf{p}_i contributes one row to A , i.e. it corresponds to one observation. It is clear that not all of the points have an equal importance in the least-squares adjustment. Thus, with (18) the leverage h_{ii} of each point \mathbf{p}_i can be computed. This tells us how much influence a point \mathbf{p}_i has on the estimation of the transformation parameters. If the estimation of the leverages should rely exclusively on the points \mathbf{p}_i , the normals in (27), which according to (7) belong to the points \mathbf{q}_i , can be replaced by the normals of \mathbf{p}_i due to (5).

In Fig. 5 the partial leverages and the leverages are visualized for the synthetic point cloud introduced in section 5.1. It can be clearly seen that the partial leverages (left) identify those points which are most influential for the estimation of a single transformation parameter. For instance, for the rotation parameter α_x , points with larger distances from the rotation axis x are more influential than points next to it. The leverages (right), as the sum of the partial leverages, represent the influence of each point on the simultaneous estimation of all six transformation parameters. As expected, the points in the ditches and at the edges of the point cloud have the largest impact on the parameter estimation.

Summarizing the contents of this section, the diagonal elements of the hat matrix, called leverages, describe the influence of an observation on the parameter estimation. For uncorrelated and unweighted observations, the hat matrix can be calculated exclusively from the coefficient matrix A , see (17). Otherwise, the weight matrix P is also necessary, see (21). Since in the ICP algorithm each point corresponds to one observation, the leverages can be used to describe the influence of each point on the estimation of the transformation parameter. In the next section we show how points are selected on the basis of this information.

6.3 The Selection Algorithm

Usually the leverages are used for the identification of potential blunders in the observation data. However, we use the leverages to identify those points which are best suited for the estimation of the transformation parameters, i.e. have the largest impact on the parameter estimation. In terms of redundancy numbers (21), the points with the lowest redundancy are selected. This selection of points with low redundancy does not pose a problem on the identification of blunders within a robust adjustment. Because of the high overall redundancy in the ICP algorithm (hundreds of observations vs. few transformation parameters) the redundancy of the selected high leverage points is still very high: In the examples considered in this article the redundancy of these selected points is still always above 0.99. The following scheme provides a description of the algorithm.

Algorithm Maximum leverage sampling

Input:

Point cloud: $\mathbb{P} = \{\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2, \dots, \mathbf{p}_n\}$

Normals: $\mathbb{N} = \{\mathbf{n}_1, \mathbf{n}_2, \dots, \mathbf{n}_n\}$

No. of points to select: m

Initialize vector with indices of all points:

$s = (1 \ 2 \ \dots \ n)^T$

Compute coefficient matrix A

while rows(A) > m **do**

$Q_{\hat{x}\hat{x}} = (A^T A)^{-1}$ (14)

for $i = 1$ to rows(A) **do**

$h_{ii} = \mathbf{a}_i Q_{\hat{x}\hat{x}} \mathbf{a}_i^T$ (18)

end for

Find index j of point with lowest h_{ii} .

$j = \text{find}(\min(h_{ii}))$

Delete row \mathbf{a}_j from A

Delete j -th element from s

end while

Return s with indices of selected points

The selection algorithm starts with the indices of all n points in a vector s , i.e. at the beginning all points are selected. Based upon this, the points with the lowest leverages are removed iteratively from s until m points are left. Please note that due to the

correlation of the leverages (17) one cannot simply select m points after the first computation of the leverages, but they have to be recomputed in each iteration.

To speed up the algorithm, instead of removing only one single point, the k points with the lowest leverages may be removed from s in each iteration. We found out empirically that for relatively small values of k , e.g. $k = 10$, this has a negligible effect on the final selection of points, but it leads to a substantial reduction in processing time.

7 Experimental Results

In this section, the introduced correspondence framework is demonstrated on the basis of synthetic ALS data. The motivation for using synthetic data is that the correct orientation is known exactly, and the correctness of the estimated transformations can be evaluated relative to this “ground truth” orientation. A digital elevation model (DEM) of the selected ALS scene, which consists primarily of almost flat terrain intersected by a narrow ditch, is shown in Fig. 6. This dataset was chosen because it is a rather difficult scene for most ICP variants, as there is only one feature - the ditch - which can constrain the transformation at the finest level. Thus, this dataset is used to emphasize the differences between the presented variants.

The two synthetic point clouds were generated by the following steps:

1. Extraction of a $1000 \text{ m} \times 100 \text{ m}$ area from a real ALS strip.

2. Derivation of a DEM from this point cloud (least-squares moving planes interpolation, grid size = 0.5 m).
3. Generation of the two synthetic ALS strips: bilinear interpolation of the DEM at randomly distributed positions in the xy plane for each of the two point clouds (mean point density = 4 points/m²). Consequently, each strip consists of 400,000 points.
4. Transformation of one of the two point clouds by a rigid body transformation. For the first two experiments (section 7.1 and 7.2) a translation vector $t = (0.5 \ 0.5 \ 0.5)^T \text{ m}$ and a rotation about the z axis with $\alpha_z = 0.1^\circ$ were chosen. This leads to point displacements at the edges of the point cloud of about 1 m, which is far more than usual displacements between real ALS strips. For the third experiment (section 7.3), each of the 6 transformation parameters was varied within a specific range, whereas the other 5 transformation parameters were set to zero.

The ICP algorithm tries to bring back the transformed point cloud to its original position. After each iteration, for each point the Euclidean distance between its current position and its original position can be computed. We denote the root-mean-square of these distances as *alignment error* and use this error metric for the comparison of different ICP variants. The rigid body transformation (3 rotations, 3 translations) was chosen as the transformation model. The proposed **baseline method**, marked by an asterisk (*) throughout this document, is applied for all steps which are *not* under investigation in the subsequent examples.

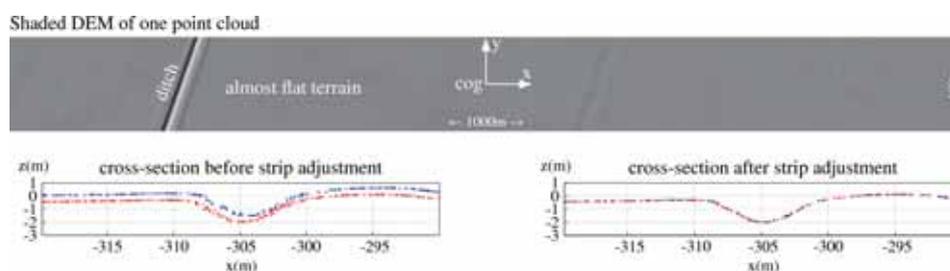


Fig. 6: Top: digital elevation model of ALS test scene, bottom: cross-section through ditch before and after the strip adjustment.

7.1 Comparison of Selection Strategies

First, we examine the effect of the selection strategies introduced in section 5.1 on the convergence of the ICP algorithm. For this purpose, with each strategy about 300 points (or 0.075% of all points) are selected for the estimation of the 6 transformation parameters.

As can be seen in Fig. 7, using **random sampling (RS)** and **uniform sampling (US)**, most of the points are selected in flat regions, containing a lot of redundant information for the alignment process. From these points the translation in x and y, as well as the rotation about the z axis can hardly be estimated. For

these 3 parameters, points within the ditch would be most useful, but as these strategies do not focus on local terrain features, only a few points are selected within this area.

However, **normal sampling (NS)** and **maximum leverage sampling (MLS)** consider the usefulness of points for the alignment process. Especially the MLS strategy selects the points with the highest leverage on the estimation of the transformation parameters. Thus, for the test scene, points are predominantly selected within the ditch and, in order to constrain the rotation about the ditch axis, in a direction perpendicular to it. It can also be recognized that the algorithm prefers points near the edges, as they better constrain the transformation.

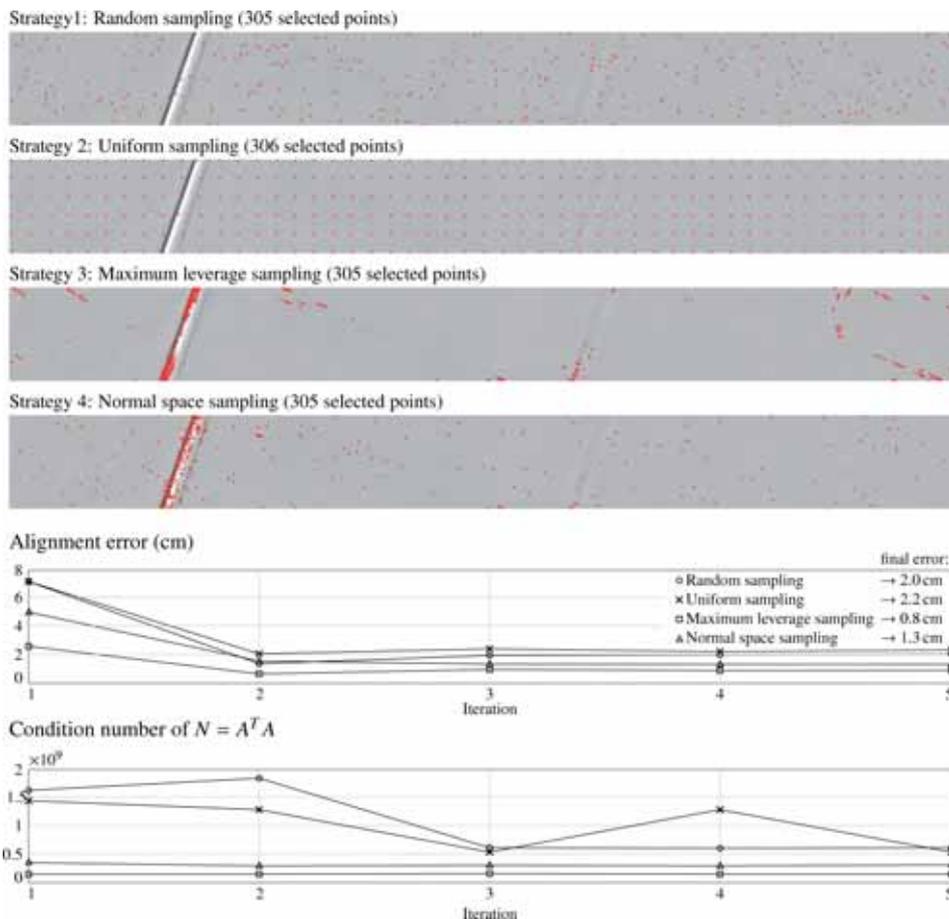


Fig. 7: Effect of different correspondence selection strategies on convergence and condition number.

Tab. 1: Precision of estimated transformation parameters for different sampling strategies in first ICP iteration. RS = random sampling, US = uniform sampling, MLS = maximum leverage sampling, NS = normal sampling.

	translation (mm)			rotation ($''$) = $1/3600^\circ$		
	σ_{t_x}	σ_{t_y}	σ_{t_z}	σ_{α_x}	σ_{α_y}	σ_{α_z}
RS	38.0	29.6	0.3	0.033	0.003	0.410
US	30.5	23.8	0.2	0.024	0.003	0.314
MLS	11.5	22.2	0.6	0.059	0.007	0.261
NS	17.8	47.9	0.7	0.079	0.009	0.661

The convergence of the ICP algorithm for different selection strategies can be compared in Fig. 7. As stated above, the results are based on the point-to-plane-distance. One can see that with RS and US the convergence rate is rather slow and, even worse, the final *alignment error* is 2–3 times larger than with MLS. NS performs relatively well, but since points are not selected optimally, the final error is considerably larger than with MLS. The point selection does not only influence the convergence of the ICP algorithm, but also the a posteriori stochastic of the parameters. The standard deviations of the transformation parameters for the first ICP iteration can be compared in Tab. 1. For further iterations, the ratios between different selection strategies remain similar. This is also confirmed by a comparison of the condition numbers of the normal equation matrix $N = A^T A$, which indicate if the equation system is ill-conditioned (high condition number) or well-conditioned (low condition number).

7.2 Comparison of Error Metrics

In section 5.4 the point-to-point and point-to-plane error metric were introduced. As shown in Fig. 8, the convergence speed of the point-to-point error metric is very slow, and even for a good initial alignment many ICP iterations are necessary until the final alignment is reached. However, with the point-to-plane metric flat regions can slide along each other within one iteration without causing costs and therefore the speed of convergence is improved dramatically.

7.3 Convergence Analysis

The errors to be minimized by strip adjustment typically have magnitudes of up to a few decimetres. Only in exceptional cases the displacements of ALS strips are affected by gross errors, e.g. due to an accidentally wrong processing of the trajectory. Such errors can cause point displacements in the range of several metres. In this experiment we tried to find out if the presented method converges also with such bad initial orientations, and if so, how many iterations are necessary until the global minimum is reached. For this purpose, each of the six transformation parameters was varied (for the transformation of one point cloud, see section 7, step 4) within a specific range, whereas the remaining five parameters were set to zero. For each transformation parameter the range limits were selected so that they cause maximum point displacements of about 10 m. In Fig. 9 the numbers of iterations which are necessary to reach an *alignment error* smaller than 1 cm (stop criterion) are reported for each experiment. For example, for $t_x = 6$ m (and $t_y = t_z = \alpha_x = \alpha_y = \alpha_z = 0$) the presented method needs 7 iterations to reach the

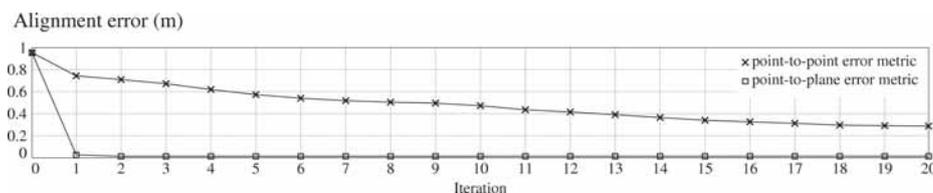


Fig. 8: Effect of different error metrics on the convergence of the strip adjustment. The results are based on uniform sampling for point selection.

stopping criterion. It can be seen that even for this difficult scene, all adjustments converged to the right solution. However, it should be noted that if the initial alignment is very bad, a relatively high number of iterations can be necessary, e.g. 9 iterations for $t_x = -10$ m. In our experience, gross errors in ALS data are always far below the selected range limits and therefore a divergence of strip adjustment can almost be ruled out as long as there are enough terrain features to constrain the transformation.

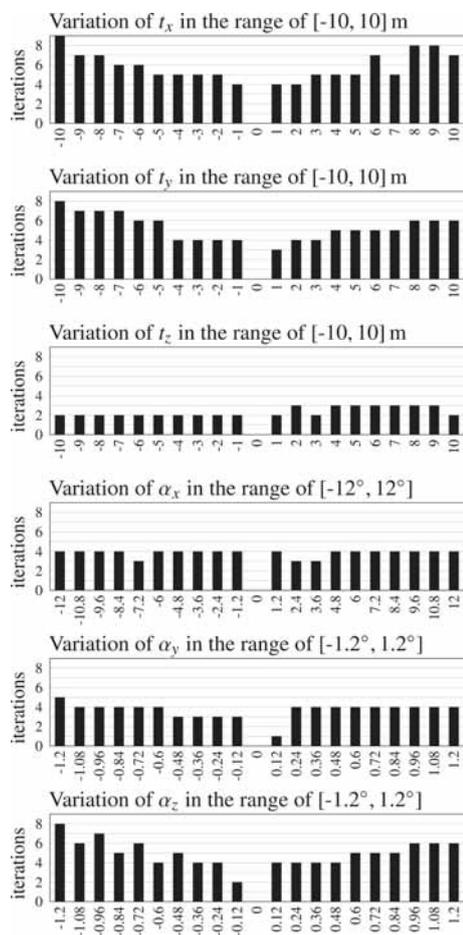


Fig. 9: Convergence analysis by variation of transformation parameters.

8 Conclusions and Outlook

This article presents a study of different options for ALS strip adjustment. A baseline of variants optimized for most typical ALS data-sets was found by the comparison of several variants. The main findings of this work are:

- Correspondences have to be established carefully, because they have a large effect on the final alignment and the convergence speed of the strip adjustment. Within this study a new selection method called maximum leverage sampling was introduced, which considers the usefulness of points for the alignment process. This leads to a higher convergence rate and a better condition number of the normal matrix in the ICP algorithm.
- No real point-to-point correspondences exist in ALS data. This fact has to be considered by minimizing the distances between points and their corresponding tangent plane (instead of minimizing point-to-point distances).
- As the initial relative orientation of point clouds in ALS is typically quite good, only few iterations (< 5) are necessary in order to reach the global minimum of the error function. A divergence of the strip adjustment is very unlikely even if strips are affected by gross errors.

The correspondence framework presented here is already integrated in the module **ICP** of the software package **OPALS** (www.geo.tuwien.ac.at/opals). Currently we are working on the rigorous formulation of the strip adjustment problem, i.e. with the consideration of the trajectory information (SKALOUD & LICHTI 2006).

Acknowledgements

This research was carried out within the project PROSA (high-resolution measurements of morphodynamics in rapidly changing PRO-glacial Systems of the Alps) which is a joined project of the German research community (DFG, project number BE 1118/27-1) and the Austrian science foundation (FWF, project number I893).

References

- AKCA, D., 2010: Co-registration of Surfaces by 3D Least Squares Matching. – *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* **76** (3): 307–318.
- BELSLEY, D.A., KUH, E. & WELSCH, R.E., 1980: Regression Diagnostics: Identifying Influential Data and Sources of Collinearity. – Wiley, New York, NY, USA.
- BESL, P. & MCKAY, N., 1992: A Method for Registration of 3-D Shapes. – *Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* **14** (2): 239–256.
- BLAIS, G. & LEVINE, M., 1995: Registering Multi-view Range Data to Create 3D Computer Objects. – *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* **17** (8): 239–256.
- CHATTERJEE, S. & HADI, A.S., 1986: Influential Observations, High Leverage Points, and Outliers in Linear Regression. – *Statistical Science* **1** (3): 379–393.
- CHEN, Y. & MEDIONI, G., 1991: Object Modeling by Registration of Multiple Range Images. – *IEEE Conference on Robotics and Automation*: 2724–2729, Sacramento, CA, USA.
- FILIN, S. & VOSSelman, G., 2004: Adjustment of airborne laser altimetry strips. – *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* **XXXV** (B/3): 285–289, Istanbul, Turkey.
- FÖRSTNER, W., 1979. Das Programm TRINA zur Trigonometrischen Netzausgleichung. – *Nachrichten aus dem öffentlichen Vermessungswesen NRW* **2**.
- GODIN, G., RIOUX, M. & BARIBEAU, R., 1994: Three-dimensional Registration Using Range and Intensity Information. – *SPIE Videometrics III* **2350**.
- HAMPEL, F.R., 1974: The Influence Curve and its Role in Robust Estimation. – *Journal of the American Statistical Association* **69**: 383–393.
- HOAGLIN, D.C. & WELSCH, R.E., 1978: The Hat Matrix in Regression and ANOVA. – *The American Statistician* **32** (1): 17–22.
- HORN, B., HILDEN, H. & NEGAHDARIPOUR, S., 1998: Closed-Form Solution of Absolute Orientation Using Orthogonal Matrices. – *Journal of the Optical Society of America* **A5** (7): 1127–1135.
- KAGER, H., 2004: Discrepancies between overlapping laser scanning strips – simultaneous fitting of aerial laser scanner strips. – *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* **XXXV** (B/1): 555–560, Istanbul, Turkey.
- KERSTLING, A.P., HABIB, A., BANG, K.-I. & SKALoud, J., 2012: Automated approach for rigorous light detection and ranging system calibration without preprocessing and strict terrain coverage requirements. – *Optical Engineering* **51**, 076201.
- KRAUS, K., 1997: *Photogrammetry Vol. 2, Advanced Methods and Applications*. – Fourth Edition, 218–220, Dümmler, Bonn.
- MAAS, H., 2002: Methods for Measuring Height and Planimetry Discrepancies in Airborne Laserscanner Data. – *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* **68** (9): 933–940.
- MASUDA, T. & YOKOYA, N., 1995: A Robust Method for Registration and Segmentation of Multiple Range Images. – *Computer Vision and Image Understanding* **61** (3): 295–307.
- PLANITZ, B.M., MAEDER, A.J. & WILLIAMS, J.A., 2005: The correspondence framework for 3D surface matching algorithms. – *Computer Vision and Image Understanding* **97** (3): 347–383.
- RESSL, C., MANDLBURGER, G. & PFEIFER, N., 2009: Investigating Adjustment of Airborne Laser Scanning Strips Without Usage of Trajectory Data. – *ISPRS Workshop Laser scanning 2009, ISPRS XXXVIII* (3/W8): 195–200, Paris, France.
- RUSINKIEWICZ, S. & LEVOY, M., 2001: EFFICIENT VARIANTS OF THE ICP ALGORITHM. – *3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON 3D DIGITAL IMAGING AND MODELING*: 145–152, QUEBEC, CANADA.
- SKALoud, J. & LICHTI, D., 2006: Rigorous approach to bore-sight self-calibration in airborne laser scanning. – *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* **61** (1): 47–59.
- SHAKARJI, C.M., 1998. Least-squares fitting algorithms of the NIST algorithm testing system. – *Journal of Research-National Institute of Standards and Technology* **103**: 633–641.
- SHARP, G.C., LEE, S.W. & WEHE, D.K., 2002: ICP registration using invariant features. – *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* **24** (1): 90–102.
- TOTH, C.K., 2008: Strip Adjustment and Registration. – SHAN, J. & TOTH, C.K. (eds.): *Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing*. – CRC Press.

Address of the Authors:

PHILIPP GLIRA, NORBERT PFEIFER, CHRISTIAN BRIESE & CAMILLO RESSL, Gusshausstrasse 27–29, A-1040 Vienna, Austria, {philipp.glira}{norbert.pfeifer}{christian.briese}{camillo.ressl}@geo.tuwien.ac.at
Tel: +43-(1)-58801-12218, -12219, -12211, -12234,
Fax: +43-(1)-58801-12299

Manuskript eingereicht: Dezember 2013
Angenommen: April 2015





Simulation von Flächenverbrauch im Ruhrgebiet bis 2025 – Eine Gegenüberstellung von „bottom-up“ und „top-down“ Modellen auf der Basis von Satellitendaten

ANDREAS RIENOW, ROLAND GOETZKE, JANA HOYMANN & GUNTER MENZ, Bonn

Keywords: Zellulärer Automat, SLEUTH, Support Vector Machines (SVM), Land Use Scanner, Ruhrgebiet

Zusammenfassung: In Deutschland wird Land intensiv genutzt. Insbesondere die Zunahme von Siedlungs- und Verkehrsflächen (SuV) und die daraus resultierenden ökologischen Probleme wie Landschaftszerschneidung und Flächenversiegelung stellen trotz rückläufiger Zuwachsraten in den letzten Jahren eine große Herausforderung dar. Die Neuinanspruchnahme von Flächen für Siedlung und Verkehr ist seit der Jahrtausendwende von gut 120 ha pro Tag auf 74 ha pro Tag zurückgegangen, liegt aber noch deutlich über dem Ziel der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung von 30 ha pro Tag im Jahr 2020. Aktuell nimmt die Bautätigkeit wieder zu; 2013 wurde der höchste Wert an erteilten Baugenehmigungen der letzten zehn Jahre erreicht (DESTATIS 2015). Auch in demografisch und ökonomisch schrumpfenden Regionen wie dem Ruhrgebiet ist nach wie vor eine Ausweitung von SuV zu beobachten. Die Fernerkundung bietet ein Spektrum an Möglichkeiten, die Veränderung von SuV räumlich detailliert zu beobachten und zu quantifizieren. Ein solches Monitoring der aktuellen und vergangenen Siedlungsentwicklung ist ein wichtiger Grundstein, um Aussagen über zukünftige Entwicklungen auf Basis von Modellberechnungen abzuleiten. In dieser methodisch ausgerichteten Studie werden zwei integrierte Landnutzungsmodelle vorgestellt, die auf Basis von Fernerkundungsdaten und angereichert mit zahlreichen demographischen, sozioökonomischen und geophysikalischen Parametern, den Landnutzungswandel im Ruhrgebiet bis zum Jahr 2025 simulieren. Der erste Modellverbund basiert auf dem Zellulären Automaten (CA) SLEUTH, der die zukünftige Entwicklung von zweidimensionalen Stadtmorphologien auf Basis von historischen Landnutzungsdaten simuliert. Zur Verbesserung der Performanz wird SLEUTH mit einer Eignungskarte zur Urbanisierung gekoppelt, die mit Support Vector Machines (SVM) generiert wurde. Während es sich bei SLEUTH-SVM um einen klassischen „bottom-up“

Summary: *Simulation of Urban Growth in the Ruhr for 2025 – A Case Study comparing “bottom-up” and “top-down” Modelling Approaches based on Satellite Data.* In Germany land is used intensively. Especially the ongoing growth of settlement and transport areas and the resulting ecological problems concerning landscape fragmentation and soil sealing are still challenges in terms of a sustainable development in Germany. The growth rates could be reduced in the last decade from approximately 120 ha per day to 74 ha per day, but it is still well above the sustainability goal of the German federal government of 30 ha per day in 2020. Currently the construction activity is increasing: in 2013 the building permissions have reached their highest number since ten years (DESTATIS 2015). Even in shrinking regions like the old industrialized agglomeration of the Ruhr one can observe an increase of settlement areas and transport infrastructure. Remote sensing offers a broad spectrum of techniques to quantify the spatial dimensions of urban growth. This monitoring of current and historic land-use changes can be a valuable foundation for projections of future development. This study compares two model approaches for the spatially explicit simulation of urban growth. The first model is based on artificial intelligence: the cellular automata (CA) SLEUTH, a well-established urban growth simulation model that is based on four simple but effective growth rules. In order to improve its performance, SLEUTH has been modified by combining it with a robust suitability map created by using support vector machines (SVM). While one can see SLEUTH-SVM as a classic bottom-up approach, the second spatially explicit simulation approach can be characterized as a top-down one. The Land Use Scanner establishes suitability maps for different land-use classes. The demand to be allocated is calculated by the socio-ecological model PANTA RHEI REGIO. The paper presents the modelling results for the Ruhr Area in the year

Ansatz handelt, liegen die Stärken des zweiten Modellansatzes auf der Integration planerischer Festlegungen und der Berücksichtigung der Konkurrenz von Landnutzungsarten. Dieser „top-down“ Modellverbund besteht aus dem Allokationsmodell Land Use Scanner, welches die Raumannsprüche aus einem zweiten Modell, dem umweltökonomischen Modell PANTA RHEI REGIO, mit Hilfe von Eignungskarten räumlich zuordnet. Bei der hier vorgestellten Studie werden erste Ergebnisse für das Ruhrgebiet im Jahr 2025 präsentiert – jeweils unter der Annahme, dass bestehende Trends unter gleichen Rahmenbedingungen fortlaufen. Der Beitrag vergleicht beide Modellansätze hinsichtlich der vorhergesagten Quantität und räumlichen Verteilung der Siedlungsentwicklung. Es zeigt sich, dass trotz der unterschiedlichen Modellierungstechniken und zugrundeliegenden Daten sowohl die Größenordnung der Siedlungsentwicklung, als auch deren für 2025 simuliertes generelles Muster sich im Ergebnis deutlich ähneln. Die resultierenden Unterschiede im raumzeitlichen Muster des urbanen Wirkungsgefüges können als stimulierende Unterstützungshilfe der Raumplanung genutzt werden.

2025 – assuming that current land-use trends will continue. We analyse the outcomes in terms of the spatio-temporal urban land-use pattern and quantity in a polycentric region. It turns out that, despite different modelling techniques and underlying data, both the magnitude of settlement development, as well as its simulated general pattern in 2025 is similar in the results. The differences of both model approaches can be used as stimulating decision support for regional spatial planning.

1 Einleitung

Die Zunahme von Siedlungs- und Verkehrsflächen (SuV) und die damit verbundenen ökologischen Probleme wie Landschaftszerstückung oder Flächenversiegelung stellen in Deutschland eine noch nicht gelöste Herausforderung dar. Selbst in schrumpfenden Regionen ist eine flächenhafte Ausweitung von SuV in das städtische Umland hinein (engl.: „urban sprawl“) zu beobachten. Die Landnutzungsmodellierung kann Aufschlüsse über Prozesse, Ursachen und Folgen des Stadtwachstums im sozialen wie ökologischen Bereich geben. Es gibt vielerlei Arten von Modellen zur Simulation von urbanen Landnutzungsänderungen mit unterschiedlichen Anwendungszielen: Einige fokussieren auf die räumlich-explizite Simulation von Mustern, andere auf die Prognose von Wachstumsraten und wieder andere versuchen die Ursache-Wirkung-Beziehungen der Antriebskräfte des Landnutzungswandels nachzuvollziehen. Ausführliche Darstellungen zu bekannten Modellen, Typen und Techniken lassen sich in BATTY (2008), BENENSON & TORRENS

(2004), GOETZKE (2014), und POELMANS & VAN ROMPAEY (2010) finden. Modelle mit dem Ziel der räumlich-expliziten Simulation berechnen das zukünftige städtische Muster häufig auf Basis klassifizierter Satellitendaten. Diese Modelle lassen sich anhand ihrer Modellierungstechniken in „bottom-up“- und „top-down“-Ansätze unterscheiden. Zelluläre Automaten (engl.: „cellular automata“ – CA) sind typische „bottom-up“-Modelle. Sie fassen Städte als Systeme auf und versuchen in ihrem Modellansatz deren Komplexität zu erfassen. Sie fokussieren räumliche Einheiten und modellieren mit Hilfe des räumlichen Ausgangsmusters, von Nachbarschaftsbeziehungen und einfacher Transformationsregeln. Die Gruppe der „top-down“-Modelle bedient sich im Vorfeld statistischer Beziehungen zwischen Landnutzung und Antriebskräften des Landnutzungswandels und verteilt einen global berechneten Bedarf der jeweiligen Landnutzung im Raum. Häufig handelt es sich dabei um Optimierungsmodelle, die über einen iterativen Algorithmus versuchen, einen bestmöglichen Zustand, z. B. im Sinne planerischer Vorgaben, herzustellen. Die vorliegende

Studie stellt einen Vergleich zwischen diesen beiden Modellierungsgruppen hinsichtlich der prognostizierten Quantität und Verortung des Siedlungswachstums an. Als Repräsentant eines „bottom-up“-Modells wird der CA SLEUTH gewählt. Ausschlaggebend ist seine einfache Übertragbarkeit auf verschiedene Kulturräume der Erde. So wurde SLEUTH seit seiner Entwicklung an der University of California in Santa Barbara (USA) 1996 weltweit auf zahlreiche Städte zur Beantwortung stadtstruktureller, ökologischer und anderer Fragestellungen angewendet (CLARKE et al. 1997, GOETZKE 2012, RAFIEE et al. 2009, RIENOW et al. 2014, SILVA & CLARKE 2005, WU et al. 2008). Zur Verbesserung der Performanz und zur Senkung der inhärenten stochastischen Variabilität von SLEUTH wird das Modell mit einer Eignungskarte des Stadtwachstums versehen. Eine solche Karte enthält die Information, wie geeignet jede Zelle eines Rasters für eine bestimmte Landnutzung ist und beeinflusst damit die Wahrscheinlichkeit, mit der ein Modell die Landnutzung dieser Zelle verändert. Hier wird diese Eignungskarte mit einer Methode des Maschinellen Lernens konstruiert, die bisher vor allen Dingen zur Lösung von Klassifikationsproblemen herangezogen worden ist: Support Vector Machines. Das zweite in dieser Studie verwendete Modell ist der Land Use Scanner, ein typisches „top-down“-Modell. Der Land Use Scanner wurde 1997 an der Freien Universität Amsterdam entwickelt und seitdem insbesondere in den Niederlanden bei zahlreichen politikrelevanten Fragestellungen angewendet (KOOMEN et al. 2011, SCHOLTEN et al. 1999, SCHOTTEN et al. 2001). Da es aktuell im Rahmen des BMBF-Verbundprojektes CC-LandStraD („Climate Change – Land Use Strategies, Strategien für ein nachhaltiges Landmanagement in Deutschland“) zur Modellierung einer klimawandelangepassten Siedlungsentwicklung in Deutschland eingesetzt wird, wurde es als geeignetes Vergleichsmodell zu SLEUTH ausgewählt. Anders als SLEUTH berechnet der Land Use Scanner den Siedlungsflächenbedarf nicht selbst, sondern greift auf die Berechnungen ergänzender Prognosemodelle zurück. Zur Projektion des SuV-Bedarfs wurde das umweltökonomische Modell PANTA RHEI REGIO eingesetzt. Auch der

Land Use Scanner benötigt Eignungskarten, um Landnutzungsänderungen zu verteilen. Diese werden mit Hilfe einer logistischen Regression erstellt.

Das Untersuchungsgebiet ist das Ruhrgebiet und der Projektionshorizont das Jahr 2025. Die Region wurde aufgrund ihres hochverdichteten, polyzentrischen Stadtraumes und der vielschichtigen, zum Teil antagonistischen Entwicklungsdynamiken ausgewählt. Die Verwendung der gleichen Landnutzungsdaten war auch nicht möglich, da die hier verwendete Version des SLEUTH-Modells zur Kalibrierung auf mindestens zwei Zeitpunkte mit Referenzdaten aus der Vergangenheit angewiesen ist und daher nicht auf die im Land Use Scanner verwendeten Daten zugreifen konnte, für die keine Zeitreihendaten vorliegen.

Da beide Modelle ursprünglich in einem unterschiedlichen Kontext angewendet wurden, sind sie mit unterschiedlichen Datensätzen zum Status-Quo-Zustand der Landnutzung ausgestattet. Dies wird beim Vergleich der Ergebnisse berücksichtigt, indem nicht die Ergebniskarten unmittelbar miteinander verglichen werden, sondern mit Hilfe von Landschaftsmaßen Indizes erzeugt werden, die Aussagen über Unterschiede und Gemeinsamkeiten in den vom Modell veränderten Raumstrukturen zulassen.

Letztendlich sollen die Ergebnisse dieser Art Modelle zur Entscheidungsunterstützung beitragen. Hierfür benötigen die Entscheider eine gewisse Sicherheit, dass die Ergebnisse der Modelle plausibel sind. In dieser Studie geht es nicht darum, das „beste“ Modell für den Untersuchungsraum auszuwählen, die Sensitivität hinsichtlich einzelner Parameter herauszuarbeiten oder die Validität der Modelle zu demonstrieren. Wenn sehr unterschiedliche Modellierungsansätze trotz Differenzen in Eingangsdaten, Kalibrierungsmethodik und Modellaalgorithmus das Siedlungswachstum in ähnlicher Weise darstellen, kann das dazu beitragen, das generelle Vertrauen in diese Modelle zu erhöhen. Dies bedeutet nicht, dass die Wahl eines Modells beliebig ausfallen kann. Der Aufwand, der für die Kalibrierung solcher Modelle betrieben werden muss, ist sehr unterschiedlich und die Erkenntnisse, die während dieses Prozesses über

die Muster und Antriebskräfte von Landnutzungsänderungen gemacht werden können, fallen teilweise sehr verschieden aus. Während SLEUTH prinzipiell einem induktiven Ansatz folgt und Erkenntnisse über Landnutzungsänderungen erst durch die Modellierung entstehen, folgt der Land Use Scanner einem deduktiven Ansatz. Das bedeutet, dass die Gründe und das Ausmaß von Landnutzungsänderungen bereits eingehend studiert worden sein müssen, damit das Modell entsprechende Muster erzeugt.

Hier sollen die Unterschiede in der Methodik der beiden Modelle deutlich gemacht und die Ergebnisse hinsichtlich Umfang und Verortung des Siedlungswachstums verglichen werden.

2 Flächeninanspruchnahme im Ruhrgebiet

Die Abgrenzung des Ruhrgebietes wird oft nicht einheitlich vorgenommen. In dieser Arbeit werden die fünfzehn Kreise und kreisfreien Städte des Regionalverbands Ruhr in

die Analyse einbezogen. Das Ruhrgebiet ist die größte Agglomeration Deutschlands und die fünftgrößte in Europa. Die größten Städte sind in absteigender Reihenfolge Dortmund, Essen, Duisburg und Bochum – alle mit mehr als 350.000 Einwohnern (REGIONALVERBAND RUHR 2011). In der Zeit der Industrialisierung zu einer einzigartigen, polyzentrischen Industrieregion gewachsen, sieht sie sich heute mit den archetypischen Problemen der ‚rostigen‘ Gemeinschaft ehemaliger monostruktureller Städte konfrontiert (COUCH et al. 2005): Abwanderungen, eine alternde Bevölkerung, hohe Arbeitslosigkeit, einsetzender ‚brain drain‘ und wenig Anreize zur Ansiedlung innovativer Unternehmen des Dienstleistungssektors (BLOTEVOGEL 2006, COUCH et al. 2005, DANIELZYK 2006, GRÜBER-TÖPFER et al. 2008, HOYMANN et al. 2012). Diese negativen Eigenschaften kontrastieren mit der physiognomischen Expansion der SuV der Region. Zwischen 1975 und 2005 wurden im Ruhrgebiet mehr als 37.000 ha Fläche neu in Anspruch genommen (RIENOW & STENGER 2014) (Abb. 1). Das urbane Muster ist dispers und die Bevölkerung konzentriert sich mehr und mehr am

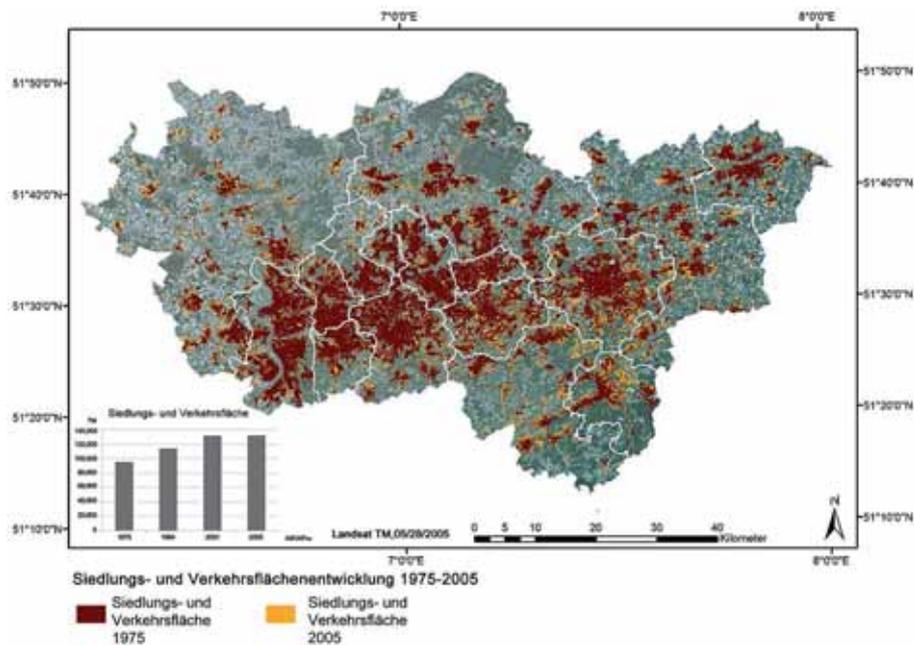


Abb. 1: Stadtwachstum des Ruhrgebietes von 1975–2005 (abgeleitet aus Landsat-Satellitendaten, siehe Kap. 3.1).

Rande des Siedlungskörpers und in den exurbanen Räumen der Klein- und Kleinstädte im Gravitationsfeld der Stadtregion (HOMMEL 1984, SIEDENTOP 2006). Verantwortlich dafür zeichnen viele Gründe. Zu ihnen gehören die Schrumpfung der Haushaltsgrößen, die fiskale Konkurrenz der Kommunen, Planungsroutinen und die Präferenz für aufgelockerte Wohngebiete (HIRSCHLE & SCHÜRT 2008, MIELKE & MÜNTER 2008, SIEDENTOP & FINA 2010). Die Frage, wie die derzeitige demographische und ökonomische Stagnation das zukünftige städtische Muster des Ruhrgebietes beeinflusst, ist komplex und überlagert von strukturellen Transformationsprozessen. Das Phänomen der Perforation des Stadtmusters durch Abrissflächen und Rückbaumaßnahmen, wie es in den neuen Bundesländern schon zu beobachten ist, kann allerdings für die nahe Zukunft noch ausgeschlossen werden (SCHWARZ et al. 2010, SIEDENTOP & FINA 2008, WIECHMANN & PALLAGST 2012).

3 Datenbasis

3.1 *Landnutzungsdaten für das SLEUTH-Modell: Klassifizierte Landsat-Daten*

Die Datenbasis zur Kalibrierung und Validierung des CA SLEUTH wurde im Rahmen des vom Umweltministerium NRW finanzierten Projektes „Visualisierung von Landnutzung und Flächenverbrauch in NRW mittels Satelliten- und Luftbildern“ (NRWPro) erzeugt. Hierfür wurden Landsat-Szenen aus den Jahren 1975 (LANDSAT-MSS, 8.10.1975), 1984 (TM, 25.4.1984), 2001 (ETM+, 5.5.2001) und 2005 (TM, 28.5.2005) geometrisch und radiometrisch korrigiert und mit einem einheitlichen Verfahren klassifiziert (SCHÖTTKER et al. 2003). Das Klassifikationsschema des Projektes beruht auf Entscheidungsbäumen zur Differenzierung der Klassen „Wasser“, „Vegetation“ und „Nicht-Vegetation“ sowie einer überwachten Maximum-Likelihood-Klassifikation (MLK). Als Trainings- und Kontrollpunkte dienen 3.500 in situ Beobachtungen aufgenommen während umfassender Feldbegehungen verteilt im gesamten Landesgebiet von NRW (SCHÖTTKER et al. 2003). Als addi-

tive Referenzdaten wurden ebenfalls Luftbilder und Produkte des Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystems (ATKIS) verwendet (SCHÖTTKER et al. 2003). An die MLK schloss sich eine genauere Differenzierung der „Nicht-Vegetation“-Maske an, um unbedeckten Bodenflächen von versiegelten Flächen unterscheiden zu können. Zur regionalen Modellierung des städtischen Wachstums mit SLEUTH genügt bereits die binäre Variante der Datensätze mit einer räumlichen Auflösung von 100 m, die zwischen versiegelten und nicht-versiegelten Flächen unterscheidet. Die Validierung der binären Klassifikation ergab eine Übereinstimmung zwischen 89,1% und 94,2% (GOETZKE et al. 2006). Das Diagramm in Abb. 1 gibt den Umfang der klassifizierten versiegelten SuV-Fläche wieder.

3.2 *Landnutzungsdaten für den Land Use Scanner: Kombination aus DLM-DE und Urban Atlas*

Für die Modellierung mit dem Modell Land Use Scanner wurde eine deutschlandweite Datenbasis verwendet, die aus einer Kombination zweier Datensätze besteht: dem Digitalen Landbedeckungsmodell für Deutschland (DLM-DE) und dem Urban Atlas. Das DLM-DE, das vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) für Zwecke des Bundes hergestellt wird, besitzt die Geometrie des ATKIS-Basis-DLM in Kombination mit der Nomenklatur von CORINE Land Cover. Zur Überführung wurden neben RapidEye-Daten der Copernicus Soil Sealing Layer 2009, IMAGE2006-Daten und digitale Orthofotos verwendet (HOVENBITZER et al. 2014). In großen Stadtregionen, und damit auch im Ruhrgebiet, wurde zusätzlich der Urban Atlas (MONTERO et al. 2014) verwendet, da in diesem die innerstädtischen Nutzungsarten ausdifferenzierter als im DLM-DE sind. Eine ähnliche Kombination wird auch in vergleichbaren Anwendungsfällen eingesetzt, um den Informationsgehalt der Daten für die Beantwortung spezifischer Fragestellungen zu erhöhen (BATISTA E SILVA et al. 2013). Die Kombination der Landnutzungsdaten erfolgte in mehreren Schritten. Zunächst wurden die Datensätze

hinsichtlich ihrer Nomenklatur harmonisiert (Tab. 1). Alle SuV aus dem Urban Atlas wurden in das DLM-DE überführt und die vorhandenen Flächen damit überschrieben. Außerhalb der Urban Atlas-Regionen wurden mit Hilfe des ATKIS-Straßennetzes die Verkehrsflächen erweitert. Hierfür wurden die linienhaften ATKIS-Straßenobjekte anhand durchschnittlicher Fahrbahnbreiten in Polygone überführt. Schließlich wurden die Daten auf die in dem Landnutzungsmodell verwen-

deten Rasterzellen von 1 Hektar aggregiert. Im letzten Schritt wurden unterschiedliche Klassenzuordnungen in DLM-DE und Urban Atlas mit Hilfe von ATKIS-Daten korrigiert, beispielsweise Friedhofsflächen im DLM-DE als innerstädtische Grünflächen und im Urban Atlas als Industrie, Gewerbe und Öffentliche Flächen, sowie Veränderungen zwischen dem Ausgangsjahr des Urban Atlas (2006) und dem des DLM-DE (2009) ergänzt.

Tab. 1: Landnutzungsklassen im Land Use Scanner Modell (zur Nomenklatur von DLM-DE/CORINE Land Cover siehe BÜTTNER (2014) und zum Urban Atlas MONTERO et al. (2014)).

Code	Klasse	Entspricht Klasse im Quell-Datensatz (A: DLM-DE/CORINE Land Cover; B: Urban Atlas)	Wird modelliert
Urbane Landnutzungsklassen			
111	Flächen städtischer Prägung	A: 111, 112 B: 11100, 11210, 11220, 11230, 11240	Ja
121	Industrie, Gewerbe und öffentliche Gebäude	A: 121 B: 12100	Ja
131	Verkehrsflächen	A: 122, 123, 124 B: 12210, 12220, 12230, 12300, 12400	Ja
141	Abbauflächen und Deponien	A: 131, 132 B: 13100	Nein
151	Baustellen	A: 133 B: 13300	Ja
152	Städtische Brachen	A: - B: 13400	Ja
161	Städtische Grün- und Erholungsflächen	A: 141, 142 B: 14100, 14200	Ja
Landwirtschaftlich genutzte Flächen			
211	Ackerland	A: 211, 221, 222, 242 B: 20000	Ja
221	Grünland	A: 231, 243 B: 20000	Ja
Forstwirtschaftlich genutzte und natürliche Flächen			
311	Wald	A: 311, 312, 313 B: 30000	Ja
321	Naturnahe Flächen und Offenland	A: 321, 322, 324, 331, 332, 333, 334, 335 B: 20000	Ja
411	Feuchtgebiete	A: 411, 412, 421, 423 B: 20000	Nein
511	Wasserflächen	A: 511, 512, 521, 522, 523 B: 50000	Nein

4 „Bottom-up“ – SLEUTH & Support Vector Machines

4.1 SLEUTH – Ein Zellulärer Automat zur Modellierung von Siedlungswachstum

SLEUTH, auch Clarke Urban Growth Model genannt, ist im Kern ein urbanes Wachstumsmodell und wurde von CLARKE et al. (1997) entwickelt. Es wurde mit dem Landcover Deltatron Model um eine Landnutzungs-komponente erweitert, die hier jedoch nicht zum Einsatz kommt. SLEUTH ist im Gegensatz zum Land Use Scanner ausnahmslos auf Stadtwachstum und lediglich auf den Prozess der Flächenneuanspruchnahme fokussiert. Der Name steht als Akronym für die wichtigsten Inputdaten des Modells: Slope, Land Use, Exclusion, Urban extent, Transportation, Hillshade. Fünf Wachstumskoeffizienten steuern die vier Wachstumsregeln des CA. Hierzu gehören das spontane Wachstum, welches das scheinbar zufällige Entstehen neu-

er Siedlungsflächen simuliert, das Wachstum an neuen Siedlungskernen, das flächenhafte (nach außen gerichtete) Randwachstum und das spezifische straßenbeeinflusste Wachstum (Abb. 2).

Ein Wachstumszyklus repräsentiert ein simuliertes Jahr städtischen Wachstums, in dem die vier Wachstumsregeln aufeinanderfolgend durchgeführt werden. Die passenden Koeffizienten des „bottom-up“-Modells werden während der Kalibrierung induktiv herausgefunden. Hierfür werden alle Parameter im möglichen Wertebereich zwischen 0 und 100 iterativ getestet, bis die optimale Balance zwischen den Parametern gefunden ist. Diese Balance ist dann gefunden, wenn das simulierte Ergebnis in Größe und Form des Siedlungswachstums am besten dem beobachteten Ergebnis im Referenzzeitraum des Modells entspricht. Das Modell wurde hier jeweils mit 100 Monte-Carlo Simulationen durchgeführt. Ein Grenzwert bestimmt anschließend, wie oft eine Zelle als urban ausgewählt werden musste, um final als urban gelten zu können

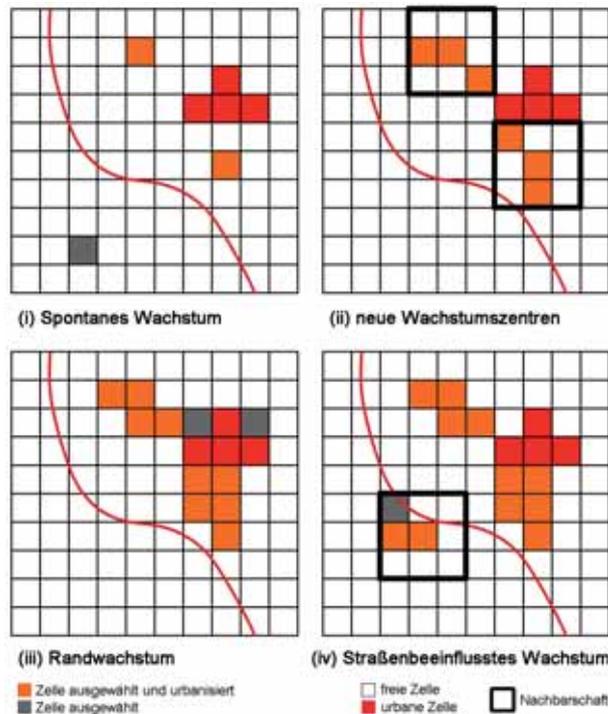


Abb. 2: Wachstumsregeln eines Simulationszyklus von SLEUTH (verändert nach CLARKE et al. 1997).

nen (GOETZKE 2012, RAFIEE et al. 2009, WU et al. 2008). Diese Vorgehensweise schwächt die stochastische Variabilität ab (WEGENER 2011). In dieser Arbeit wird eine modifizierte Version des Modells angewandt, in der das Verfahren der Multiple Resolution Validation (MRV) (PONTIUS et al. 2008) zur Bestimmung der optimalen Kombination der Wachstumskoeffizienten herangezogen wird. Sie hat den Vorteil, dass nur zwei statt fünf Landnutzungskarten zur Kalibrierung eingesetzt werden müssen (GOETZKE 2012).

4.2 Verstärkung von SLEUTH mit Support Vector Machines

Zur weiteren Senkung der stochastischen Variabilität des CA und zur Erhöhung der Simulationsgenauigkeit hinsichtlich der Verortung des simulierten städtischen Wachstums, erhält SLEUTH als zusätzlichen Input eine mit Hilfe von Support Vector Machines (SVM) kreierte Eignungskarte (RIENOW & GOETZKE 2015). SVM basieren auf der Idee des maschinellen Lernens und wurden speziell zur Lösung von Klassifikationsproblemen entwickelt (CORTES & VAPNIK 1995). Einfach ausgedrückt konstruieren SVM als binärer Klassifikator eine optimale Hyperebene zur Aufteilung eines empirischen Merkmalsraumes in zwei Klassen; in diesem Fall „urbanes Wachstum“ und „kein Wachstum“ (VAPNIK 1998, XIE 2006). Die mathematische Formulierung des Optimierungsproblems lautet:

$$\min_{w,b} \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_{i=1}^n \xi_i$$

mit der Randbedingung $y_i((w \cdot x_i) + b) - 1 \geq 0$
für $i = 1, \dots, n$ (1)

mit

x_i = Datenpunkt i im n -dimensionalen Merkmalsraum

y_i = Klassenzugehörigkeit des Pixels i

w = Normalvektor der Hyperebene

b = Verschiebung

C = positive Konstante zur Regulierung von Trainingsfehlern

ξ_i = Schlupfvariable

Der empirische Merkmalsraum wird hier von einem Rasterdatensatz gespannt, der aus räumlichen demographischen, sozioökonomischen und geophysikalischen Antriebskräften von Stadtwachstum besteht. Der Zeitraum orientiert sich hier an dem Ausgangsjahr der Modellierung 1984. Wenn für dieses Jahr keine Daten vorhanden gewesen sind, wurden diejenigen für das nächst heranreichende Jahr genommen (EEA 2006, MIELKE & MÜNTER 2008, SIEDENTOP & FINA 2010, VERBURG et al. 2004a) (Tab. 2).

Zum Training des SVM Klassifikators wurden zufällig jeweils 4.000 Pixel für die Klassen „urbanes Wachstum“ und „kein Wachstum“ aus den Datensätzen von 1984 und 2001 gezogen. Zur Vermeidung von räumlicher Autokorrelation wurde eine Minimumdis-

Tab. 2: Antriebskräfte von Stadtwachstum⁺ im SVM Modell.

Name	Beschreibung
<i>Distanzvariablen</i>	
DistAirport	Kostengewichtete Distanz (CWD) zum nächsten Großflughafen
DistCity	CWD zur nächsten Stadt > 25.000 EW.
DistHighway	CWD zur nächsten Autobahnausfahrt
DistRailway	CWD zum nächsten Bahnhof
DistRiver	Euklidische Distanz zum nächsten Fluss
<i>Geophysikalische Variablen</i>	
Elevation	Höhe über NN (m)
<i>Sozioökonomische Variablen</i>	
Jobs	Inverse Distanzgewichtung (IDW) Arbeitsplätze 1991
Land Price	IDW Bodenrichtwert 1990
NetDwellArea	IDW Netto-Wohnfläche pro Kopf 1990
Unemployment	IDW Arbeitslosenquote 1991
<i>Demographische Variablen</i>	
PopDens	Bevölkerungsdichte 1984 (10 m Kernelbreite)

⁺ Quelle: ATKIS und DESTATIS.

tanz von 1 km zwischen den Pixeln eingehalten (LESSCHEN et al. 2005). Die Eignungskarte wird nach dem Training mit Hilfe der Platt-schen Wahrscheinlichkeitsfunktion berechnet (PLATT 1999).

Die SVM-Eignungskarte des Stadtwachstums im Ruhrgebiet (Abb. 3) wurde mit einer Karte kombiniert, die die Flächen enthält, die von Flächeninanspruchnahme ausgeschlossen bleiben sollen, wie beispielsweise Naturschutzgebiete. Zusammen mit den Rasterdaten zur Hangneigung, der Straßenkarte sowie den urbanen Landnutzungskarten der Jahre 1984 und 2001 zur Kalibrierung und 1975 und 2005 zur Validierung dient sie als lenkender Input für SLEUTH. Tab. 3 enthält die kalibrierten Wachstumskoeffizienten und die Validierungsergebnisse. Die Ergebnisse erreichen ein gutes bis sehr gutes Niveau hinsichtlich der Wahrscheinlichkeitsperformanz (Receiver Operating Characteristic, ROC), des Zufalls (Cohen's Kappa), der quantitativen Simulation (κ_{histo}), der Verortungsfähigkeit (κ_{loc}), und verschiedener räumlichen Skalen (MRV) (LAUF et al. 2012, MESSINA et al. 2008, PONTIUS et al. 2004, RUIZ et al. 2012, RYKIEL 1996).

Tab. 3: Wachstumskoeffizienten und Validierungsergebnisse (1975–2005) des implementierten SLEUTH-SVM Modells.

Wachstums-koeffizienten	<i>Slope</i>	90
	<i>Dispersion</i>	3
	<i>Breed</i>	4
	<i>Spread</i>	4
	<i>Road</i>	80
Accuracy Assessment	F_i Calibration *	0.96
	F_i Validation	0.93
	ROC	0.79
	Kappa	0.80
	κ_{loc}	0.93
	κ_{histo}	0.87

* F_i ist der durchschnittliche Übereinstimmungsfaktor über verschiedene Auflösungen der MRV

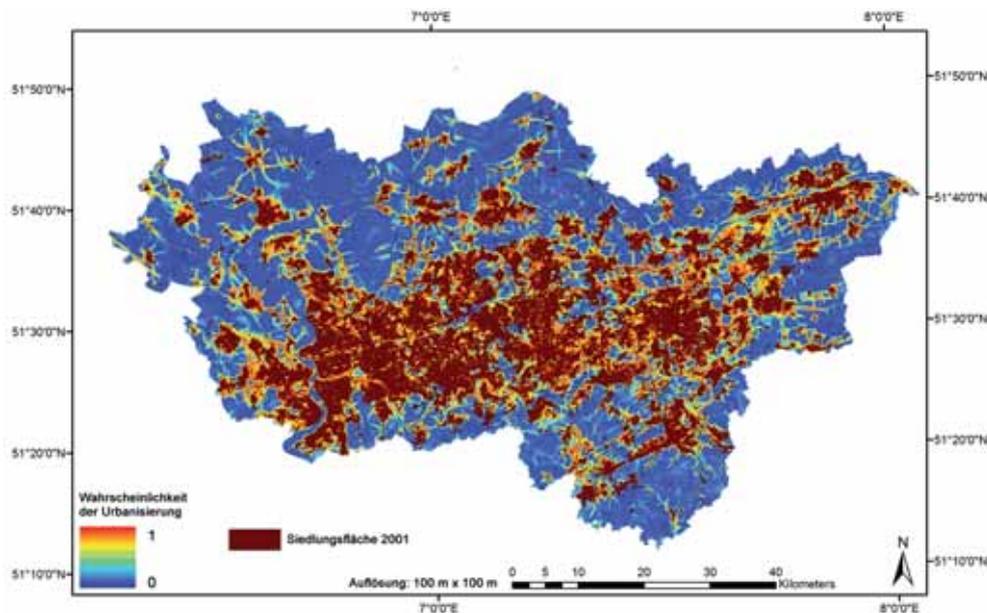


Abb. 3: Eignungskarte des Stadtwachstums im Ruhrgebiet.

5 Top-down – Land Use Scanner & PANTA RHEI REGIO

Aus der Perspektive eines „top-down“-Ansatzes benötigt ein Landnutzungsmodell Informationen darüber, wie viel Flächenänderung für den Simulationszeitraum angenommen werden kann. Während dies im „bottom-up“-CA rein rechnerisch durch die Modellkalibrierung anhand beobachteter Veränderungen in der Vergangenheit geschieht, benötigt ein „top-down“-Modell exogene Vorgaben. Das eigentliche Modell zur Simulation der Landnutzungsänderungen verortet diese Vorgaben zu regionalen Größenordnungen der Flächenänderung mit Hilfe von Eignungskarten und Transformationsregeln.

5.1 Quantitative Trendberechnung mit PANTA RHEI REGIO

Mit dem Modell PANTA RHEI REGIO (PRR) wurde für Deutschland die regionale SuV-Nachfrage bis 2025 ermittelt. PRR schätzt die Flächenentwicklung ökonomisch anhand vergangener Flächentrends und der sozio-ökonomischen Entwicklung (BMVBS 2011). Das Modell nutzt Zeitreihendaten der SuV-Entwicklung der Vergangenheit. Diese stammen aus der Flächenerhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder. Mithilfe erklärender, in der Regel nachfragebezogener, Variablen zur regionalen Bevölkerungs-, Wohnungs-, Haushalts- und Wirtschaftsentwicklung werden statistische Zusammenhänge für die Nutzungsarten der SuV hergestellt. Für den Projektionszeitraum müssen dementsprechend auch Daten dieser erklärenden Variablen vorliegen. Die Bevölkerungs- und Haushaltsentwicklung entstammt der Raumordnungsprognose des BBSR (SCHLÖMER 2012). Die wirtschaftliche Entwicklung wurde mit dem makroökonomischen Modell INFORGE (Interindustry Forecasting Germany) und einem integrierten Regionalmodell abgebildet. Deutschlandweite Ergebnisse dieser Projektion sind in HOYMANN et al. (2012) und HOYMANN & GOETZKE (2014) veröffentlicht. Das Modell PRR modelliert die SuV nutzungsartendifferenziert, d. h. unterteilt in Gebäude-

und Freifläche (darunter Gebäude- und Freifläche Wohnen sowie Gewerbe und Industrie), Betriebsfläche ohne Abbauand, Erholungsflächen (darunter städtische Grünflächen) und Verkehrsflächen.

5.2 Land Use Scanner – Eignungskarten zur Integration regionaler Raumsprüche

Der Land Use Scanner ist ein operationelles GIS-basiertes Simulationsmodell, das mit Hilfe eines Optimierungsalgorithmus die Nachfrage nach Land räumlich explizit auf geeignete Rasterzellen verteilt (HILFERINK & RIETVELD 1999, KOOMEN et al. 2011). Das Land Use Scanner Framework basiert auf der Software GeoDMS (Geo Data and Model Server), auf dem auch die europäische Variante des Land Use Scanners, der EU-ClueScanner (LAVALLE et al. 2011) aufbaut. In diesem Modell sind die Modelllogik des Land Use Scanners und des Clue-Modellansatzes (VERBURG et al. 2002, VERBURG & OVERMARS 2009) verschmolzen. Die hier verwendete Variante des CC-LandStraD Land Use Scanners wurde entwickelt, um Maßnahmen im Bereich des Landmanagements zum Klimaschutz und zur Anpassung an den Klimawandel deutschlandweit zu bewerten. Gerade zur Evaluation von Klimawandelanpassung und Vulnerabilität findet der Modellansatz vermehrt Anwendung (KOOMEN et al. 2008, VERBURG et al. 2012).

Der Allokationsalgorithmus des Land Use Scanners basiert auf der Konkurrenz von Landnutzungsklassen: An jeder Rasterzelle herrscht eine gewisse Eignung für jede Landnutzung. Wenn sich aufgrund der Nachfrage und lokaler Antriebsfaktoren eine andere Landnutzung als die derzeit vorhandene an einer Rasterzelle als geeigneter erweist, findet eine Landnutzungsänderung statt. Dem Modell wird aus externen sektoralen Modellen die Nachfrage nach jeder modellierten Landnutzungsart jeweils auf NUTS-3-Ebene (Kreise und kreisfreie Städte) vorgegeben. Die Nachfrage nach SuV stammt aus der PRR-Projektion (Kap. 5.1). Neben den SuV erfährt auch der Wald in Deutschland eine Zunahme. Hier wurden die Zuwächse der letzten Jahre linear fortgeschrieben. Beide Land-

Tab. 4: Übersicht der verwendeten Eignungskarten zur Berechnung der statischen Eignung der Klasse „Flächen städtischer Prägung“ und deren Wirkrichtung (+ = wirkt fördernd auf die Siedlungsentwicklung, - = wirkt beschränkend auf die Siedlungsentwicklung).

Name	Beschreibung	Richtung
<i>Erreichbarkeiten</i>		
Oberzentren	PKW-Erreichbarkeit des nächsten Oberzentrums in Minuten	+
Fernbahnhöfe	PKW-Erreichbarkeit des nächsten Fernbahnhofs in Minuten	+
Straßen	Euklidische Distanz zur nächsten Straße niedriger Ordnung (Gemeinde-, Kreis-, Landes-, Bundesstraße)	+
<i>Geophysikalische Variablen</i>		
Geländehöhe	Geländehöhe aus Digitalem Geländemodell (Shuttle Radar Topography Mission, SRTM)	-
Hangneigung	Hangneigung in Grad abgeleitet aus Digitalem Geländemodell	-
<i>Sozioökonomische Variablen</i>		
Soziale / kulturelle Infrastruktur	Index zur Ausstattung mit sozialer und kultureller Infrastruktur (Kultur, Einkaufen, Tourismus) auf Ebene der Gemeindeverbände	+
<i>Restriktionen</i>		
Windkraftanlagen	Abstandsregelungen zu Windkraftanlagen	-
Kraftwerke	Abstandsregelungen zu Kraftwerken	-
Freileitungen	Abstand zu Freileitungen	-
Friedhöfe	Als Friedhof genutzte Flächen	-
Truppenübungsplätze	Militärische Nutzung	-
Fluglärm	Fluglärmzonen (60 dB – 65 dB und über 65 dB) um Flughäfen mit mehr als 60.000 Flugbewegungen pro Jahr	-
Bahnlärm	Umgebungsärmkartierung an Bahnstrecken des Bundes (Kartierungsstufe 1)	-
<i>Naturschutz</i>		
Schutzgebietskategorien	Naturschutzgebiete, Landschaftsschutzgebiete, etc. (jeweils mit unterschiedlicher Gewichtung der Schutzfunktion)	-
Großschutzgebiete	Nationalparke, Biosphärenreservate (jeweils mit unterschiedlicher Gewichtung der Schutzfunktion)	-
Natura2000-Gebiete	Schutzgebiete gemäß der FFH-Richtlinie und Vogelschutzgebiete	-
<i>Regionalplanerische Festlegungen</i>		
Hochwasserschutz	Vorrang-, Eignungs- und Vorbehaltsgebiete: vorbeugender Hochwasserschutz	-
Freiraumschutz	Vorrang- und Eignungsgebiete zum Schutz von Naturgütern, naturbezogener Nutzung, ökologischer Funktionen	-
Grünzüge, Grünzäsuren	Vorrang-, Eignungs- und Vorbehaltsgebiete: Zusammenhängende nicht bebaute Gebiete, die in Städteagglomerationen Naturfunktionen übernehmen	-
Rohstoffsicherung	Zur Rohstoffsicherung ausgewiesene oder ausgeschlossene Gebiete	-
Siedlungsbereich	Vorrang- und Eignungsgebiete: vorrangige Siedlungsfunktion	+
Wohnbereich	Vorranggebiete: besondere Förderung der Wohnfunktion	+
Natur- und Landschaft	Vorbehalts-, Vorrang und Eignungsgebiete zum Erhalt von Natur und Landschaft.	-

nutzungsklassen wachsen vor allem zu Lasten der Landwirtschaftsfläche. Das Modell identifiziert für Landnutzungsänderungen geeignete Rasterzellen dort, wo die Nachfrage entsprechend gegeben ist und eine gewisse lokale Eignung herrscht. Die lokale Eignung ergibt sich aus der aktuellen Landnutzung (Kap. 3.2), physischen Gegebenheiten, ökonomischen Bedingungen, d. h. in der Regel Erreichbarkeit von Infrastrukturen, und planerischen Festlegungen (statische Eignungsfaktoren). Zudem spielt der Einfluss der benachbarten Landnutzung eine Rolle, der sich in jedem Modellschritt mit sich ändernder Landnutzung anpasst (dynamische Eignungsfaktoren). Ökonomische Eignungsfaktoren wie Transformationskosten komplettieren die Einflussmöglichkeiten im Modell. Für jede zu modellierende Landnutzungsart werden spezifische Eignungen errechnet. Der Allokationsalgorithmus optimiert die Verortung der Landnutzungsarten so, dass die Summe der Eignungswerte der von Landnutzungswandel betroffenen Zellen maximiert wird (KOOMEN et al. 2011):

$$\max_x \sum_{cj} S_{cj} X_{cj} \quad (2)$$

unter der Bedingung, dass:

$$X_{cj} \geq 0$$

für jedes c und j ,

$$\sum_j X_{cj} = 1$$

für jedes c ,

$$L_{jr} \leq \sum_c X_{cj} \leq H_{jr}$$

für jedes j und jedes r für das regionale Raumansprüche definiert sind;

mit

X_{cj} = Menge Land, die in Zelle c für die Landnutzungsart j verortet wird,

S_{cj} = Eignung für Zelle c und die Landnutzungsart j ,

L_{jr} = minimaler Raumanspruch für eine Landnutzungsart y in Region y ,

H_{jr} = maximaler Raumanspruch für eine Landnutzungsart y in Region r .

Die statische Eignung basiert auf den Ergebnissen einer logistischen Regression, in die Variablen aus den Bereichen der physischen Gegebenheiten und der Infrastrukturausstattung eingeflossen sind. Dieses Verfahren wird in der Landnutzungsmodellierung häufig eingesetzt, um eine dichotome Verteilung, d. h. Landnutzungsänderung ja oder nein, anhand erklärender Variablen zu bestimmen (MERTENS & LAMBIN 1997, VERBURG et al. 2004b). Die logistische Regression wurde mit Hilfe der Methode der Receiver Operating Characteristic (ROC) bewertet (PONTIUS & SCHNEIDER

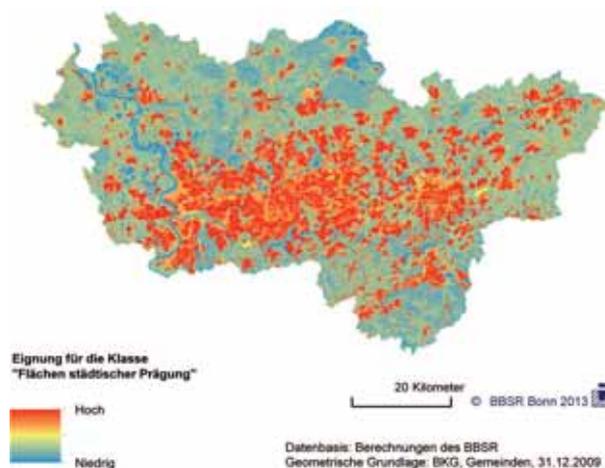


Abb. 4: Eignungskarte für die Landnutzungsart „Flächen städtischer Prägung“ (Kombination aller Eignungsfaktoren).

2001), die eine vorhergesagte Wahrscheinlichkeit von 87,2% für die Klasse „Flächen städtischer Prägung“ ergab. Alle in der Regression verwendeten Variablen befinden sich im Bereich des 5%-Signifikanzniveaus. Der Beitrag von Erreichbarkeitsvariablen ist im statistischen Modell besonders stark. Planerische Festlegungen wurden nicht in die logistische Regression mit einbezogen, da sie nicht zur nachfrageseitigen Erklärung von Landnutzungsänderungen beitragen, sondern die Angebotsseite steuernd beeinflussen. Außerdem lagen die Festlegungen nicht flächendeckend einheitlich vor, was zu Verzerrungen in der Statistik geführt hätte. Die Eignungsgewichte der nicht in der logistischen Regression geschätzten Faktoren wurden anhand von Expertenwissen festgelegt. In Tab. 4 ist beispielhaft eine Auswahl jener Faktoren aufgelistet, die die lokale Eignung der Klasse „Flächen städtischer Prägung“ beeinflussen. Eine ausführliche Darstellung der Eignungsfaktoren findet sich bei HOYMANN & GOETZKE (2014).

Auch der Berechnung der dynamischen Eignung liegt eine logistische Regression zugrunde. Allerdings wurde hier das Nachbarschaftspotenzial (VERBURG et al. 2004a) aller Landnutzungsklassen als erklärende Variab-

len verwendet, um die Eignung für jede einzelne Landnutzungsklasse zu errechnen. Eine Karte, in der alle Eignungsfaktoren kombiniert sind, ist beispielhaft in Abb. 4 dargestellt.

6 Siedlungs-Projektion 2025: „Bottom-up“- und „top-down“ Modelle im Vergleich

6.1 Quantität

6.1.1 SLEUTH & Support Vector Machines

Mit der entwickelten SVM-Eignungskarte konnte SLEUTH für das Jahr 2005 implementiert werden. Anschließend wurde die Siedlungsflächenentwicklung im Ruhrgebiet für das Jahr 2025 simuliert. Zusätzlich wurden 100 Monte-Carlo Simulationen bis zum Jahr 2025 durchgeführt. Sie schwächen die stochastische Variabilität und damit die Simulationsunsicherheit des CA ab. Das Ergebnis ist eine Karte, die anzeigt, wie oft ein Pixel als neue urbane Zelle ausgewählt worden ist. Ein Schwellenwert bestimmt, wie viele Zellen im Endeffekt als urbane Zellen auszuwählen

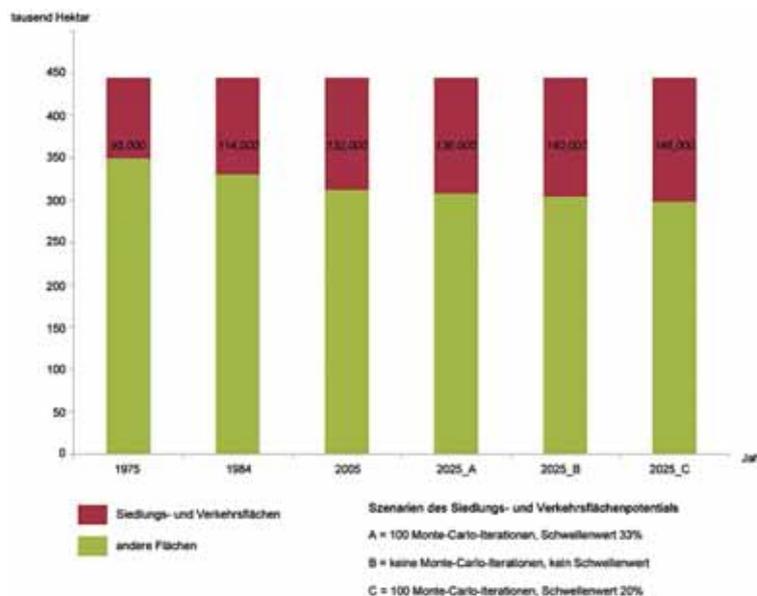


Abb. 5: Entwicklung von Siedlungs- und Verkehrsflächen im Ruhrgebiet 1975 bis 2025 in drei mit SLEUTH-SVM simulierten Szenarien.

sind. Die Wahl des Schwellenwertes hat also erhebliche Auswirkungen auf die Quantität neuer Siedlungspixel. Je höher der Schwellenwert, desto besser die Verortungssicherheit, aber desto geringer die quantitative Übereinstimmung mit der Realität. Abb. 5 zeigt den Anteil von versiegelten SuV-Zellen für das Jahr 2025 in drei Szenarien, die die Quantität potenzieller Flächenneuinanspruchnahmen widerspiegeln. Die Szenarien repräsentieren unterschiedliche Volumen an neuen SuV-Flächen. Szenario A gibt an, wie viel Flächen neu in Anspruch genommen werden, wenn dem Modell SLEUTH ein Schwellenwert von 33% Auswahlwahrscheinlichkeit zugrunde gelegt wird. Dies war der Schwellenwert, der bei der Validierung (Tab. 3) die beste Balance zwischen Verortungssicherheit und Simulation der Quantität zeigte. Im Szenario C wurde dieser Schwellenwert auf nur 20% herabgesetzt. In Szenario B wiederum wurden keine Monte-Carlo Simulationen durchgeführt. SLEUTH wurde hierbei also nur einmal bis zum Jahr 2025 laufen gelassen.

Die Quantität von neu in Anspruch genommenen Flächen oszilliert in den drei Szenarien von 4.000 (2,5% der Katasterfläche) ha

bis 14.000 ha (8,75% der Katasterfläche). Die Schwankung bei der täglichen Flächeninanspruchnahme liegt also zwischen 0,52 ha und 1,9 ha. Szenario A ist das Szenario mit der höchsten Verortungssicherheit von SLEUTH. In Szenario B wurde das Modell nur einmal ohne Schwellenwert laufen gelassen. Daher kann es als dasjenige mit der besten quantitativen Sicherheit angesehen und am ehesten mit einem „business-as-usual“ verglichen werden. Im Gegensatz dazu zeigt Szenario C auf, wie sich die Quantität neu in Anspruch genommener Flächen verändert, wenn sich der Bedarf nach SuV-Nutzungen so erhöht, dass auch weniger gut geeignete Flächen urbanisiert werden würden.

6.1.2 Land Use Scanner & PANTA RHEI REGIO

Anhand der Projektion mit dem Modell PRR wird die SuV im Untersuchungsraum bis 2025 um mehr als 8.000 ha zunehmen. Das entspricht einem Zuwachs von 5% bzw. 2% der Katasterfläche. Der prozentuale Zuwachs liegt damit leicht unter dem Bundesdurchschnitt von etwa 6,5%. Der Rückgang der täg-



Abb. 6: Siedlungs- und Verkehrsflächenentwicklung im Ruhrgebiet 1993 bis 2025 (Land Use Scanner-PRR).

lichen Flächeninanspruchnahme von 1,7 ha im Zeitraum 2005–2008 auf 1,3 ha im Zeitraum 2020–2025 wird von einem Rückgang des Zuwachses der Gebäude- und Freiflächen und der Erholungsflächen getragen (Abb. 6). Die in weiten Teilen ländlich geprägten Kreise am nördlichen Rand des Ruhrgebietes (Wesel, Recklinghausen, Unna) haben auch 2025 noch die höchsten Wachstumsraten, während die hoch verdichteten und erheblich mit dem Strukturwandel konfrontierten Kernstädte im Zentrum des Ruhrgebietes, vor allem Oberhausen, Gelsenkirchen und Herne, die geringsten Zuwachsraten aufweisen, gefolgt von den ebenfalls vom Strukturwandel geprägten Kernstädten am südlichen Rand des Ruhrgebietes, Mülheim an der Ruhr, Bochum und Hagen, die aufgrund der im Vergleich wirtschaftlich erfolgreicherer Nachbarstädte, Düsseldorf, Essen und Dortmund, unter zunehmendem Bedeutungsverlust leiden.

6.2 Verortung

Mit dem Land Use Scanner und SLEUTH werden zwei Modellierungstechniken mit sehr unterschiedlichen Allokationsmethodiken verwendet. Während sich der Land Use Scanner die Konkurrenz von Landnutzungsklassen und deren Eignung für eine Zelle zu Nutze macht, verortet SLEUTH neue Siedlungszellen mit einem Zufallswert und im Abgleich mit der örtlichen Hangneigung. Es lohnt sich also, die simulierten Muster der

Modelle zu analysieren und zu vergleichen. Eine Möglichkeit, solche raumstrukturellen Unterschiede zu messen, bieten Landschaftsmaße (LEITÃO 2006). Hier werden Maße zur Charakterisierung der Dichte (Patch Density, PD), Fläche (Largest Patch Index, LPI; Mean Patch Area, AREA) und Form (Mean Radius of Gyration, GYRATE; Mean Patch Shape, SHAPE) der zusammengehörigen Siedlungselemente angewendet. Zum Vergleich werden die Ergebnisse des Land Use Scanners sowie SLEUTH in den Szenarien A und B, den Szenarien also, die die höchste Verortungssicherheit aufweisen, herangezogen (Abb. 7).

Das Ergebnis macht eine Grundtendenz sichtbar, die sich in den Modellen allerdings sehr unterschiedlich ausdrückt: Sowohl im SLEUTH-Modell Szenario A als auch im Land Use Scanner führt der Siedlungsflächenzuwachs zu einer Verdichtung bestehender Siedlungskörper, die sich vor allem im Rückgang der Elementdichte (PD) und der mittleren Siedlungsfläche widerspiegelt. Der LPI macht allerdings deutlich, dass sich die Verortung neuer Siedlungszellen in SLEUTH auf den von West nach Ost durchziehenden zentralen Agglomerationsraum des Ruhrgebietes konzentriert. Der Land Use Scanner hingegen fokussiert das Wachstum eher entlang von Straßen bestehender Siedlungspixel, u. a. weil in den Eignungskarten Erreichbarkeiten und Distanzen zu Straßen berücksichtigt werden. Die Abnahme der PD sowie die Zunahme der AREA_MEAN und der GYRATE_Mean sind dementsprechend stärker als bei SLEUTH

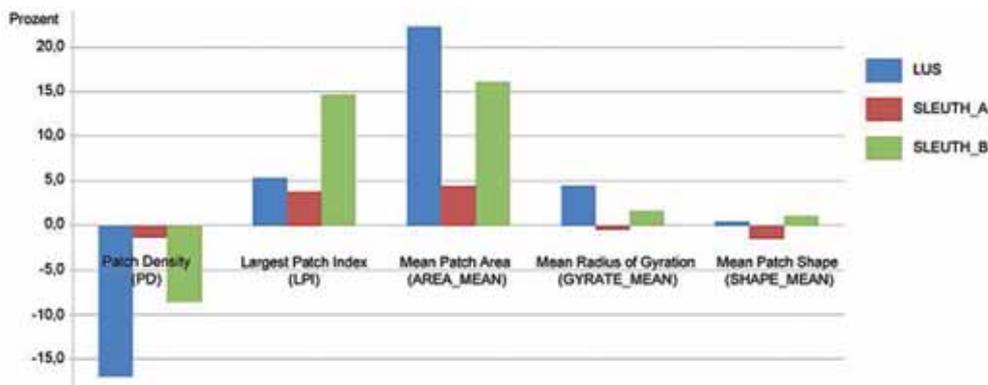


Abb. 7: Veränderung von ausgesuchten Landschaftsmaßen von 2009 bis 2025 im Land Use Scanner (LUS) und von 2005 bis 2025 in SLEUTH mit und ohne Monte Carlo Iterationen (MC).

ausgeprägt. SHAPE_MEAN als Maß zur Quantifizierung der Komplexität der Form des Siedlungsmusters steigt in beiden Modellen an. Dies ist ein Hinweis darauf, dass sich das räumliche Wachstum ebenfalls im sub- und exurbanen Raum abspielt und zu dispersen Mustern führt. Die Grundtendenz der Verdichtung ist umso mehr für die SLEUTH-Version mit Monte-Carlo Simulationen (Szenarien A und C) gültig. Hier nimmt die Komplexität der Form entsprechend ab, und die Verortung findet ausnahmslos entlang des Siedlungskörpers statt.

Betrachtet man die Distanz, mit der neue Siedlungspixel von bestehenden urbanen Zellen verortet worden sind, so wird dieser Befund unterstrichen (Abb. 8). Der Land Use Scanner verteilt für das Ruhrgebiet bis 2025 90% der neuen Siedlungsflächen nicht weiter als 100 m von bestehenden entfernt, SLEUTH im Szenario B nur geringfügig weniger und SLEUTH im Szenario A fast zu 100%. Unterschiede in der Verortung des SuV-Zuwachses ergeben sich gerade dort, wo im Land Use Scanner zusätzliche Daten eingeflossen sind, die den Flächenzuwachs in bestimmten Gebieten stark einschränken. So werden mit dem Land Use Scanner nur etwa 100 ha Siedlungsfläche in Gebieten verortet, die bei einem

100-jährlichen Hochwasser an den Flüssen Rhein, Lippe, Ruhr und Lenne gefährdet sind. Im SLEUTH Szenario A sind es 150 ha und in SLEUTH Szenario B 500 ha. Hier macht sich die steuernde Wirkung der regionalplanerischen Ausweisungen zum Hochwasserschutz bemerkbar, die als Eignungsfaktor in die Berechnung eingeflossen sind. Diese ließen sich in SLEUTH allerdings im Zusammenhang mit der in Kapitel 4.2 genannten SVM-Eignungskarte ebenfalls implementieren.

7 Fazit und Ausblick

In der vorliegenden Studie wurden zwei unterschiedliche Modellansätze zur räumlich-expliziten Simulation der zukünftigen Siedlungsflächenentwicklung im Ruhrgebiet hinsichtlich ihrer Verortungs- und Quantitätskalkulation von Flächenneuanspruchnahme miteinander verglichen. Während es sich bei SLEUTH-SVM als Modell der künstlichen Intelligenz um einen „bottom-up“ Ansatz handelt, kann die Kombination aus Land Use Scanner und PANTA RHEI REGIO als „top-down“ Methodik bezeichnet werden. Die beiden Modellierungsansätze unterscheiden sich also deutlich hinsichtlich ihrer Modelllogik

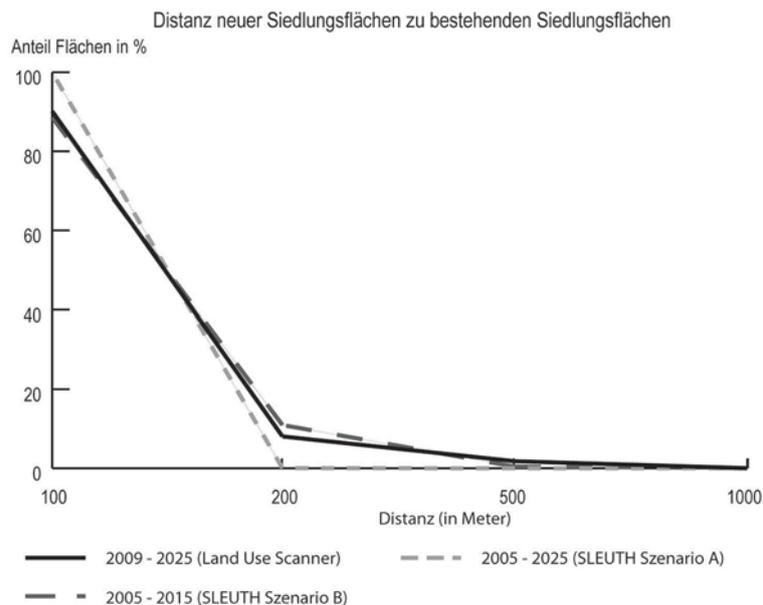


Abb. 8: Entfernung neuer Siedlungs- und Verkehrsflächen zu bestehenden Siedlungskörpern.

und der Komplexität ihrer Eingangsinformationen.

Dennoch ergeben sich auffällige Gemeinsamkeiten. So ist der Zuwachs an SuV mit ca. 8.000 ha im Land Use Scanner und im SLEUTH Szenario B annähernd gleich. Die Unterschiede in den Szenarien A und C ergeben sich aus den Monte Carlo-Iterationen, die logischerweise zu deutlich mehr Zuwachs führen (Szenario C), bzw. so eingegrenzt wurden, dass nur die am häufigsten ausgewählten Zellen verwendet wurden, wodurch sich die geringere Flächenzahl in Szenario A erklären lässt. Sowohl der Land Use Scanner, als auch SLEUTH verorten unmittelbar angrenzend an bestehenden Siedlungsflächen neue Flächen. Dies ist kein Zufall, sondern ergibt sich aus der Kalibrierung der beiden Modelle. Im Fall von SLEUTH ist es die Betrachtung der Entwicklung der vergangenen 17 Jahre, die zu entsprechenden Parametereinstellungen führt. Im Fall des Land Use Scanners sind es die Berücksichtigung von Nachbarschaftseffekten, Erreichbarkeiten und regionalplanerischer Festlegungen, die die Siedlungsentwicklung in diese Richtung steuern.

Eine Validierung beider Modelle mit jüngsten Datensätzen war nicht Teil der hier präsentierten Studie, würde aber weitere Einblicke in ihre Simulationsfähigkeiten und -grenzen versprechen. Für eine Validierung und einen quantitativen Vergleich mit der heutigen Landnutzung wären aktuelle Landnutzungsdaten notwendig. Im Fall der im Land Use Scanner verwendeten Daten aus dem DLM-DE und dem Urban Atlas, welche die Landnutzung im Zeitraum um 2009 repräsentieren, wird eine Veröffentlichung der Aktualisierung für das Jahr 2012 im Laufe des Jahres 2015 erwartet. Erste qualitative Stichproben und der enge Austausch mit Planern auf kommunaler Ebene bestätigen jedoch die Plausibilität der Ergebnisse. Ein quantitativer Vergleich der Simulationsergebnisse mit aktuellen Daten wäre allerdings sehr wünschenswert und ein sehr wichtiger nächster Schritt.

Modelle, die zukünftige Entwicklungstrends der Landnutzung simulieren wie SLEUTH oder der Land Use Scanner, bieten ein breites Spektrum an Einsatzmöglichkeiten: bei der Analyse des Landnutzungswandels und seiner ökologischen Auswirkungen,

zum besseren Verständnis städtischer Wachstumsprozesse, als Entscheidungsunterstützungssysteme bei der Vorbereitung politischer Maßnahmen oder auch zur Unterstützung von Beteiligungsprozessen in der Planung. Während SLEUTH sehr gut geeignet ist, um die generelle Struktur des Siedlungswachstums mit relativ einfachen Mitteln abzubilden, liefert der Land Use Scanner zahlreiche „Stellschrauben“, um konkrete planerische Entscheidungen nachvollziehbar zu implementieren. Das kann bei beiden Modellen in ähnlichen Raummustern resultieren. Bei der Verwendung solcher Modelle im politischen oder planerischen Umfeld ist es jedoch wichtig, dass Einfluss und Wirkung bestimmter mit dem Modell simulierter Maßnahmen erkennbar und nachvollziehbar sind. Hier sind die Möglichkeiten von SLEUTH limitiert. Der hier vorgestellte Ansatz, eine SVM-basierte Eignungskarte zu integrieren, kann jedoch ein erster Schritt sein, dies zu überwinden. Die Simulation der Landnutzungsdiversität kann nur vom Land Use Scanner geleistet werden, da SLEUTH lediglich zur Modellierung von zwei Klassen entwickelt worden ist.

Die hier vorgestellte Studie hat einen methodischen Fokus und verfolgt das Ziel einer Metaanalyse, mit der Unterschiede und Gemeinsamkeiten von Modellierungsansätzen herausgearbeitet werden sollen. Wissenschaftler neigen dazu, ein ihnen vertrautes Modell immer wieder für unterschiedliche Fragestellungen einzusetzen. Zwischendurch ist es jedoch sinnvoll, den Blick über den eigenen Tellerrand zu erheben und durch einen Vergleich mit anderen Modellansätzen neue Erkenntnisse für die eigene Arbeit zu erlangen und die Stärken und Schwächen des eigenen Modellansatzes zu erkennen. Durch die Anwendung unterschiedlicher Modellierungstechniken und Eingangsdaten für das gleiche Untersuchungsgebiet lassen sich zudem wichtige Erkenntnisse darüber herausarbeiten, welche räumlichen Veränderungen der Siedlungsstruktur „wahrscheinlicher“ sind, da sie von beiden Modellen wiedergegeben werden, und wo sich Modelle widersprechen. Daher können die Ergebnisse einer solchen Studie dazu beitragen, ein klareres Bild über die Siedlungsflächenentwicklung im Untersu-

chungsraum, hier dem Ruhrgebiet, zu erlangen und Handlungsbedarfe offen zu legen.

Dieser Studie lagen zwei voneinander verschiedene Forschungsansätze zugrunde, die zwar beide die Siedlungsveränderung im Ruhrgebiet erfasst haben, aber eigenständig angelegt waren. Aus diesem Grund bedienen sie sich auch unterschiedlicher Eingangsdatensätze. Um die Vorhersagekraft der beiden Modelle noch besser studieren zu können, wäre es sinnvoll, in einem nächsten Schritt gleiche räumliche Eingangsdaten zu verwenden (Landnutzung, Eignungskarten). Dadurch könnten jene Unterschiede in den Ergebnissen extrahiert werden, die ausschließlich auf den Unterschieden in den Modellalgorithmen beruhen. In diesem Zusammenhang sollte auch schrittweise geprüft werden, wie stark der Einfluss jedes einzelnen Eignungsfaktors auf die Siedlungsentwicklung ist. Somit ergibt sich aus dem hier vorgestellten Modellvergleich weiterer Forschungsbedarf.

Danksagung

Die vorliegende Studie wurde in der Arbeitsgruppe Fernerkundung am Geographischen Institut der Universität Bonn und am Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBSR) durchgeführt. Die Autoren bedanken sich bei den Mitarbeitern des Projektes „Visualisierung der Landnutzung und des Flächenverbrauchs in Nordrhein-Westfalen auf der Basis von Satellitenbildern“, welches vom Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen gefördert worden ist. Die Arbeiten mit dem Modell Land Use Scanner erfolgten im Rahmen des Verbundprojektes CC-LandStraD „Wechselwirkungen zwischen Landnutzung und Klimawandel – Strategien für ein nachhaltiges Landmanagement in Deutschland“, das mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) unter dem Förderkennzeichen 01LL0909A-F gefördert wird.

Literatur

- BATTY, M., 2008: Fifty years of urban modeling: macro-statics to micro-dynamics. – ALBEVERIO, S., ANDREY, D., GIORDANO, P. & VANCHERI, A. (Hrsg.): *The dynamics of complex urban systems*. – Springer, Berlin.
- BATISTA E SILVA, F., LAVALLE, C. & KOOMEN, E., 2013: A procedure to obtain a refined European land use/cover map. – *Journal of Land Use Science* **8** (3): 255–283.
- BLOTEVOGEL, H.H., 2006: Gemeindetypisierung Nordrhein-Westfalens nach demographischen Merkmalen. – DANIELZYK, R. & KILPER, H. (Hrsg.): *Räumliche Konsequenzen des Demographischen Wandels Teil 8: Demographischer Wandel in ausgewählten Regionaltypen Nordrhein-Westfalens – Herausforderungen und Chancen für die regionale Politik*. – ARL Arbeitsmaterial: 17–33, Hannover.
- BENENSON, I. & TORRENS, P.M. 2004: *Geosimulation: Automata-Based Modeling of Urban Phenomena*. – John Wiley & Sons, West Sussex, UK.
- BMVBS (BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG), 2011: 30-ha-Ziel realisiert – Konsequenzen des Szenarios Flächenverbrauchsreduktion auf 30 ha im Jahr 2020 für die Siedlungsentwicklung. – Unter Mitarbeit von DISTELKAMP, M., MOHR, K., SIEDENTOP, S., ULRICH, P. & DOSCH, F.: Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Forschungen / Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung **148**, Bonn.
- BÜTTNER, G., 2014: CORINE Land Cover and Land Cover Change Products. – MANAKOS, I. & BRAUN, M. (Hrsg.): *Land Use and Land Cover Mapping in Europe*. – Practices & Trends: 55–74, Springer, Berlin.
- CLARKE, K.C., HOPPEN, S. & GAYDOS, L., 1997: A self-modifying cellular automaton model of historical urbanization in the San Francisco Bay area. – *Environment and Planning B: Planning and Design* **24**: 247–262.
- CORTES, C. & VAPNIK, V., 1995: Support-vector networks. – *Machine learning* **20** (3): 273–297.
- COUCH, C., KARECHA, J., NUISSL, H. & RINK, D., 2005: Decline and sprawl: an evolving type of urban development – observed in Liverpool and Leipzig. – *European Planning Studies* **13** (1): 117–136.
- DANIELZYK, R., 2006: Demographische Entwicklungen in Nordrhein-Westfalen. Befunde – Prognosen – Erklärungsansätze. – DANIELZYK, R. & KILPER, H. (Hrsg.): *Räumliche Konsequenzen des Demographischen Wandels Teil 8: Demographischer Wandel in ausgewählten Regional-*

- typen Nordrhein-Westfalens – Herausforderungen und Chancen für die regionale Politik, ARL Arbeitsmaterial: 8–16, Hannover.
- DESTATIS (STATISTISCHES BUNDESAMT)(Hrsg.), 2015: Bautätigkeit. – <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/Bauen/Bauen.html> (8.4.2015).
- EEA (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY) (Hrsg.), 2006: Urban sprawl in Europe: The ignored challenge. – Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- GOETZKE, R., OVER, M. & BRAUN, M., 2006: A method to map land-use change and urban growth in North Rhine-Westphalia (Germany). – 2nd Workshop of the EARSeL SIG on Land Use and Land Cover: 102–110, Bonn.
- GOETZKE, R., 2012: Entwicklung eines fernerkundungsgestützten Modellverbundes zur Simulation des urban-ruralen Landnutzungswandels in Nordrhein-Westfalen. – disserta Verlag, Hamburg.
- GOETZKE, R., 2014: Modeling Urban Sprawl. – MANAKOS, I. & BRAUN, M. (Hrsg.): Land Use and Land Cover Mapping in Europe. – Practices & Trends: 217–233, Springer, Berlin.
- GRÜBER-TÖPFER, W., KAMP-MURBÖCK, M. & MIELKE, B., 2008: Demographische Entwicklung in NRW. – DANIELZYK, R., MEYER, C. & GRÜBER-TÖPFER, W. (Hrsg.): Demographischer Wandel in Nordrhein-Westfalen. – 2. Auflage, Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung und Bauwesen des Landes Nordrhein-Westfalen (ILS NRW): 7–31, Dortmund.
- HILFERINK, M. & RIETVELD, P., 1999: LAND USE SCANNER: An integrated GIS based model for long term projections of land use in urban and rural areas. – Journal of Geographic Information Systems 1 (12): 155–177.
- HIRSCHLE, M. & SCHÜRT, A., 2008: Suburbanisierung... und kein Ende in Sicht? Intraregionale Wanderungen und Wohnungsmärkte. – Informationen zur Raumentwicklung 3/4: 211–226.
- HOMMEL, M., 1984: Raumnutzungskonflikte am Nordrand des Ruhrgebietes. – Erdkunde 38 (2): 114–124.
- HOVENBITZER, M., EMIG, F., WENDE, C., ARNOLD, S., BOCK, M. & FEIGENSPAN, S., 2014: Digital Land Cover Model for Germany – DLM-DE. – MANAKOS, I. & BRAUN, M. (Hrsg.): Land Use and Land Cover Mapping in Europe. – Practices & Trends: 255–272, Springer, Berlin.
- HOYMAN, J., BECKMANN, G., DOSCH, F. & DISTELKAMP, M., 2012: Trends der Siedlungsflächenentwicklung. Status quo und Projektion 2030. – BBSR (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung), Bonn.
- HOYMAN, J. & GOETZKE, R., 2014: Die Zukunft der Landnutzung in Deutschland – Darstellung eines methodischen Frameworks. – Raumforschung und Raumordnung 72 (3): 211–225.
- KOOMEN, E., LOONEN, W. & HILFERINK, M., 2008: Climate-Change Adaptations in Land-Use Planning, A Scenario-Based Approach. – BERNARD, L., FRIIS-CHRISTENSEN, A. & PUNDT, H. (Hrsg.): The European Information Society: 261–282, Springer, Berlin.
- KOOMEN, E., HILFERINK, M. & BORSBOOM-VAN BEURDEN, J., 2011: Introducing Land Use Scanner. – KOOMEN, E. (Hrsg.): Land-use modelling in planning practice: 3–21, Springer, Berlin.
- LAUF, S., HAASE, D., HOSTERT, P., LAKES, T. & KLEIN-SCHMIT, B., 2012: Uncovering land-use dynamics driven by human decision-making – A combined model approach using cellular automata and system dynamics. – Environmental Modelling & Software 27–28: 71–82.
- LAVALLE, C., BARAZZELLI, C., BATISTA E SILVA, F., MUBAREKA, S., ROCHA GOMES, C., KOOMEN, E. & HILFERINK, M., 2011: A High Resolution Land Use/Cover Modelling Framework for Europe: Introducing the EU-ClueScanner100 Model. – Computational science and its applications – International Conference on Computational Science and Its Applications (ICCSA) 2011, Part 1: 60–75, Springer, Berlin.
- LEITÃO, A., 2006: Measuring Landscapes: A Planners Handbook. – Island Press, Washington D.C., USA.
- LESSCHEN, J.P., VERBURG, P.H. & STAAL, S.J., 2005: Statistical methods for analysing the spatial dimension of changes in land use and farming systems. – LUCC Report Series 7 (IGBP), Wageningen, The Netherlands.
- MERTENS, B. & LAMBIN, E.F., 1997: Spatial modelling of deforestation in southern Cameroon: Spatial disaggregation of diverse deforestation processes. – Applied Geography 17 (2): 143–162.
- MESSINA, J.P., EVANS, T.P., MANSON, S.M., SHORTRIDGE, A.M., DEADMAN, P.J. & VERBURG, P.H., 2008: Complex systems models and the management of error and uncertainty. – Journal of Land Use Science 3 (1): 11–25.
- MIELKE, B. & MÜNTER, A., 2008: Demographischer Wandel und Flächeninanspruchnahme. – DANIELZYK, R., MEYER, C. & GRÜBER-TÖPFER, W. (Hrsg.): Demographischer Wandel in Nordrhein-Westfalen: 58–64, 2. Auflage, Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung und Bauwesen des Landes Nordrhein-Westfalen (ILS NRW), Dortmund.
- MONTERO, E., VAN WOLVELAER, J. & GARZÓN, A., 2014: The European Urban Atlas. – MANAKOS, I. & BRAUN, M. (Hrsg.): Land Use and Land Cover

- Mapping in Europe. – Practices & Trends: 115–124, Springer, Berlin.
- PLATT, J.C., 1999: Probabilistic Outputs for Support Vector Machines and Comparisons to Regularized Likelihood Methods. – *Advances in Large Margin Classifiers*: 61–74.
- POELMANS, L. & VAN ROMPAEY, A., 2010: Complexity and performance of urban expansion models. – *Computers, Environment and Urban Systems* **34** (1): 17–27.
- PONTIUS, R.G. & SCHNEIDER, L.C., 2001: Land-cover change model validation by an ROC method for the Ipswich watershed, Massachusetts, USA. – *Agriculture, Ecosystems & Environment* **85** (1–3): 239–248.
- PONTIUS, R.G., HUFFAKER, D. & DENMAN, K., 2004: Useful techniques of validation for spatially explicit land-change models. – *Ecological Modelling* **179** (4): 445–461.
- PONTIUS, R.G., BOERSMA, W., CASTELLA, J.-C., CLARKE, K., NIJS, T., DIETZEL, C., DUAN, Z., FOTSING, E., GOLDSTEIN, N., KOK, K., KOOMEN, E., LIPPITT, C., MCCONNELL, W., SOOD, A.M., PIANOWSKI, B., PITHADIA, S., SWEENEY, S., TRUNG, T., VELDKAMP, A. & VERBURG, P., 2008: Comparing the input, output, and validation maps for several models of land change. – *The Annals of Regional Science* **42** (1): 11–37.
- RAFIEE, R., MAHINY, A.S., KHORASANI, N., DARVISHSEFAT, A.A. & DANEKAR, A., 2009: Simulating urban growth in Mashad City, Iran, through the SLEUTH model (UGM). – *Cities* **26** (1): 19–26.
- REGIONALVERBAND RUHR (Hrsg.), 2011: ruhrFIS-Flächeninformationssystem Ruhr. Erhebung der Siedlungsflächenreserven 2011 in den Flächennutzungsplänen und im regionalen Flächennutzungsplan. – metropol Ruhr, Essen.
- RIENOW, A. & STENGER, D., 2014: Geosimulation of Urban Growth and Demographic Decline in the Ruhr – A Case Study for 2025 using the Artificial Intelligence of Cells and Agents. – *Journal of Geographical Systems* **16** (3): 311–342.
- RIENOW, A., STENGER, D. & MENZ, G., 2014: Sprawling Cities and Shrinking Regions – Forecasting Urban Growth in the Ruhr for 2025 by Coupling Cells and Agents. – *Erdkunde – Archive for Geography* **68** (2): 85–107.
- RIENOW, A. & GOETZKE, R., 2015: Supporting SLEUTH – Enhancing a Cellular Automaton with Support Vector Machines for Urban Growth Modeling. – *Computers, Environment and Urban Systems* **49**: 66–81.
- RUIZ, M., LOPEZ, F. & PAEZ, A., 2012: Comparison of thematic maps using symbolic entropy. – *International Journal of Geographical Information Science* **26**: 413–439.
- RYKIEL, E.J., 1996: Testing ecological models: the meaning of validation. – *Ecological Modelling* **90** (3): 229–244.
- SCHLÖMER, C., 2012: Raumordnungsprognose 2030. Bevölkerung, private Haushalte, Erwerbspersonen. – Steiner, Stuttgart.
- SCHÖTTKER, B., OVER, M., BRAUN, M., Siegmund, A. & Menz, G., 2003: Monitoring statewide urban development using multitemporal, multisensoral satellite data covering a 40-year time span in North Rhine-Westphalia (Germany). – SPIE 10th International Symposium on Remote Sensing: 252–261, Barcelona, Spain.
- SCHOLTEN, H.J., VAN DE VELDE, R.J., RIETVELD, P. & HILFERINK, M., 1999: Spatial information infrastructure for scenario planning: the development of a Land Use Planner for Holland. – STILLWELL, J., GEERTMAN, S. & OPENSHAW, S. (Hrsg.): *Geographical Information and Planning*: 112–134, Springer, Berlin.
- SCHOTTEN, C.G.J., GOETGELUK, R., HILFERINK, M., RIETVELD, P. & SCHOLTEN, H.J., 2001: Residential construction, land use and the environment. Simulations for the Netherlands using a GIS-based land use model. – *Environmental Modelling and Assessment* **6** (2): 133–143.
- SCHWARZ, N., HAASE, D. & SEPPELT, R., 2010: Omnipresent sprawl? A review of urban simulation models with respect to urban shrinkage. – *Environment and Planning B: Planning and Design* **37** (2): 265–283.
- SIEDENTOP, S., 2006: Urban Sprawl – verstehen, messen, steuern. Ansatzpunkte für ein empirisches Mess- und Evaluationskonzept der urbanen Siedlungsentwicklung. – *DISP* **160**: 23–35.
- SIEDENTOP, S. & FINA, S., 2008: Urban Sprawl beyond Growth: from a growth to a decline perspective on the costs of sprawl. – 44th Isocarp Congress 2008: http://www.uni-stuttgart.de/ireus/publikationen/ISOCARP_Paper_Siedentop-Fina.pdf(30.7.2014).
- SIEDENTOP, S. & FINA, S., 2010: Monitoring urban sprawl in Germany: towards a GIS-based measurement and assessment approach. – *Journal of Land Use Science* **5** (2): 73–104.
- SILVA, E.A. & CLARKE, K.C., 2005: Complexity, emergence and cellular urban models: lessons learned from applying SLEUTH – to two Portuguese metropolitan areas. – *European Planning Studies* **13** (1): 93–115.
- VAPNIK, V., 1998: *Statistical Learning Theory*. – John Wiley & Sons, New York, NY, USA.
- VERBURG, P.H., SOEPBOER, W., VELDKAMP, A.T., LIMPIADA, R., ESPALDON, V. & MASTURA, S.S.A., 2002: Modeling the Spatial Dynamics of Re-

- gional Land Use: The CLUE-S Model. – *Environmental Management* **30** (3): 391–405.
- VERBURG, P.H., DE NIJS, T.C.M., VAN RITSEMA ECK, J.R., VISSER, H. & DE JONG, K., 2004a: A method to analyse neighbourhood characteristics of land use patterns. – *Computers, Environment and Urban Systems* **28** (6): 667–690.
- VERBURG, P.H., VAN RITSEMA ECK, J.R., DE NIJS, T.C.M., DIJST, M.J. & SCHOT, P., 2004b: Determinants of land-use change patterns in the Netherlands. – *Environment and Planning B: Planning and Design* **31** (1): 125–150.
- VERBURG, P.H. & OVERMARS, K.P., 2009: Combining top-down and bottom-up dynamics in land use modeling: exploring the future of abandoned farmlands in Europe with the Dyna-CLUE model. – *Landscape Ecology* **24** (9): 1167–1181.
- VERBURG, P.H., KOOMEN, E., HILFERINK, M., PÉREZ-SOBA, M. & LESSCHEN, J.P., 2012: An assessment of the impact of climate adaptation measures to reduce flood risk on ecosystem services. – *Landscape Ecology* **27** (4): 473–486.
- WEGENER, M., 2011: From Macro to Micro – How Much Micro is too Much? – *Transport Reviews* **31** (2): 161–177.
- WIECHMANN, T. & PALLAGST, K.M., 2012: Urban shrinkage in Germany and the USA: A Comparison of Transformation Patterns and Local Strategies. – *International Journal of Urban and Regional Research* **36** (2): 261–280.
- WU, X., HU, Y., HE, H.S., BU, R., ONSTED, J. & XI, F., 2008: Performance Evaluation of the SLEUTH Model in the Shenyang Metropolitan Area of Northeastern China. – *Environmental Modeling & Assessment* **14** (2): 221–230.
- XIE, C., 2006: Support Vector Machines for Land Use Change Modeling. – UCGE Reports, Calgary, AB, Kanada.

Adressen der Autoren

Dr. ANDREAS RIENOW & Prof. Dr. GUNTER MENZ, Geographisches Institut der Universität Bonn, Meckenheimer Allee 166, D-53115 Bonn, Tel.:+49-228-73-9706, Fax: +49-228-73-9702, e-mail: a.rienow@geographie.uni-bonn.de, g.menz@uni-bonn.de

Dr. ROLAND GOETZKE & Dr. JANA HOYMANN Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Deichmanns Aue 31-37, D-53179 Bonn, e-mail: {roland.goetzke} {jana.hoymann}@bbr.bund.de

Manuskript eingereicht: Juli 2014
Angenommen: April 2015





Evaluierung und Monitoring von Dienstqualität (Quality of Service) dargestellt am Beispiel der Marinen Dateninfrastruktur Deutschland (MDI-DE)

CHRISTIAN SEIP, Rostock

Keywords: spatial web services, INSPIRE, evaluation, monitoring, service quality

Zusammenfassung: Service-orientierte Architekturen (SOA) sind heute weit verbreitet. Deutschland entwickelte eine marinespezifische Service-orientierte Dateninfrastruktur (MDI-DE, Marine Dateninfrastruktur Deutschland) von 2010 bis 2013. Die Dienste in der MDI-DE tragen zur Erfüllung von Berichtspflichten für verschiedene europäische und nationale Regularien bei. Die Dienste der MDI-DE ebenso wie andere Dienste, die z. B. von INSPIRE betroffen sind, müssen spezifische Anforderungen an Performanz, Verfügbarkeit und Konformität (Quality of Service, QoS) erfüllen. Obwohl SOA ein wichtiger Bereich in der Forschung ist, gibt es nur sehr wenige Publikationen und Studien über QoS, insbesondere hinsichtlich der INSPIRE-Anforderungen.

Die Dienste der MDI-DE wurden mit verschiedenen Tools analysiert. Die Analyse erstreckte sich auf die Kontrolle der Qualität von Konformität und Leistung (Performanz). Aufgrund teils widersprüchlicher Ergebnisse und einiger Unzulänglichkeiten der unterschiedlichen Werkzeuge kann vereinfacht festgestellt werden, dass je mehr Werkzeuge verwandt werden, desto aussagekräftiger das Ergebnis ist. Die Servicequalitäten waren nicht kohärent, wenn sie mit verschiedenen Werkzeugen gemessen wurden. Die Studie zeigt, dass für das Erreichen objektiver und nachvollziehbarer Messungen von QoS-Parametern als Teil von INSPIRE noch einige Herausforderungen bestehen.

Summary: *Evaluation and Monitoring of Service Quality illustrated by the Example of the German Marine Spatial Data Infrastructure (MDI-DE).* Service oriented architectures (SOA) are widely used nowadays. As the name implies such architectures rely on services. Germany developed a marine specific service oriented data infrastructure (MDI-DE, Marine Dateninfrastruktur Deutschland) from 2010 to 2013. The services in MDI-DE can contribute to fulfilling reporting commitments for various European and national legislation. The services of MDI-DE (just like other services affected, for instance, by INSPIRE) have to meet specific requirements regarding performance, availability and conformity (quality of service, QoS). Although SOA is an important field in scientific research there are only very few publications and studies available on QoS, especially regarding INSPIRE requirements.

The services of MDI-DE were analysed regarding their QoS using various existing tools. The paper discusses the tools' usefulness to reflect whether the services performance or conformity need improvement. Due to partly contradicting results and the failure of some tools concerning specific aspects, it can at least be stated that the more tools are applied the more conclusive the outcome. Furthermore, the service quality results were not coherent when measured with different tools. The study indicates that achieving objective and comparable measurements of QoS parameters as part of the INSPIRE implementation will still be challenging.

1 Einführung

Der Aufbau von regional begrenzten Geodateninfrastrukturen (GDI) wie die des Bundes, der Länder oder der Landkreise ist im vollen

Gange. Um hingegen Fachdaten aus dem Küsten- und Meeresbereich für Wissenschaft, Planung, Öffentlichkeit, Politik und Verwaltung gemäß den Anforderungen an eine integrierte europäische Meerespolitik bereitzustellen, ist

es notwendig, thematisch begrenzte GDI-Regionen übergreifend aufzubauen. Das BMBF förderte von 2010 bis 2013 den Aufbau einer solchen marinen Dateninfrastruktur (MDI) mit dem Projekt *MDI-DE*. Das Ziel der MDI-DE war es, sowohl vorhandene technische Lösungen wie das Nordsee-Ostsee-Küsteninformationssystem (NOKIS) und die Geodateninfrastruktur des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (GDI-BSH) als Grundstock zu integrieren, als auch Informationen aus allen Bereichen des Küsteningenieurwesens und Küstengewässerschutzes, des Meeresumweltschutzes, des marinen Naturschutzes, der Raumordnung und der Küstenforschung zusammenzuführen.

Eine GDI wie die MDI-DE besteht aus einer Vielzahl von verteilten Diensten und ist somit von deren Verfügbarkeit, Leistung und Einhaltung von Normen und Standards abhängig. Die MDI-DE-Umgebung ist insofern ein gutes Testbeispiel zur Prüfung von Dienstqualitäten. Nicht verfügbare Dienste sind negativ für alle aufsetzenden Anwendungen in einer GDI, z. B. Portale, und hinderlich für die Nutzer. Aber auch wenn Dienste verfügbar sind, ist ihre Leistung für eine zufriedenstellende Nutzung sowie die Einhaltung von regulatorischen Anforderungen, z. B. INSPIRE, von entscheidender Bedeutung. Darüber hinaus müssen Dienste-Anfragen und Dienste-Antworten abgestimmten Anforderungen genügen, um sicherzustellen, dass beispielsweise ein Dienst in das lokale GIS eines Anwenders integriert werden kann. Daher ist Konformität ein weiterer wichtiger Faktor, der betrachtet werden sollte und Grundlage für Interoperabilität ist. LUPP (2008) unterstreicht, dass Standardisierung von Diensten Interoperabilität ermöglichen.

Interoperabilität wiederum lässt sich unter anderem in die zwei Hauptbereiche organisatorische und technische Interoperabilität unterteilen. Innerhalb der technischen Interoperabilität werden die beiden Merkmale semantische und syntaktische Interoperabilität unterschieden (RÜH 2014). Im Kontext der EU Direktive INSPIRE werden die Ebenen der Interoperabilität weitergehend definiert. Das European Interoperability Framework (EIF) definiert vier Ebenen der Interoperabilität (JAKOBSSON 2012): rechtlich, organisato-

risch, semantisch und technisch. In Bezug auf Konformität hinsichtlich INSPIRE gilt, dass Konformität mit INSPIRE auf der einen Seite Konformität mit dessen Daten- bzw. Metadaten-Spezifikationen und auf der anderen Seite die Übereinstimmung mit den Spezifikationen bezüglich der Servicequalität bedeutet.

1.1 *Quality of Service*

Die Evaluierung von Diensten lässt sich in zwei Kategorien einteilen: Performanz und Verfügbarkeit auf der einen Seite und Konformität auf der anderen Seite mit vielen Aspekten auf beiden Seiten. Diese Kategorien werden für die fünf verschiedenen INSPIRE Diensttypen Discovery, View, Download, Transformation und Invoke Spatial Data Services (INSPIRE 2007) konkretisiert.

Dienstqualität (Quality of Service, QoS) wird durch PARASURAMAN et al. (1985) als Diskrepanz zwischen den Erwartungen der Konsumenten und den tatsächlich für einen Dienst festgelegten Spezifikationen definiert. Ist die Spezifikation nutzerorientiert, sollte der Dienst den Erwartungen des Nutzers entsprechen, also das, was er erwartet, sollte mit dem, was er wahrnimmt, übereinstimmen. Obwohl diese Definition aus dem Marketingbereich stammt, gilt sie auch für Web-Dienste (und wahrscheinlich viele andere Dienstypen). FRANKEN (1996) unterstreicht mit einem technischen Hintergrund dies durch seine Definition von Dienstqualität als vom Benutzer wahrgenommene Performanz. Dadurch stellt er Performanz bzw. Leistung auf die gleiche Ebene wie QoS und setzt diese beiden Begriffe praktisch gleich. INSPIRE (2007) setzt QoS zunächst auch mit Performanz gleich, indem nach Artikel 16 die Durchführungsbestimmungen unter anderem Mindestleistungskriterien für Dienste festlegen. Wie jedoch bereits erwähnt, ist im technischen Sinne die Performanz nur ein Aspekt der Dienstqualität.

Ein Nutzer erwartet zuerst, dass ein Dienst verfügbar ist und genutzt werden kann. Eine Analyse zur Auffindbarkeit von WMS über Google ergab eine Nichtauffindbarkeit von 30% (MÜLLER & MANDERY 2010). Ein weiteres Qualitätsmerkmal eines Dienstes sowie einer GDI ist Performanz bzw. Leistung, weshalb dies auch eine INSPIRE-Anforderung

ist. YANG & EVANS (2008) prägten den Begriff „Network GIS Performance“ (NGP), der sowohl die effiziente Nutzung von Netzwerk-GIS-Ressourcen als auch die Geschwindigkeit eines Netzwerk-GIS umfasst. INSPIRE beschreibt Performanz als Geschwindigkeit, mit der eine Anfrage an einen Dienst abgeschlossen werden kann (INSPIRE CONSOLIDATION TEAM 2007). YANG & EVANS (2008) sagen, dass ein durchschnittlicher Benutzer ca. 8 Sekunden auf eine Web-Antwort zu warten bereit ist (8-Sekunden-Regel). Nach MÜLLER & MANDERY (2010) sind 86% der verfügbaren Dienste in der Lage, die Grafiken mit einer Auflösung von 400 x 400 Pixeln in weniger als einer Sekunde zu liefern. Allerdings ist eine Performanz-Messung nur sinnvoll, wenn sie über einen längeren Zeitraum durchgeführt wird (MÜLLER & MANDERY 2010).

CIBULKA (2013) und das INSPIRE CONSOLIDATION TEAM (2007) erwähnen darüber hinaus Interoperabilität als Attribut für Dienstqualität. Ein interoperabler Dienst kann mit den anderen Diensten zusammenarbeiten, die die gleichen Normen und Standards einhalten. Somit ist die Konformität der zweite Hauptbereich für die Dienstevaluierung.

CIBULKA (2013) listet eine Vielzahl weiterer Attribute auf, die Leistung beeinflussen:

- Zuverlässigkeit*: Fähigkeit eines Service, eine bestimmte Qualität einzuhalten.
 - Skalierbarkeit: Fähigkeit eines Systems, die Rechenkapazität nach aktuellen Anforderungen zu erhöhen.
 - Kapazität*: Obergrenze der Anzahl von gleichzeitigen Anfragen mit einer garantierten Performanz.
 - Genauigkeit: Vom Dienst generierte Fehlerrate.
 - Zugänglichkeit*: Fähigkeit eines Dienstes, der Anfrage eines Clients nachzukommen.
- Mit einem Stern sind Attribute gekennzeichnet, die als Mindestleistungskriterien für die INSPIRE Network Services verwendet werden (INSPIRE CONSOLIDATION TEAM 2007).

1.2 Messung von QoS-Parametern

Zur Messung von QoS-Parametern, speziell der relevanten Kriterien Performanz, Verfügbarkeit und Konformität, finden sich einige

Ansätze. CIBULKA (2013) entwickelte ein eigenes Werkzeug für seine Messungen.

GIULIANI et al. (2013) verwendeten *JMeter Skripte*, die vom FOSS4GWMS (Grid-enabled Web Map Service) Benchmark im Jahr 2009 stammten und ausgebaut und angepasst wurden (AIME & MCKENNA 2009). Allerdings spiegelt dies nur die Messungen von einem einzigen Werkzeug (*JMeter*) wider, so dass es keinen Vergleich gibt, der die Genauigkeit der Ergebnisse überprüft. Das gleiche gilt für HORÁK et al. (2009), die ausschließlich *WAPT (Web Application Load, Stress and Performance Testing)* von Softlogica LLC für ihre Messungen verwendeten. Im Zusammenhang mit INSPIRE weist DRERUP (2010) jedoch darauf hin, dass *WAPT* nicht nutzbar ist, um die INSPIRE-Anforderungen zu erfüllen, da es nicht in der Lage sei, die Zeit zum Download einzeln zu messen. Es kann nur die Gesamtantwortzeit messen, die auch die Zeit beinhaltet, die der Server braucht, um eine Anfrage zu bearbeiten. INSPIRE verlangt jedoch, dass jede Zeitspanne separat gemessen wird.

Obwohl sich zahlreiche Arbeiten zu SOA finden, stellen GIULIANI et al. (2013) in Bezug auf Servicequalität fest, dass trotz der Wichtigkeit wenig Forschung zu diesem Thema veröffentlicht worden sei.

HECKEL & MARIANI (2005) schlugen vor, dass ein Suchdienst nur andere Dienste registriert bzw. aufnimmt, wenn diese einen Konformitäts-Test bestehen. Aber dieser Vorschlag bezieht sich nur auf Suchdienste und Konformität und somit nicht auf Verfügbarkeit und Performanz. BOZKURT et al. (2010) zeigen neun verschiedene Funktionstesttechniken und -ansätze, um Web-Dienste zu testen. Diese Techniken und Ansätze zielen jedoch generell auf Web-Dienste ab und nicht speziell auf Dienste einer GDI.

2 Evaluierung und Testwerkzeuge

Bei der Evaluierung stellen Testwerkzeuge eine Anfrage an einen Dienst und messen dann entweder die Zeit bis zur Antwort (Performanz) oder überprüfen, ob die Antwort bestimmten Vorgaben entspricht (Konformität). Insbesondere bei der Leistung gibt

es jedoch einiges zu beachten. Beispielsweise können zeitgleiche Anfragen anderer Nutzer die Antwortzeit beeinflussen. Aus diesem Grund beschäftigt sich zunächst Abschnitt 2.1 mit solchen Überlegungen. Das dieser Studie zugrunde liegende Test-Setup wird zu Beginn von Abschnitt 3 beschrieben.

In Abschnitt 2.2 werden Werkzeuge vorgestellt, die Konformität und/oder Leistung und Verfügbarkeit überprüfen. Dabei wird hauptsächlich freie Software (Free and Open-Source-Software, FOSS) beschrieben. Eine Ausnahme bildet der *serviceMonitor*, der in der *sdi.suite* enthalten ist, die im MDI-DE-Projekt verwendet wird. Nach FRÖLUND & KOISTINEN (1998) erwartet der Benutzer vor allem einen Dienst, der verfügbar ist und schnell Daten liefert. Abschnitt 2.2.2 stellt Testwerkzeuge zur Überwachung der Leistung und Verfügbarkeit und Abschnitt 2.2.1 einen Überblick über Werkzeuge zur Überprüfung der Konformität als Grundlage der Interoperabilität vor. Eines der Werkzeuge, die GDI-DE *Testsuite*, erlaubt den Test beider Eigenschaften und wird separat in Abschnitt 2.2.3 vorgestellt.

2.1 Vorüberlegungen und mögliche Messprobleme

Gemäß Abschnitt 1.1 sind unter anderem Performanz und Verfügbarkeit Merkmale für die Dienstqualität. CIBULKA (2013) weist darauf hin, dass diese Eigenschaften von der Anzahl der Benutzer, der Art der Operation (GetMap, GetCapabilities, GetFeature etc.), dem Volumen der verarbeiteten Daten, und einer Reihe von anderen Parametern (Hardware, Software, Netzwerk, etc.) abhängig sind. Daraus ergeben sich einige Fragen an die Messungen:

- 1) Wo wird gemessen?
- 2) Welcher Anfragetyp wird verwendet, z. B. GetMap?
- 3) Wie groß ist das Datenvolumen der Antwort?
- 4) Unter welchen Umständen wird gemessen, z. B. Tageszeit?
- 5) Welche Eigenschaften hat der Server, z. B. bezüglich Netzanbindung?
- 6) Welche Eigenschaften hat der Rechner, von dem aus getestet wird, z. B. Hardware?

Die INSPIRE-Anforderungen an Performanz und Verfügbarkeit wurden unter anderem im INSPIRE NETWORK SERVICES DRAFTING TEAM (2013) definiert. Für eine 470 KB große Grafik sollte die Reaktionszeit bis zur initialen Antwort auf eine GetMap-Anfrage an einen Darstellungsdienst maximal 5 Sekunden in einer normalen Situation betragen, d. h. einem Zeitraum außerhalb der Spitzenlast, also in 90% der Gesamtzeit. Damit legt INSPIRE für die Fragen 1) bis 3) konkrete Anforderungen fest.

Hinsichtlich Frage 1) muss sich das Testwerkzeug für INSPIRE-Konformität auf dem zu testenden Server installieren lassen. Abgesehen von *MapMatters* und *serviceMonitor* ist dies bei allen vorgestellten Werkzeugen möglich.

Für die Frage 2) legt INSPIRE eine GetMap-Anfrage fest. Zwei der verwendeten Werkzeuge, nämlich die GDI-DE *Testsuite* und der *serviceMonitor*, bieten die Möglichkeit, eine Anfrage selbst zu formulieren. Der *Service Status Checker (SSC)* bietet eine solche Möglichkeit nicht und erzeugt selbst eine nicht veränderbare GetMap-Anfrage.

Zum Datenvolumen (Frage 4) hat CIBULKA (2013) festgestellt, dass die Performanz auch vom Kartenmaßstab sowie von der Lage abhängt. Dies bedeutet, dass das Anfragen von Informationen mit wenigen Daten, z. B. einige wenige Punkte statt vieler komplexer Polygone, zu geringeren Reaktionszeiten führt. Mit etwas Aufwand wäre es möglich, dieses Verhalten von räumlichen Webdiensten mit dem *serviceMonitor* und mit der GDI-DE *Testsuite* zu untersuchen und somit die Aussage von CIBULKA (2013) zu überprüfen. Beide Werkzeuge ermöglichen es, mehrere Tests auf einem Dienst mit unterschiedlichen Anfragen anzuwenden. So können verschiedene Maßstäbe und Raumausschnitte verwendet werden, um den Dienst zu testen. *MapMatters* und der *SSC* sind dazu nicht in der Lage, da Anfragen nicht vom Benutzer definiert werden können.

Die Anzahl der Benutzer beeinflusst die Dienstqualität, da Nutzer Last auf einem Server erzeugen. Die Anzahl der Benutzer variiert mit der Tageszeit, wie DRERUP (2010) ausführt (Frage 4). Auch die Verfügbarkeit ist zeitabhängig, zum Beispiel eingeschränkt

von typischerweise nachts durchgeführten Wartungsarbeiten. Während der Zeitpunkt der Messungen von keinem der Werkzeuge spezifiziert werden kann, gibt es Werkzeuge, die messen und auch Last erzeugen können (2.2.2).

Die Fragen 5 und 6 haben zwar sicherlich den größten Einfluss auf die Leistung, können aber beim Messen nicht beeinflusst werden und müssen daher als gegebene Größen angesehen werden, die es zu dokumentieren gilt.

2.2 Testwerkzeuge

Abschnitt 2.2.1 gibt eine Übersicht zu Werkzeugen zur Überprüfung der Konformität. Abschnitt 2.2.2 stellt Testwerkzeuge zur Überwachung der Leistung und Verfügbarkeit vor. Das Testwerkzeug, das beide Parameter testen kann, wird in Abschnitt 2.2.3 erläutert (GDI-DE *Testsuite*).

2.2.1 Überprüfung der Konformität

Das Open Geospatial Consortium (OGC) bietet eine Testumgebung zur Kontrolle von Software auf Konformität mit OGC-Spezifikationen (Compliance and Interoperability Testing Initiative, CITE) (TEAMENGINE 2015).

Während der *Neogeo WMS INSPIRE-Tester* (NEOGEO 2015) sich nur auf INSPIRE-Darstellungsdienste konzentriert, bietet der offizielle INSPIRE *Geoportal Metadata Validator* (EUROPEAN COMMISSION 2013) Tests für Metadaten, Suchdienste und Download-Dienste.

2.2.2 Überwachung der Leistung und Verfügbarkeit

MapMatters (MAPMATTERS 2015) ist ein von geOps entwickeltes Portal, dessen Hauptaufgabe die Katalogisierung von Kartendiensten (WMS) ist. Es bietet dafür eine Textsuche sowie eine Suche nach deren geographischer Ausdehnung. *MapMatters* verwendet sowohl Robots als auch Benutzereingaben, um die Datenbank mit Kartendiensten zu füllen. Zusätzlich wird eine Monitoring-Komponente zur Aufzeichnung der Verfügbarkeit und der Antwortzeiten angeboten.

Der *serviceMonitor* von con terra überwacht verschiedene Dienstarten wie WMS, Web Feature Service (WFS), Web Coverage Service (WCS) sowie ArcIMS und ArcGIS und INSPIRE Network Services. Die Zeitintervalle sowie die Schwellenwerte in Bezug auf Verfügbarkeit und Performanz, die nicht unterschritten werden sollen, können konfiguriert werden. Wenn ein Dienst unter die vorgeschriebenen Qualitätsanforderungen fällt, kann ein Alarm per E-Mail oder SMS ausgelöst werden. Für INSPIRE-Netzwerkdienste sind die INSPIRE Quality-of-Service-Parameter bereits vorkonfiguriert. Außerdem können Daten über die Verfügbarkeit und Performanz der Dienste als Berichte mit Diagrammen oder Statistiken angezeigt und im MS Excel-Format exportiert werden.

Die Ziele des SSC vom US-amerikanischen Federal Geographic Data Committee (FGDC) werden von ANTHONY & NEBERT (2012) wie folgt zusammenfasst:

- Überwachung und Bewertung räumlicher Web-Dienste,
- Benachrichtigung der Besitzer bei Problemen mit Diensten,
- Entdeckung von Performanz-Problemen,
- Ermittlung von Funktionsstörungen und
- Austausch von Testergebnissen.

Listen mit Diensten können von Katalogen oder von einem registrierten Benutzer über Atom-Feeds bereitgestellt werden. Danach können die Dienste dann in einem bestimmten Zeitintervall geprüft (zweimal pro Tag) und die Ergebnisse in einer Datenbank archiviert werden. Die Ergebnisse sind über einen Web-Dienst, über eine API mit GET-Anfragen, die Ausgaben im JSON-Format erzeugt, und über HTML-Service-Berichte verfügbar.

Das INSPIRE CONSOLIDATION TEAM (2007) definiert Kapazität als die Grenze der Anzahl von gleichzeitigen Anfragen, die mit garantierter Leistung zur Verfügung gestellt werden können. Das bedeutet, dass es eine starke Korrelation zwischen der Performanz und der Menge an gleichzeitigen Benutzern, also Anfragen, gibt. BARANSKI et al. (2011) zeigten, dass ihr Server-Aufbau höchstens fünf gleichzeitige Anfragen erlaubte, um der INSPIRE-Anforderung einer Reaktionszeit von weniger als fünf Sekunden zu entsprechen (3.1). Lei-

der ist keines der bisher dargestellten Werkzeuge in der Lage, eine bestimmte Anzahl von gleichzeitigen Anfragen zu simulieren.

Die Website SoftwareQATest.com von RICK HOWER beschäftigt sich mit Qualitätssicherung und Tests. Sie listet 66 Werkzeuge in der Kategorie *Load and Performance Test Tool*, von denen *Proxy Sniffer*, *WAPT (Web Application Load Stress und Leistungstests)*, *Apache JMeter* und *ApacheBench* Beispiele sind, die bereits auf räumliche Web-Dienste angewandt wurden. Auch wenn es eine Vielzahl solcher Last-Tools für spezielle Anforderungen wie das in BARANSKI et al. (2011) vorgestellte Hybrid Cloud-Konzept gibt, sind weitere Anpassungen oder neue Implementierungen für den Einsatz in GDI erforderlich.

2.2.3 Die GDI-DE Testsuite

Die GDI-DE ist die nationale Geodateninfrastruktur Deutschlands. Eine ihrer Komponenten ist die GDI-DE *Testsuite* (TESTSUITE 2015), die von der Koordinierungsstelle GDI-DE beim Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) in Abstimmung mit dem Lenkungsausschuss GDI-DE zwischen Ende des Jahres 2010 und Mitte 2011 entwickelt wurde. Die *Testsuite* kann als Online-Web-Anwendung oder über eine API genutzt werden oder lokal installiert und verwendet werden. Ho-

GREBE (2012) fasst die Ziele der GDI-DE *Testsuite* wie folgt zusammen:

- Unterstützung der Interoperabilität innerhalb der GDI-DE (gemeinsames Werkzeug).
- Unterstützung des Umsetzungsprozesses der GDI-DE und INSPIRE (gemeinsames Verständnis der einschlägigen Normen und Spezifikationen).
- Unterstützung des INSPIRE Monitoring (Konformitätsindikatoren)

3 Evaluierung der MDI-DE-Dienste

Dieser Abschnitt analysiert die im MDI-DE-Portal verfügbaren Dienste hinsichtlich ihrer Performanz (3.2) und Konformität (3.1). Alle in Abschnitt 2 vorgestellten Werkzeuge wurden mit Ausnahme von *MapMatters* (keine Dienstleistungsstatistiken) benutzt. Die meisten Werkzeuge wurden von ihren Herstellern gehostet. Eine Ausnahme bildete der *service-Monitor* der *sdi.suite*, der auf einem Server beim BSH gehostet wurde. Damit musste bei den anderen Servern gegen die INSPIRE-Anforderung verstoßen werden, auf dem Server selbst zu messen. Jedoch war dies nicht möglich, da ein Zugriff auf die Server nicht möglich war. Allerdings entsprechen diese Tests

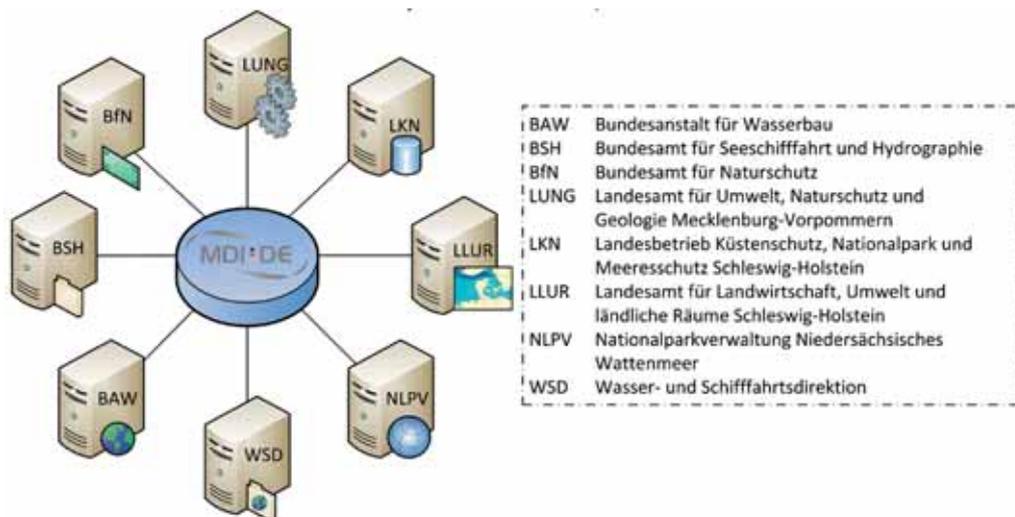


Abb. 1: Für Überwachung und Testen genutzte MDI-DE-Infrastrukturknoten.

damit eher der Nutzersicht: Es interessiert weniger, wie schnell ein Dienst auf dem Server reagiert, sondern eher wie schnell eine Antwort beim Nutzer eintrifft.

Last-Tools wurden nicht verwendet. Zum einen ist nicht bekannt, wie viele Benutzer den/die Dienst/e gerade während eines Testlaufs benutzen. Bei der Erzeugung gleichzeitiger Anfragen kann daher nicht bestimmt werden, wie groß die Gesamtsumme aller gleichzeitigen Anfragen ist. Zum anderen bedeutet künstlich erzeugte Last und erhöhte Bandbreite ggf. höhere Kosten für die beteiligten Institutionen. Der Testaufbau (Abb. 1) beinhaltet acht Institutionen und deren Infrastrukturlösungen mit neun Serverinstanzen und drei verschiedenen Arten von Karten-Server-Software. Insgesamt bieten sie 27 Dienste mit 882 Layern, von einem bis zu 397 Layern pro Dienst. Von den 27 Diensten sind 23 WMS und vier WFS. Die verwendeten WMS-Versionen waren annähernd gleich verteilt: elf mit der Version 1.3.0 und zwölf mit Version 1.1.1. Von den WFS nutzen drei die Version 2.0.0 und einer die Version 1.0.0.

Die GetMap-Anfragen wurden von der GDI-DE *Testsuite* generiert. Diese wurden auch für den *serviceMonitor* genutzt, so dass beide die gleichen Anfragen nutzen und somit vergleichbar sind. Zusätzlich wurden GetCapabilities-Anfragen verwendet, um in der

Lage zu sein, die Anfragetypen zu vergleichen. Leider bietet SSC eine solche Möglichkeit nicht, denn es erzeugt, wie oben erwähnt, selbst eine GetMap-Anfrage, die nicht verändert werden kann.

Über weitere die Messung beeinflussende Charakteristika, z. B. Netzanbindungen und die unterschiedlichen Latenzen und Hardware der Server, ist nichts bekannt.

3.1 Konformität mit INSPIRE und OGC

Detaillierte Fehleranalysen für jeden Dienst und jedes Werkzeug sind aufgrund des Umfangs der Dienste nicht möglich. Daher werden in diesem Abschnitt nur Zusammenfassungen für die Konformität mit den Spezifikationen des OGC (3.1.1) und von INSPIRE (3.1.2) vorgestellt.

3.1.1 OGC

Die OGC *TEAM Engine* produzierte mehrere falsch-negative Ergebnisse, die die Anzahl der tatsächlichen Fehler beeinflussten. Dienste bestanden die Tests auf vorgeschriebene Ausgaben bei Exceptions nicht, obwohl eine manuelle Analyse ergab, dass die Ausgaben den Anforderungen entsprachen.

Tab. 1: Vergleich der Fehlermeldungen: OGC *TEAM Engine* und GDI-DE *Testsuite*.

No	Error	<i>TEAM Engine</i>	<i>Testsuite</i>
01	Wrong format when exception is raised	+	-
02	GetFeatureInfo request to non-queryable services	+	-
03	GetMap request with TRANSPARENT=TRUE and „empty” bounding box	+	-
04	Use of exponential notation values for the bounding box	+	-
05	LegendGraphic is not exactly pixels	20 x 20	100 x 512
06	Invalid response when requesting a layer with a certain CRS	-	+
07	Invalid response when requesting a layer with the LAYERS parameter set to a specific layer	-	+
08	No service exception when requesting a layer with the CRS parameter set to an invalid CRS	-	+
09	MIME type of the response matches the format image/png when the FORMAT parameter is set to image/png	-	+

Für beide Testwerkzeuge (OGC *TEAM Engine* und die GDI-DE *Testsuite*) müssen die Ergebnisse relativiert werden, weil die Anzahl der Tests, die ein Dienst zu durchlaufen hat, stark variiert (55 bis 625 Tests pro Dienst; i.d.R. abhängig von der Anzahl der angebotenen Layer). Die Anzahl der fehlgeschlagenen Tests, also die Anzahl der Fehlermeldungen, dass etwas nicht konform zur Spezifikation ist, ist eine zentrale Aussage über einen Dienst, hilft in diesem Fall aber nicht die Dienste zu vergleichen. Denn diese Anzahl wird wesentlich durch die Anzahl der Layer eines Dienstes beeinflusst. In Verbindung mit kleineren Fehlern wie „die Legendengrafik misst nicht genau 20 × 20 Pixel“ (größere Legendengrafiken waren eine Anforderung im MDI-DE-Projekt) führt dies bei vielen Layern zu einer großen Anzahl von Fehlermeldungen. Somit ist die Aussagekraft der Ergebnisse recht klein und eine Prüfung des Einzelfalls

für jeden Dienst erforderlich. Interessanterweise haben die Ergebnisse der OGC *TEAM Engine* und der GDI-DE *Testsuite* nur einen Fehler gemeinsam, wie Tab. 1 zeigt. Dies bedeutet, dass beide Werkzeuge benötigt werden, um alle Fehler zu finden.

3.1.2 INSPIRE

Tab. 2 zeigt, dass der *Neogeo WMS INSPIRE Tester* die wenigsten Fehler der drei INSPIRE-Konformitätstest-Tools fand. Der *INSPIRE Geoportal Metadata Validator* findet fast so viele Fehler wie die GDI-DE *Testsuite*. Die GDI-DE *Testsuite* erkennt aber nicht nur mehr Fehler, sondern beschreibt die Fehler auch detaillierter. Da leider nicht alle Dienste mit der GDI-DE *Testsuite* getestet werden können, kann nicht auf den *INSPIRE Geoportal Metadata Validator* verzichtet werden.

Tab. 2: Vergleich der INSPIRE-Fehlermeldungen (N = *Neogeo WMS INSPIRE tester*, I = *INSPIRE Geoportal Metadata Validator*, G = *GDI-DE Testsuite*).

No	Error	N	I	G
01	Unexpected value for AccessConstraints	+	+	+
02	BoundingBox missing for some CRS	+	-	+
03	MetadataUrl not found in ExtendedCapabilities	+	+	+
04	Fees element mandatory but not found	+	+	-
05	DefaultLanguage, ResponseLanguage, ...	+	+	+
06	One or more layers failed the INSPIRE validation	-	+	+
07	Metadata element „Layers” is missing, empty or incomplete but it is required	-	+	+
08	Metadata element „Responsible Organisation” is missing, ...	-	+	-
09	Metadata element „Temporal Reference” is missing, ...	-	+	+
10	Metadata element „Resource Type” is missing, ...	-	+	+
11	Metadata element „Metadata Point Of Contact” missing, ...	-	+	+
12	Metadata element „Metadata Date” is missing, ...	-	+	+
13	Metadata element „Metadata Language” is missing, ...	-	+	+
14	Metadata element „Spatial Data Service Type” is missing, ...	-	+	+
15	Metadata element „Mandatory Keyword” is missing, ...	-	+	+
16	Metadata element „Resource Abstract” is missing, ...	-	+	+
17	Not every layer supports EPSG:4326 and EPSG:4258	-	-	+
18	Not every layer has an AuthorityURL and a correctly formatted identifier	-	-	+
19	Service title for identification not specified	-	-	+
20	A conformity statement with a result of conformance evaluation is not given	-	-	+

3.2 Performanz und Verfügbarkeit

Die INSPIRE Anforderungen wurden zusammen mit weiteren zu beachtenden Aspekten bereits in Abschnitt 2 erläutert. Darauf aufbauend wurden die MDI-DE Dienste zunächst mit dem *Service Status Checker* (SSC, 3.2.1) getestet. Hierbei war es nur möglich, die 23 WMS Dienste zu testen, da für WFS Dienste

nur Fehlermeldungen zurückgeliefert wurden. Jedoch gab es für drei der Dienste generell keine Ergebnisse und für weitere drei keine Ergebnisse für die Reaktionszeit. Anschließend folgt in Abschnitt 3.2.2 die Auswertung der Ergebnisse des *serviceMonitors*, der sowohl alle 23 WMS als auch alle vier WFS Dienste untersuchen konnte. Mit der GDI-DE *Testsuite* (3.2.3) können nur WMS Dienste ge-

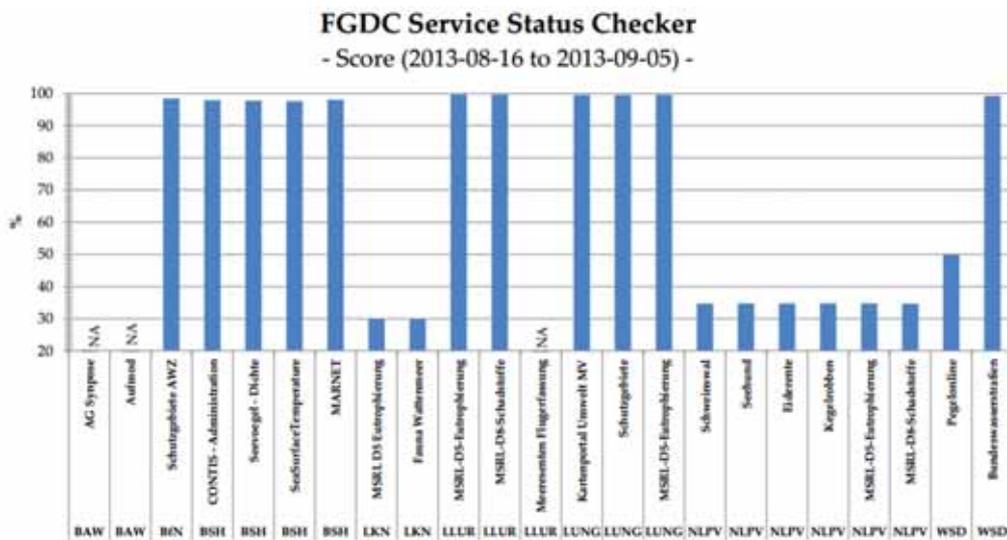


Abb. 2: Resultate für score (Punktzahl) (Service Status Checker).

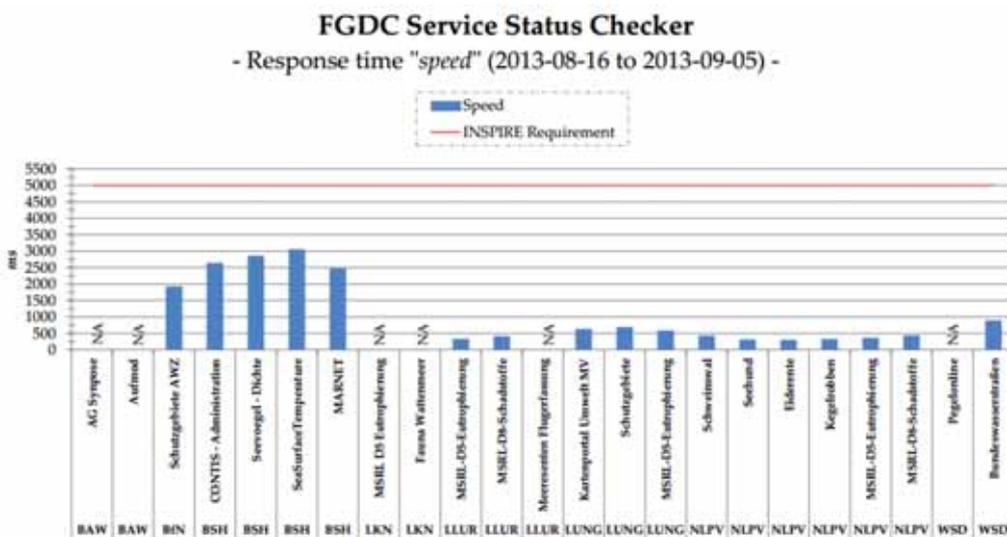


Abb. 3: Resultate für speed (Performanz, Reaktionszeit) (Service Status Checker).

testet werden, wobei einer der 24 Dienste aus nicht nachvollziehbaren Gründen nicht getestet werden konnte.

3.2.1 FGDC Service Status Checker (SSC)

Der SSC gibt eine Punktzahl (*score*) und die Performanz in Form der Reaktionszeit (*speed*)

aus. Die Methode der Berechnung der Punktzahl (*score*) ist unklar, weil eine Anfrage beim FGDC unbeantwortet blieb. Abb. 2 und 3 zeigen die Ergebnisse jeweils für *score* und *speed* im Zeitraum Mitte August bis Anfang September 2013. Die Zeitspanne ist so kurz, weil die API des FGDC SSC maximal 1.000 Datensätze zurückliefern kann. Abb. 2 zeigt, dass die Ergebnisse der Bewertungen in zwei Grup-

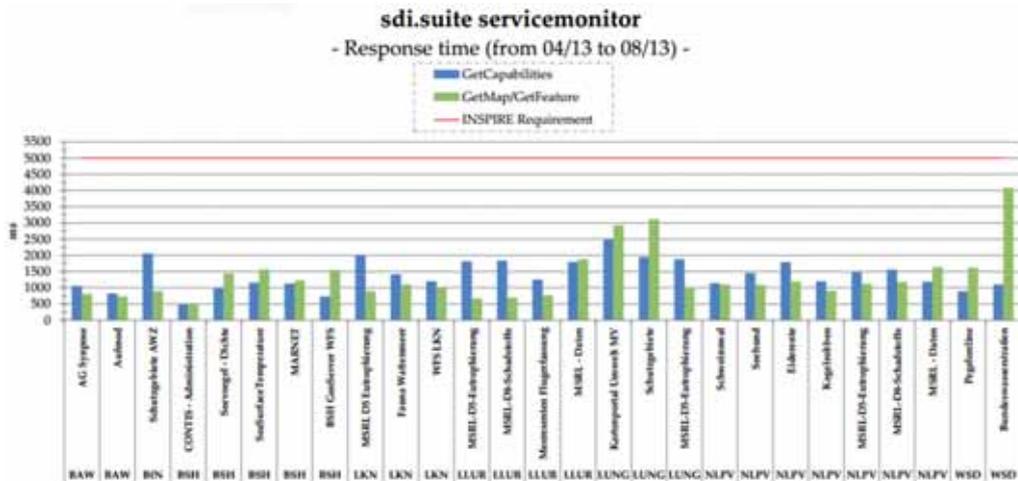


Abb. 4: Resultate für *speed* (Performanz, Reaktionszeit) (sdi.suite serviceMonitor).

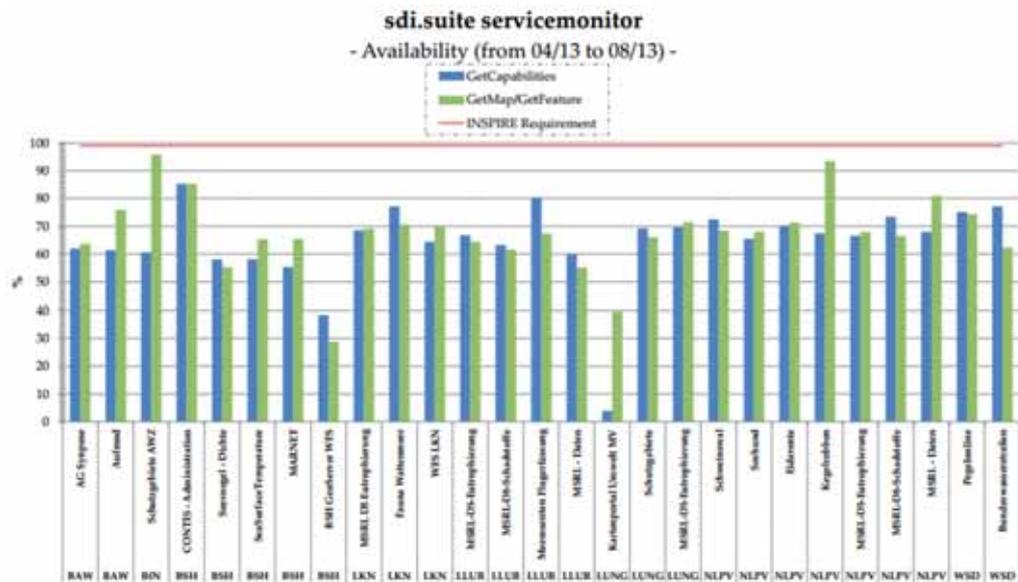


Abb. 5: Resultate für Verfügbarkeit (sdi.suite serviceMonitor).

pen geteilt sind. Die eine Gruppe (elf Dienste) erreicht Werte über 95%, während die andere Gruppe (neun Dienste, mit Ausnahme der „NA“ (nicht verfügbaren) Dienste) Werte unter 50% erreichte. Abb. 3 zeigt auch, dass alle Dienste die Anforderungen von INSPIRE erheblich unterboten. Leider hilft auch die Betrachtung von *speed* nicht, die Ergebnisse besser nachzuvollziehen, da Dienste mit hohen (= schlechten) Reaktionszeiten eine sehr hohe (= gute) Punktzahl bekamen, während andere Dienste mit sehr niedrigen (= guten) Reaktionszeiten sehr niedrige (= schlechte) Werte erreichten. Weiterhin ist nicht klar, warum einige Tests nicht für bestimmte Dienste durchgeführt werden konnten.

und GetMap-/GetFeature-Anfragen, aber es gibt keinen Hinweis darauf, dass ein Anfragetyp in der Regel langsamer oder schneller ist. Die Abbildung zeigt auch, dass die Reaktionszeiten die INSPIRE Anforderung von 5.000 ms unterschreiten. Wie Abb. 5 zeigt, erreicht jedoch keiner der Dienste die von INSPIRE geforderte Verfügbarkeit von 99%. Interessanterweise ist die Verfügbarkeit für die verschiedenen Anfragetypen nicht gleich. Sowohl die Ergebnisse der Reaktionszeiten sowie der Verfügbarkeit sind für die verschiedenen Anfragen ungleich verteilt. Dies bedeutet, dass die Antwortzeit bzw. Verfügbarkeit für eine GetCapabilities-Anfrage kürzer bzw. geringer als für eine GetMap-Anfrage ist.

3.2.2 sdi.suite serviceMonitor

Die Messungen mit dem sdi.suite *serviceMonitor* wurden über einen Zeitraum von etwa vier Monaten durchgeführt (April bis August 2013). Wie Abb. 4 zeigt, unterscheiden sich die Antwortzeiten für GetCapabilities-

3.2.3 GDI-DE Testsuite

Die Messungen mit der GDI-DE *Testsuite* wurden über einen Zeitraum von etwa vier Monaten (von April bis August 2013) vorgenommen. Im Gegensatz zum sdi.suite *serviceMonitor* weisen fast alle Dienste eine Verfüg-

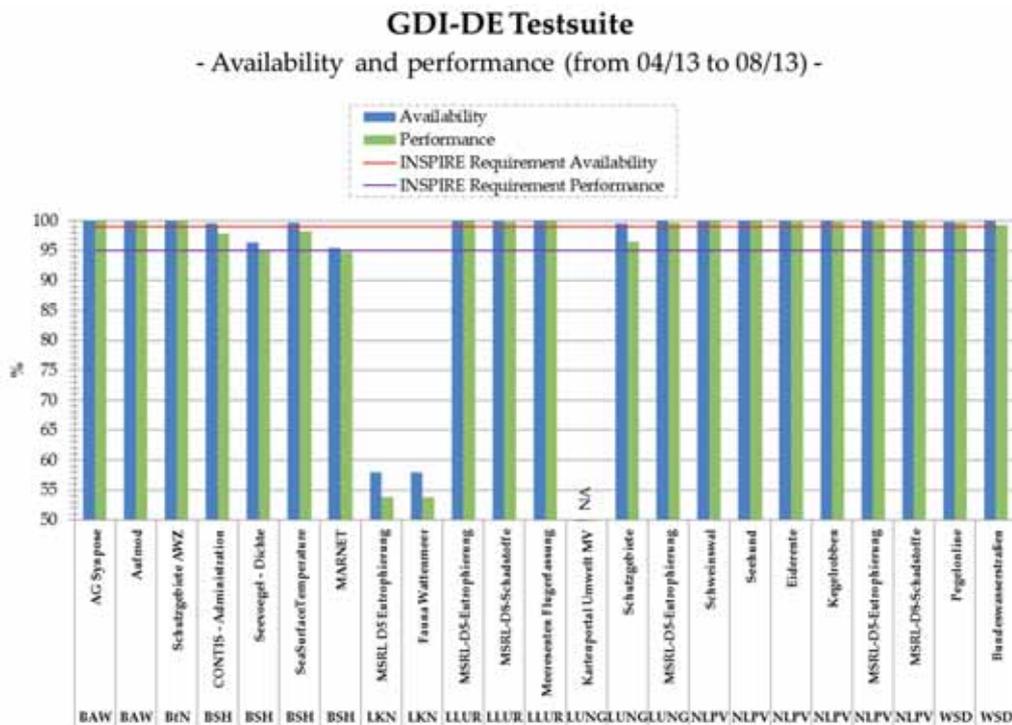


Abb. 6: Resultate für *speed* (Perfanz, Reaktionszeit) und Verfügbarkeit (GDI-DE *Testsuite*).

barkeit von mindestens 99% auf (Abb. 6). Nur vier Dienste scheiterten an dieser INSPIRE-Anforderung, sowie ein zusätzlicher, der aus unbekanntem Gründen nicht gemessen werden konnte. Obwohl die INSPIRE-Anforderung für die Leistung eine Reaktionszeit von weniger als 5.000 ms zur Beantwortung einer Get-Map-Anfrage vorgibt, erweitert die Testsuite, dass es ausreicht, wenn die Reaktionszeit mindestens 95% der Zeit weniger als 5.000 ms beträgt. Nur die beiden Dienste des LKN waren nicht in der Lage, diese Anforderung (90% und 95%) zu erfüllen (siehe auch 2.1).

3.2.4 Diskussion und Vergleich der Ergebnisse

Wie in Abb. 7 dargestellt, hatten laut der GDI-DE Testsuite alle Dienste mit Ausnahme von vieren eine *Verfügbarkeit* von mindestens 99%. Dies steht in auffallendem Gegensatz zum *sdI.suite serviceMonitor*, bei dem kein Dienst die INSPIRE-Anforderung erfüllen konnte und der beste Service einen Verfügbarkeitswert von 85% erreichte, der weit unter der INSPIRE-Anforderung von 99% liegt.

Zur weiteren Klärung wurde die Korrelation der Stichproben mit dem Pearson'schen Produktmoment-Korrelationskoeffizient bestimmt. Ein Wert von $r = 0,048$ zeigt, dass die Korrelation zwischen beiden Messungen vernachlässigbar ist. Dieses sei am Beispiel der Dienste „CONTIS – Administration“ und „SeaSurfaceTemperature“ vom BSH illustriert. Während „CONTIS – Administration“ eine Verfügbarkeit von 85,24% im *serviceMonitor* aufweist, hat der Dienst eine Verfügbarkeit von 99,51% in der *Testsuite*. „SeaSurfaceTemperature“ hat in der *Testsuite* einen vergleichbar hohen Wert von 99,66%, aber ist laut *serviceMonitor* nur zu 65,29% der Zeit verfügbar. Die stark unterschiedlichen Messergebnisse stellen ihre Verlässlichkeit in Frage.

Darüber hinaus halten die Messungen die INSPIRE-Anforderungen nicht ein, weil nicht auf dem Server gemessen wurde (INSPIRE NETWORK SERVICES DRAFTING TEAM 2009). Ein weiteres Problem bei den Messungen stellen die unbekanntem weiteren Aktivitäten der Benutzer während der Messzeit dar.

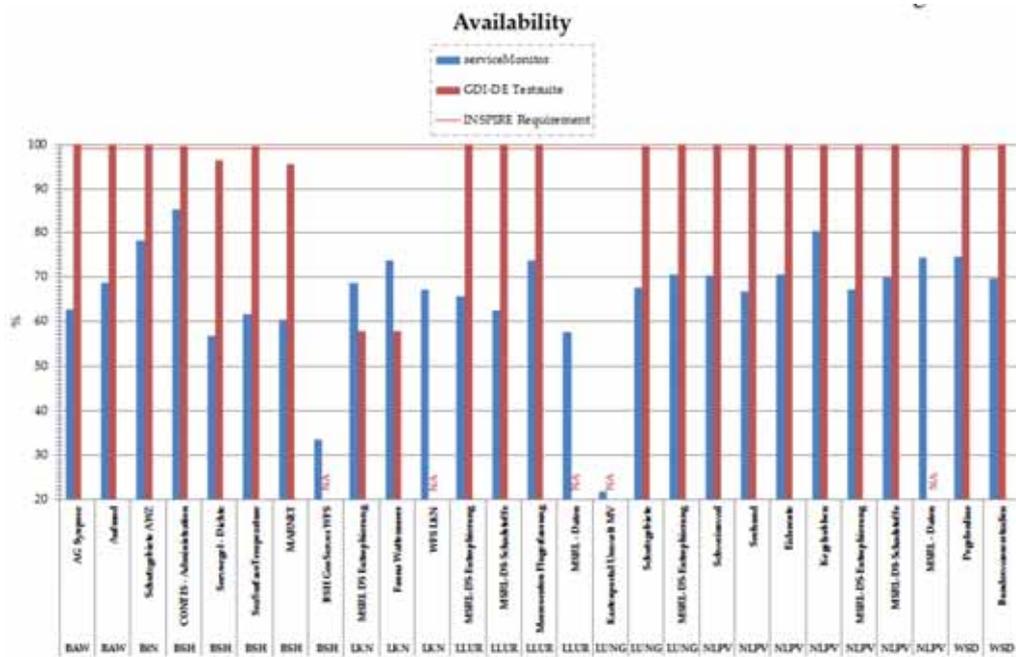


Abb. 7: Vergleich aller Monitoring-Ergebnisse zur Verfügbarkeit.

Ein ähnliches Bild ergibt sich hinsichtlich der Reaktionszeit. Obwohl der Korrelationskoeffizient hier im Vergleich zur Verfügbarkeit ($r = 0,064$) höher ist, bleibt er immer noch sehr gering. Dies wird durch die Dienste „Schutzgebiete“ und „MSRL-D5-Eutrophierung“ (LUNG), illustriert. Während beide eine ähnliche Reaktionszeit von 688 ms bzw. 590 ms beim SSC aufweisen, gibt der *serviceMonitor* einen Wert von 3.117 ms für „Schutzgebiete“ und 980 ms für „MSRL-D5-Eutrophierung“ aus. Abb. 8 zeigt, dass die Messungen des *serviceMonitor* und *SSC* zumindest darin übereinstimmen, dass kein Dienst die INSPIRE-Anforderung einer Reaktionszeit von 5.000 ms erfüllt.

Insbesondere für die Messungen der Verfügbarkeit wären die Ergebnisse besser vergleichbar gewesen, wenn genau die gleichen Zeiträume verwendet worden wären. Allerdings ist das Hauptproblem hier, dass die Zeiträume nicht gleich lang waren (etwa vier Monate gegenüber fast einem Monat) aufgrund der Beschränkung des *SSC* auf maximal 1.000 Datensätze.

Da auch die jeweiligen Messzeitpunkte nicht die gleichen für die verschiedenen Werk-

zeuge sind, sind die Ergebnisse auch diesbezüglich schwer vergleichbar. DRERUP (2010) kommt zu dem Schluss, dass diese Variationen einen Unterschied von bis zu 4,25% ausmachen können. Daher ist anzunehmen, dass ungleiche Messzeiten nicht allein für die ungleichen Ergebnisse verantwortlich sind.

Der von DRERUP (2010) beschriebene Einfluss unterschiedlicher Anfragetypen auf die Reaktionszeit konnte hier jedoch nicht nachgewiesen werden. Die Ergebnisse für GetCapabilities- und GetMap-Anfragen gemessen mit dem *serviceMonitor* weisen eine sehr geringe Korrelation ($r = 0,19$, siehe Abb. 4) auf. Da jedoch in den INSPIRE-Anforderungen GetMap- beziehungsweise GetFeature-Anfragen vorgeschrieben sind, ist die Bedeutung solcher Unterschiede zumindest im INSPIRE-Kontext nicht groß.

3.2.5 Aktuelle Entwicklung der Ergebnisse

Für die beiden Werkzeuge GDI-DE *Testsuite* und *SSC* wurden die Testreihen ein Jahr lang fortgeführt (August 2013 bis August 2014). Durch das Ende der Entwicklungsarbeiten am

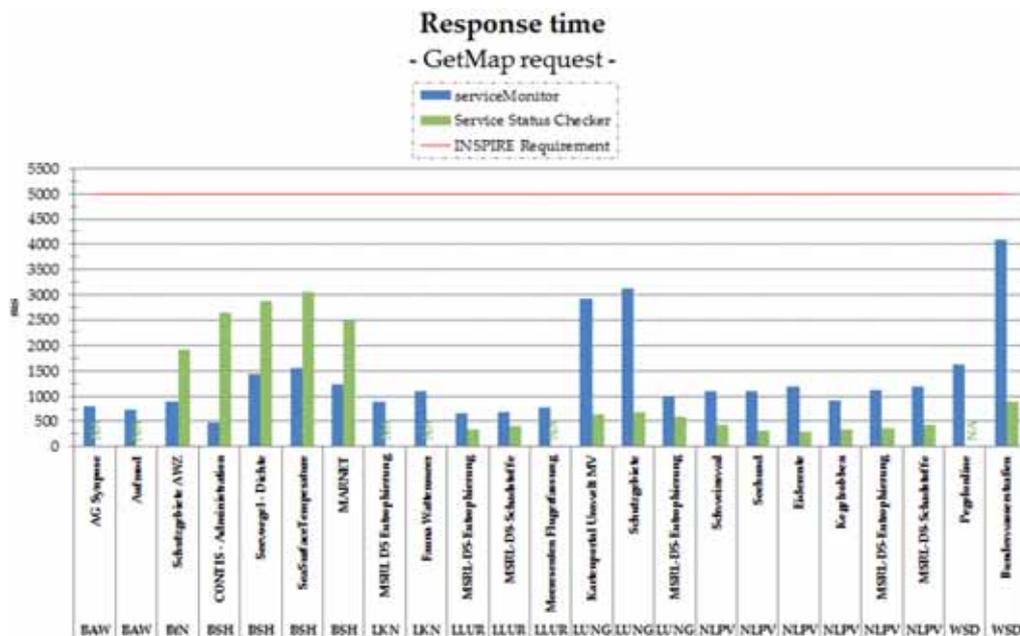


Abb. 8: Vergleich aller Monitoring-Ergebnisse bezüglich Antwortzeit.

MDI-DE-Projekt wurde der *sdi.suite service-Monitor* abgeschaltet, so dass es von diesem keine aktuellen Resultate gibt. Aus diesem Grund kann nur partiell überprüft werden, wie die Dienste zu einem späteren Zeitpunkt bzw. über einen anderen (längeren) Zeitraum zu bewerten sind.

Der Zeitraum, über den die Ergebnisse der GDI-DE *Testsuite* aggregiert wurden, hat sich vergrößert. Er gilt nun für das Jahr 2014 bis zum 26. August (also ungefähr 8 Monate). Abb. 9 zeigt die Resultate der Messungen und es fällt auf, dass zum einen nun Testergebnisse für alle Dienste verfügbar sind und dass die Reaktionszeit nun nur noch 90% statt vorher 95% der Zeit unter 5.000 ms liegen muss. Dies ändert das Resultat hinsichtlich des Scheiterns an dieser Grenze jedoch nicht, da alle Dienste entweder über 95% oder unter 90% liegen. Ansonsten lässt sich sagen, dass sich auf der einen Seite die Ergebnisse der Dienste des

LKN stark verbessert, auf der anderen Seite sich die Resultate der Dienste des BAW stark verschlechtert haben. Im Durchschnitt vermindert sich die Verfügbarkeit jedoch nur um ca. ein Sechstel Prozentpunkt während sich die Reaktionszeit um fast fünf Prozentpunkte erhöht. Doch trotz dieser marginalen Verminderung und der Erhöhung scheitern nun sieben (vorher vier) Dienste an den Vorgaben bezüglich Verfügbarkeit und wiederum sieben (vorher zwei) an den Vorgaben bezüglich der Reaktionszeit.

Der Zeitraum der mit *SSC* durchgeführten Testreihe ist wiederum kurz, da nach wie vor die Beschränkung von 1.000 Datensätzen besteht. Bei der in Abb. 10 dargestellten Testreihe bezüglich *score* wird der Zeitraum vom 16. bis zum 25. August 2014 abgebildet. Auf die Darstellung der Reaktionszeiten wurde verzichtet, da diese wieder die 5.000 ms Marke weit unterschreiten und die Veränderungen

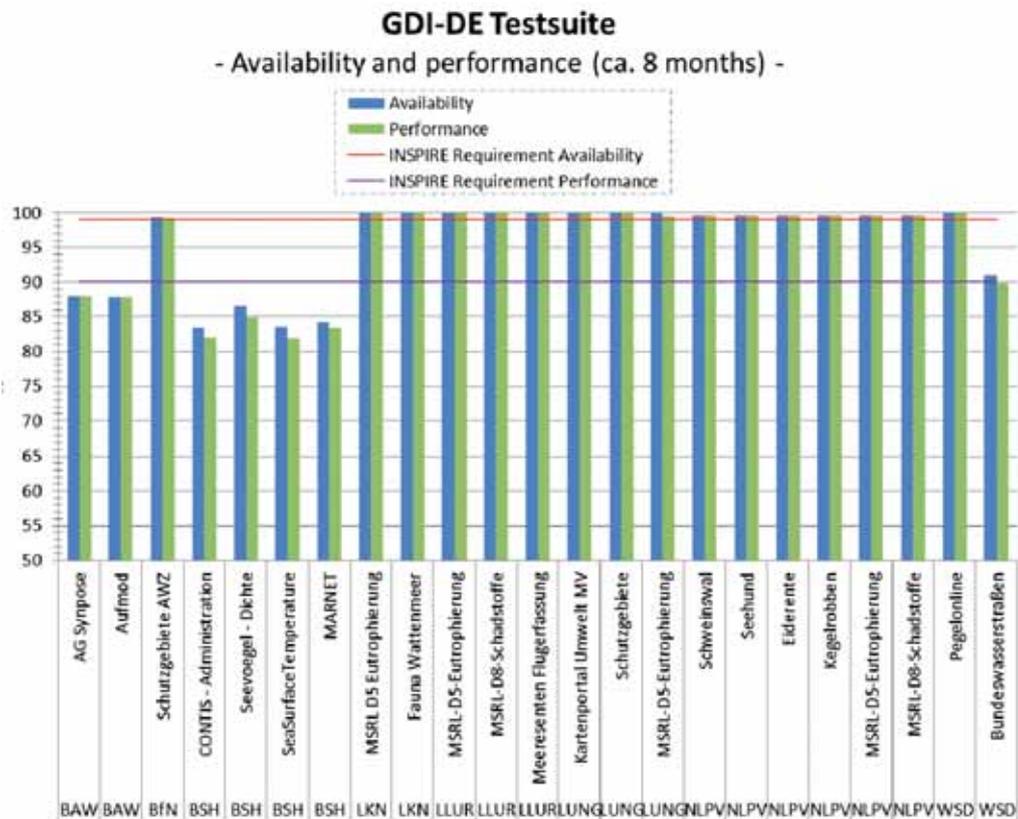


Abb. 9: Resultate für 2014 zur Reaktionszeit und Verfügbarkeit (GDI-DE *Testsuite*).

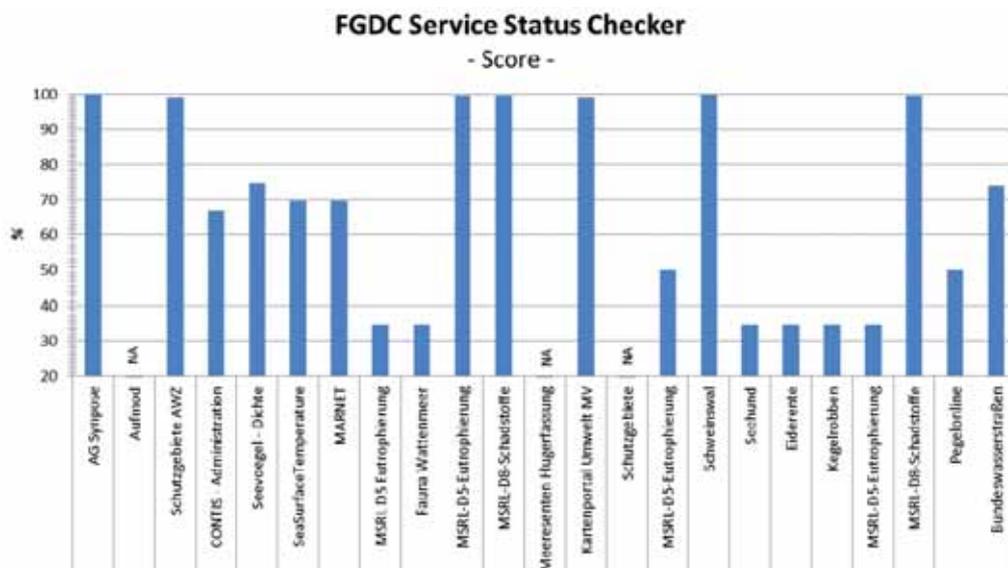


Abb. 10: Resultate von 2014 für *score* (FGDC Service Status Checker).

gegenüber 2013 recht gering sind. Allerdings sind für die Reaktionszeit deutlich weniger Ergebnisse verfügbar als bei der Auswertung der Testreihe aus dem Jahr 2013. So ist beispielsweise für keinen der Dienste des BSHs die Reaktionszeit verfügbar. Die BSH-Dienste sind auch diejenigen Dienste, bei denen die Verminderung des *score* am auffälligsten ist. Kurioserweise erhöhte sich bei zwei von sechs Diensten der NLPV der *score* um ca. 200% (bzw. 65 Prozentpunkte), obwohl die sechs Dienste alle auf dem gleichen Server laufen, was in den Resultaten der GDI-DE *Testsuite* auch abgebildet wird. Hier sind die Abweichungen der Resultate der NLPV-Dienste sehr gering.

3.3 Auswirkungen der Serverwahl auf die Dienstqualität

Es wäre interessant zu sehen, ob es einen Zusammenhang zwischen den Ergebnissen und

der verwendeten Server-Software gibt. Die verwendete Server-Software ist für sechs Hosts, die 15 Dienste umfassen, bekannt, von denen vier GeoServer, einer ArcGIS Server und einer MapServer einsetzen. Es liegt jedoch für jeden Server jeweils nur eine Stichprobe vor, so dass statistische Aussagen nicht möglich sind. Dennoch zeigt Tab. 3 die durchschnittlichen Verfügbarkeiten und Antwortzeiten pro Server-Software. Die Verfügbarkeit ist vor allem vom Host abhängig, kann jedoch auch durch die verwendete Server-Software verursacht sein. Wenn vereinfacht angenommen wird, dass die Beeinflussung der Reaktionszeit durch die Internetverbindung für alle Server gleich ist, dann hängt die Antwortzeit für eine GetMap-Anfrage im Wesentlichen von der Server-Software ab. Tab. 3 zeigt, dass die Ergebnisse für die Reaktionszeit für GeoServer und MapServer fast gleich sind. Diese Erkenntnis wird von MÜLLER & MANDERY (2009) und AIME & MCKENNA (2009) unterstützt, die angeben, dass beide eine ähnliche

Tab. 3: Durchschnittliche Antwortzeiten und Verfügbarkeiten der verschiedenen Server-Software.

	GeoServer	MapServer	ArcGIS Server
Verfügbarkeit (%)	77,3	85,2	89,1
Antwortzeit (ms)	775	785	1.412

Leistung liefern. Die Tabelle zeigt auch, dass die Reaktionszeit des ArcGIS Server Hosts deutlich höher ist. Ähnliches berichtet NASSER (2009), als er schrieb, dass sich viele Benutzer über die Leistung des ESRI ArcGIS Servers beschwert haben.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die deutsche marine Geodateninfrastruktur MDI-DE ist stark von Berichtspflichten für verschiedene europäische und nationale Gesetzgebungsinitiativen beeinflusst, die teilweise unter Zuhilfenahme von Diensten erfüllt werden können. Diese Dienste müssen spezifische durch die EU vorgegebene Anforderungen zu Konformität und Servicequalität erfüllen. Die Dienste der MDI-DE wurden mit verschiedenen bestehenden Tools analysiert, um sicherzustellen, dass die Dienste wie gefordert laufen.

Insbesondere Konformität kann recht gut bewertet werden. Jedoch kann aufgrund der zum Teil widersprüchlichen Ergebnisse und der Nichtprüfbarkeit einiger Dienste gesagt werden, dass stets mehrere Werkzeuge eingesetzt werden müssen, um schlüssige Ergebnisse zu erhalten. Auf der anderen Seite war die Servicequalität nicht kohärent, wenn sie mit verschiedenen Werkzeugen gemessen wurden. Die ermittelten Servicequalitäten zeigten sich als nicht vergleichbar. Die Ergebnisse sind nicht miteinander korreliert. Dies wirft die Frage auf, wie die Monitoring-Werkzeuge ihre Ergebnisse ermitteln, wie sie sie bewerten und analysieren und ob ihre Verwendung wirklich verantwortbar ist, zumal jeder Dienst in Zukunft spezifische Anforderungen von INSPIRE erfüllen muss. Außerdem besteht die Gefahr, dass die Werkzeuge gewählt werden, die die besten Ergebnisse liefern. Ansonsten lassen sich folgende Anforderungen an Testwerkzeuge besonders hinsichtlich INSPIRE-Konformität formulieren:

- Installierbarkeit auf dem Server,
- Spezifizierbarkeit der GetMap-Anfrage,
- Simulierbarkeit der Last,
- Spezifizierbarkeit der Messungszeitpunkte.

In Zukunft wird es darüber hinaus wichtig sein, einen Weg zu finden, solche GetMap-

Anfragen zu erzeugen, die Grafiken mit genau 470 KB zurückliefern. Nur dann werden die Ergebnisse vergleichbar und die Dienste wirklich die Anforderungen einhalten.

Außerdem bieten nicht alle Überwachungstools (Performanz und Verfügbarkeit) Visualisierungen oder eine strukturierte Sicht auf ihre Ergebnisse, so dass sie schwer zu interpretieren sind. Deshalb ist eine Webanwendung für die Ergebnisse des *Service Status Checker* vom FGDC vom Verfasser (RÜH 2014) auf Grundlage der JavaScript Object Notation (JSON) Ausgaben seiner Application Programming Interface (API) implementiert worden.

Literatur

- AIME, A. & MCKENNA, J., 2009: WMS Performance Shootout. – Presentation at FOSS4G 2009. – <http://download.osgeo.org/osgeo/foss4g/2009/SPREP/3Fri/Parkside%20Auditorium/1500/fri%20paud%201500%20mckenna-aime.pdf> (30.8.2014).
- ANTHONY, M. & NEBERT, D., 2012: Monitoring the Performance and Reliability of Geospatial Web Services – Service Status Checker (SSC) System Overview. – Global Geospatial Conference (GSDI13). – <http://www.gsdi.org/gsdiconf/gsd13/slides/1.4c.pdf> (30.8.2014).
- BARANSKI, B., FOERSTER, T., SCHÄFFER, B. & LANGE, K., 2011: Matching INSPIRE Quality of Service Requirements with Hybrid Clouds. – *Transactions in GIS* **15**: 125–142.
- BOZKURT, M., HARMAN, M. & HASSOUN, Y., 2010: Testing Web Services: A Survey. Technical report, King's College London. – <http://www.dcs.kcl.ac.uk/technical-reports/papers/TR-10-01.pdf> (30.8.2014).
- CIBULKA, D., 2013: Performance Testing of Web Map Services in three Dimensions – X, Y, Scale. – *Slovak Journal of Civil Engineering*, volume **XXI** (1): 31–36. – <http://www.degruyter.com/view/j/sjce.2013.21.issue-1/sjce-2013-0005/sjce-2013-0005.xml> (30.8.2014).
- DRERUP, K., 2010: Setup and test of a WFS for NatureSDI+ according to INSPIRE. – Bachelor Thesis. – <http://hig.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:354500> (30.8.2014).
- EUROPEAN COMMISSION, 2013: INSPIRE Geoportal Metadata Validator. – <http://inspire-geoportal.ec.europa.eu/validator2/> (30.8.2014).
- FRANKEN, L., 1996: Quality of service management – a model-based approach. – PhD Thesis, KPN Research.

- FRÖLUND, S. & KOISTINEN, J., 1998: Quality-of-Service Specification in Distributed Object Systems. – *Distributed System Engineering Journal*, December, **5** (4). – <http://www.hpl.hp.com/techreports/98/HPL-98-159.pdf> (18.2.2015).
- GIULIANI, G., DUBOIS, A. & LACROIX, P., 2013: Testing OGC Web Feature and Coverage Service performance: Towards efficient delivery of geospatial data. – *Journal of Spatial Information Science* **7**: 1–23. – <http://www.josis.org/index.php/josis/article/view/112> (30.8.2014).
- HECKEL, R. & MARIANI, L., 2005: Automatic Conformance Testing of Web Services. – *Fundamental Approaches to Software Engineering*. – <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.95.6051&rep=rep1&type=pdf> (30.8.2014).
- HOGREBE, D., 2012: GDI-DE Testsuite. Improving interoperability. – *INSPIRE conference 2012*. – http://inspire.jrc.ec.europa.eu/events/conferences/inspire_2012/presentations/90.pdf (30.8.2014).
- HORÁK, J., ARDIELLI, J. & HORÁKOVÁ, B., 2009: Testing of Web Map Services. – *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research, Special Issue GSDI-11*. – <http://www.gsdi.org/gsdiconf/gsdil1/papers/pdf/330.pdf> (30.8.2014).
- INSPIRE, 2007: Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council. – <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:108:0001:0014:en:PDF> (30.8.2014).
- INSPIRE CONSOLIDATION TEAM, 2007: INSPIRE Network Services Performance Guidelines. – *Technical report*. – http://inspire.jrc.ec.europa.eu/reports/ImplementingRules/network/Network_Services_Performance_Guidelines_%20v1.0.pdf (30.8.2014).
- INSPIRE NETWORK SERVICES DRAFTING TEAM, 2009: Draft Implementing Rules for Download Services (Version 3.0). – *Technical report*. – http://inspire.ec.europa.eu/documents/Network_Services/Technical_Guidance_Download_Services_3.0.pdf (18.6.2015).
- INSPIRE NETWORK SERVICES DRAFTING TEAM, 2013: Technical Guidance for the implementation of INSPIRE View Services (Version 3.11). – *Technical report*. – http://inspire.ec.europa.eu/documents/Network_Services/TechnicalGuidance_ViewServices_v3.11.pdf (18.6.2015).
- JAKOBSSON, A., 2012: European Location Framework (White Paper v1.0). – *Technical report*. – <http://www.elfproject.eu/sites/default/files/ELF%20White%20Paper.pdf> (18.2.2015).
- LUPP, M., 2008: OGC's Open Standards for Geospatial Interoperability. – *Encyclopedia of GIS*, Springer US: p. 800.
- MAPMATTERS, 2015: <http://www.geops.de> (23.5.2015).
- MÜLLER, U. & MANDERY, N., 2009: Leistungsfähigkeit aktueller WMS-Dienste. – *Intergeo 2009*. – http://www.fossgis.de/w/images/9/9d/Geops_wmsperformance_090922.pdf (30.8.2014).
- MÜLLER, U. & MANDERY, N., 2010: Qualitätsaspekte aktueller Web Map Services (WMS) als Grundlage einer dienstbasierten Geodateninfrastruktur. – *STROBL, J., BLASCHKE, T. & GRIESEBNER, G. (Hrsg.): Angewandte Geoinformatik 2010: Beiträge zum 22. AGIT-Symposium Salzburg, XVIII: 813–816*, Wichmann, Berlin. – <https://www.vde-verlag.de/proceedings-en/537495104.html> (30.8.2014).
- NASSER, H., 2009: ArcGIS Server Performance. – *Blog post*. – <http://www.husseinasser.com/2009/02/esri-arcgis-server-performance.html> (30.8.2014).
- NEOGEO, 2015: http://inspire_tester.neogeo-online.net (23.5.2015).
- PARASURAMAN, A., ZEITHHAML, V.A. & BERRY, L.L., 1985: A Conceptual Model of Service Quality and Its Implications for Future Research. – *Journal of Marketing* **49** (4): 41–50, ISSN 00222429. – <http://www.jstor.org/stable/1251430> (30.8.2014).
- RÜH, C., 2014: Marine spatial data infrastructures – Approaches on evaluation, design and implementation. – *DGK Reihe C Heft 732*, Verlag der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, München 2014.
- TEAMENGINE, 2015: <http://cite.opengeospatial.org/teamengine/>, <http://sourceforge.net/projects/teamengine/> (23.5.2015).
- TESTSUITE, 2015: <http://testsuite.gdi-de.org/> (23.5.2015).
- YANG, C.P. & EVANS, J., 2008: Network GIS Performance. – *SHEKHAR, S. & XIONG, H. (Hrsg.): Encyclopedia of GIS: 787–790*, Springer. – <http://dblp.uni-trier.de/db/reference/gis/gis2008.html#YangE08> (30.8.2014).

Adresse des Autors:

Christian Seip, Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät (AUF), Professur für Geodäsie und Geoinformatik (GG), Justus-von-Liebig-Weg 6, D-18059 Rostock, Tel.: +49-381-498-3212, Fax: +49-381-498-3002, e-mail: christian.seip@uni-rostock.de

Manuskript eingereicht: September 2014
Angenommen: Mai 2015



Berichte von Veranstaltungen

LowCost3D – Sensors, Algorithms, Applications, 2. – 3. December 2014 in Berlin

The workshop *LowCost3D* was held at the Technical University of Berlin, 2. – 3. December 2014 and jointly organised by the Institute of Geodesy and Geoinformation Science of the Technische Universität Berlin, under the direction of FRANK NEITZEL, and the Institute for Computer Science (Computer Vision) of the Humboldt-Universität zu Berlin, under the direction of RALF REULKE.

The workshop (see program at <http://www.lc3d.net/>) was a platform to present operations and application examples of different low-cost-3D mapping systems and reconstruction methods. Topics included were current sensor developments and sensor operation, calibration and accuracy assessment as well as an overview and the application of state-of-the-art algorithms used for 3D reconstruction, together with a high number of application driven presentations. The target audience included researchers, developers and users of low-cost 3D mapping systems and reconstruction methods. The workshop provided a wonderful opportunity to discuss both recent and future developments in the area of Low-Cost 3D.

In total, 53 participants were registered from eleven countries and four continents (Europe, North America and Australia). The workshop included one keynote speaker, 19 oral presentations, six interactive presenta-



Live demonstration on the Geodätenstand.

tions and two live demonstrations. As there was no parallel program offered during the interactive (poster and demonstration) session, and dinner was provided for participants, it was well attended and offered a great opportunity for intense discussions with the authors.

The workshop was officially opened by FRANK NEITZEL and included a welcome address. The following keynote speech was given by THOMAS KERSTEN from HafenCity University Hamburg about *Potential and limitations of Low Cost 3D Systems*. The talk started with a comparison over time of how prominent both common methods (range finding and Photogrammetry) are and which are most often used for 3D surface reconstruction. During the talk it was worked out that, especially in the last decade, there is a clear trend to low cost sensors mainly based on new introduced technologies and also algorithms. For instance, new technologies are the development of smart devices (*Smartphonegrammetry*) and UAVs but also algorithms such as *Structure from Motion* (SfM), *Simultaneous Localization and Mapping* (SLAM) and *Scale Invariant Feature Transform* (SIFT). The new algorithms especially allow a highly automatic workflow for 3D reconstruction, whereas precise measurements still require manual interaction with the user. Furthermore, the number of software products available to process large image datasets increased rapidly and is still increasing ranging from free program solutions, e.g. VisualSfM and 123D Catch, over medium range, e.g. PhotoScan and Pix4D, to professional solutions, e.g. LPS and Australis. However, there are also clear limitations when using highly automatic software solutions especially if a geometric accurate 3D reconstruction is required. For instance, a number of products do not allow the introduction of Ground Control Points (GCP) leading to scale and merging problems. Also, automation needs very short baselines that introduce accuracy issues. Hence, highly automated low cost and medium cost solutions often suffer from reliability and repeatability. While low

cost solutions offer an alternative to high-end products, it is important to apply an optimised workflow so accuracy and precision can be secured. It is necessary to benchmark the results and to follow the best practise rules. This requires a full understanding of the performance and specification of each sensor as well as a deep understanding of the potential parameters of the used algorithms. It is not recommended to use sensors and software as black boxes. While automation is important, it should not be in conflict with the final accuracy and quality of the result. Beside the invited talk there were two technical sessions on the first day and four technical sessions on the second day.

The first technical sessions focused on Surveying and Mapping and showed how low cost sensors are used in industry and industrial applications. The session included a case study of using the new Trimble V10 image rover (J. MARKIEWICZ), an automatic 360 degree reflector for high accuracy kinematic application (F. KELLER) and the development of an indoor mapping system (D. STALLMANN). All presenters had a research background.

The following technical session presented talks about Aerial Platforms and showed the great range of possible low cost airborne systems. While the first talk about challenges and limitations of UAV systems was given by an industry partner (S. FICK), the other two talks were given by researchers. B. LONNEVILLE talked about a helium balloon for photogrammetric applications, and P. WESTFELD (presented by D. MADER) introduced his work about UAV-based acquisition of TIS-attributed 3D point clouds in building energy evaluation.



Oral presentation in the technical session.

The workshop on the second day was opened with the technical session on Low Cost Systems. The presented systems included an interactive 3D visualisation platform using a mobile phone for stereoscopic viewing (F. TSCHIRSCHWITZ). This system was also presented during the live demonstration on the previous day. The other talks presented a low cost tracking system with great success for medical and audiological applications (J. PILINSKI) and the comparison of radial distortion parameters of low cost cameras (A. MASIERO) followed by interesting discussions.

After the coffee break the attention of the audience were drawn to one of the main areas of low cost systems – Cultural Heritage and Archaeology. The presenters from Belgium (B. LONNEVILLE), Italy (L. PECCHIOLI and A. ALAMOURI) and Poland (M. KOWALCZYK) showed their work which included the data collection, the processing of the data and their access/visualisation by online platforms. The session showed the level of interdisciplinary activity around photogrammetry but also showed how important it is to communicate not only the potential of photogrammetry but also the fundamentals of the discipline.

The third session of day two focused on RGBD-Sensors (colour and depth) with the Microsoft Kinect being the most prominent sensor. While J. SCHOENING introduced the audience to an overview of 3D sensors, M. ROMASZEWSKI and R. RAVANELLI presented their work with the Microsoft Kinect sensor. The first talk focused on tensor decomposition of dynamic 3D face models; and the second talk compared the accuracy of the first and second generation Kinect sensors. The last talk in this session presented a fast depth map fusion method using OpenCL (S. ZAGORUYKO).

The final session had two presentations from the area of heritage mapping and magnetic resonance imaging. S. HENDY-TAYLOR (presented by P. HELMHOLZ) focused in their talk on a case study in the field of heritage mapping using different low cost sensors such as the Trimble V10, the hand held Zebedee line scanner designed by CSIRO and a SLR camera. Afterwards, F. WETTERLING introduced a low cost magnetic resonance imaging sensor as an alternative to the traditional 3D scanning approach. This system has great po-

tential due to its size and easy portability of the system compared to other magnetic resonance imaging systems.

Before the conference was closed by FRANK NEITZEL, the organisers discussed with the audience the scope of the next conference and especially wanted to get feedback about the areas of interest, (e.g. 3D printing) the audience would like included in the next conference.

The success of any event, such as this, also rests on the opportunity to socialise with fellow international participants to discuss and exchange ideas as well as to develop new contacts and friendships. On the first night all participants met for the Get Together Party on the top of the local Geodätenstand (a survey observation platform on the roof of a building on the campus of TU Berlin) with a great view over Berlin by night.

Thanks go to FRANK NEITZEL, RALF REULKE and many others in the background for the excellent organisation of the event. Their efforts included the preparation of the conference, the technical support and the organisation of food and drinks for all participants during the conference. Let us end with a wish: We are looking forward to seeing you all again 2015 in Berlin.

PETRA HELMHOLZ and DAVID BELTON,
Curtin University, Perth, Australia

ISPRS Workshop 3D-ARCH 2015, 25. – 27. February 2015, Ávila, Spain

The 6th 3D-ARCH international workshop on *3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures* was held in Ávila, Spain from February 25th to 27th, 2015. It was jointly organized by DIEGO GONZÁLEZ-AGUILERA (University of Salamanca, Spain), FABIO REMONDINO (FBK Trento, Italy), THOMAS KERTEN (HafenCity University Hamburg, Germany), JAN BOEHM (UCL London, UK), and TAKASHI FUSE (University of Tokyo, Japan). The event was the sixth in a series, following the events in Venice 2005, Zürich 2007 and Trento 2009, 2011 and 2013. The workshop was supported by ISPRS and CIPA and sponsored by Aerogenix, ArcTron, City Council of Ávila, Faro-Europe, Geotronics, Grafinta, Hexagon-Metrology, Leica Geosystems, Topcon, Woxter and Zoller+Fröhlich, that organized technical exhibitions during the workshop and some of them took part in some demo sessions.

The workshop featured 125 registered participants from 21 different nationalities who took part in the workshop with 63 articles, selected from 89 submitted abstracts, that were finally published in the International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spa-



DIEGO GONZÁLEZ-AGUILERA (University of Salamanca, Spain) during the opening session.

tial Information Sciences, Volume XL-5/W4 (<http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XL-5-W4/index.html>).

There were 8 technical sessions with 27 oral presentations, 39 poster presentations, 6 sponsor presentations and a novelty in this type of events, 2 demo sessions. Oral presentations covered topics like *3D modelling of complex objects and scenarios*, *New algorithms and methods in 3D modelling*, *Texturing and visualization*, *Advances in image processing and Building Information Modelling (BIM)* and others. During the demo sessions attendees

could work with different software and equipment developed for different applications in this field.

The workshop started with the opening ceremony in the afternoon of February 25th. FABIO REMONDINO, president of the ISPRS Technical Commission V, talked about the background of the Commission V and the previous 3D-ARCH events. DIEGO GONZÁLEZ-AGUILERA, local organizer of the workshop and member of the ISPRS Working Group V/4, gave his warm welcome to all participants for gathering at the Higher Polytechnic School of



Conference room of the 6th 3D-ARCH 2015 in Ávila, Spain.



Technical exhibition during 6th 3D-ARCH 2015 in Ávila, Spain.

Ávila, and BEATRIZ JIMÉNEZ-JIMÉNEZ, representative of the City Council of Ávila, made a brief introduction to the city of Ávila, thanked for the efforts of the organization members and welcomed all participants.

The plenary sessions included 2 keynote talks organized to start the conferences on 25th and 26th. The first day was introduced by KONRAD WENZEL (Stuttgart University, Germany) with a talk entitled *Dense image matching: challenges and potentials*. The talk presented challenges for this active field of research, particularly the precise reconstruction of details, preservation of edges, insensitivity against image noise, but also high amounts of data and computational complexity. The second day started with MATTEO DELLEPIANE (ISTI-CNR, Italy) presenting *The acquisition of appearance properties of real objects: state of the art, challenges, and perspectives* in which he gave a great overview on the current reference methods for appearance acquisition, and outlined the main issues related to unmovable and outdoor subjects.

In total five awards were given to young researchers for their article contribution. Two awards were assigned to very young authors for their excellent articles and presentations:

- LACHAT, E., MACHER, H., MITTET, M.-A., LANDES, T. & GRUSSENMEYER, P.: First experiences with kinect v2 sensor for close range 3d modelling.
- GATTET, E., DEVOGELAERE, J., RAFFIN, R., BERGEROT, L., DANIEL, M., JOCKEY, P. & DE LUCA, L.: A versatile and low-cost 3D acquisition and processing pipeline for collecting mass of archaeological findings on the field.

Three papers won the best paper award assigned to oral or poster presentations:

- MARTOS, A. & CACHERO, R.: Acquisition and reproduction of surface appearance in architectural orthoimages.
- HULLO, J.-F., THIBAUT, G. & BOUCHENY, C.: Advances in multi-sensor scanning and visualization of complex plants: the utmost case of a reactor building.



Poster presentation at the 6th 3D-ARCH 2015 in Ávila, Spain.



Social event and coffee break at the 6th 3D-ARCH 2015 in Ávila, Spain.

- MARKIEWICZ, J.S., PODLASIAK, P. & ZAWIESKA, D.: Attempts to automate the process of generation of orthoimages of objects of cultural heritage.

The workshop was a great success. The quality of papers, presentations and demos were quite high. Furthermore, the event provided good opportunities for scientists, young researchers and practitioners to discuss cutting-edge technologies, exchange research ideas and promote international collaborations. The workshop showed the great interest in the topic of 3D modelling of complex architectures from many different disciplines such as architecture, archaeology, cultural heritage, engineering, virtual reality, etc. The presence of many young researchers and participants raises the hope that many of the aforementioned problems will be addressed and solved in the coming futures and research projects. All these issues are a good motivation to continue the 3D-ARCH series of event in 2017.

SUSANA DEL POZO AGUILERA,
University of Salamanca, Spain

35. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung 2015, 16. – 18.3.2015

Unter dem Motto „Bridging Scales – Skalenübergreifende Nah- und Fernerkundungsmethoden“ fanden die diesjährige Jahrestagung der DGPF und der Workshop on Laserscanning Applications 2015 an der Universität zu Köln vom 16. bis zum 18. März 2015 statt. Das wissenschaftliche Tagungsprogramm und die Fachfirmenausstellung wurden durch Workshops der ausstellenden Fachfirmen und das Rahmenprogramm abgerundet. Die Tagung war mit 235 Teilnehmern aus zehn Ländern sehr gut besucht. Insgesamt 13 ausstellende Fachfirmen und Fachbehörden zeigten ihre neuesten Entwicklungen. Neben den Ausstellern unterstützten weitere sieben Organisationen die Tagung als Sponsoren.

Die Tagung wurde vor Ort von Prof. Dr. GEORG BARETH, NORA TILLY und DIRK HOFFMEISTER von der Universität zu Köln in Zusammenarbeit mit der Geomatik Tagungs-GmbH unter der Leitung von KLAUS KOMP und einem kleinen Team der DGPF mit BERNHARD HORST,

HERBERT KRAUSS und EBERHARD GÜLCH organisiert. Die gesamte Tagung war zweigeteilt, sie bestand aus dem Workshop on Laserscanning Applications und Workshops der Fachfirmen am 16.3.2015 und der Jahrestagung am 17. und 18.3.2015.

Workshop on Laserscanning Applications, Workshops der Fachfirmen und außerordentliche Mitgliederversammlung der DGPF am 16.3.2015

Der Workshop on Laserscanning Applications wurde in Englisch gehalten und von GEORG BARETH geleitet. UWE RASCHER, Leiter des Forschungsbereichs Ecosystem Dynamics im Forschungszentrum Jülich, begrüßte die ca. 80 Teilnehmer zu diesem Workshop. Diese konnten vier Workshop-Sitzungen mit insgesamt acht Keynote-Vorträgen, sowie 14 Poster in vier Sitzungen besuchen und sich mit den neuesten Forschungsarbeiten und Entwicklungen auf diesem Gebiet vertraut machen (s.a. <http://www.tr32db.uni-koeln.de/workshops/overview.php?wsID=5>).

Während des gesamten Tages war das Foyer mit den Ständen der Fachfirmen- und Fachbehörden zu besuchen, wobei parallel dazu eine große Anzahl der Aussteller ihre neuesten Entwicklungen in insgesamt elf Workshops präsentieren konnten.

Für die DGPF wurde an diesem Tag eine außerordentliche Mitgliederversammlung durchgeführt.

Jahrestagung und Fachfirmenausstellung vom 17. bis 18.3.2015

Der Präsident der DGPF, Prof. Dr. THOMAS KOLBE begrüßte die Ehrengäste, Ehrenmitglieder und Teilnehmer und eröffnete die Jahrestagung 2015 der DGPF. ANSGAR BÜSCHGES, Dekan der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität zu Köln, überbrachte Grußworte und stellte die Universität zu Köln und die beeindruckend große Fakultät vor.

Im Rahmen der Eröffnungsveranstaltung fand die feierliche Verleihung des Hansa-Luftbild-Preises statt, die von PAUL HARTFIEL, Vorstandsmitglied der Hansa Luftbild AG, vorgenommen wurde. Der Preis wurde den Herren

MARTIN REHAK, ROMAIN MABILLARD und JAN SKALOUD für ihre Arbeit *A Micro Aerial Vehicle with precise position and attitude sensors* zugesprochen. MARTIN REHAK nahm den Preis in Empfang. Der Beitrag erschien in Heft 4/2014 der PFG. Die Auszeichnung ist mit 1.500 EUR dotiert und wurde in diesem Jahr zum 41. Mal verliehen.

Der Plenarvortrag von JOACHIM ENDER, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Hochfrequenzphysik und Radartechnik in Wachtberg widmete sich dem Thema *Neue Entwicklungen bei bildgebenden RADAR* und gab spannende Einblicke in Theorie und Anwendung. Im Anschluss an die Eröffnungsveranstaltung eröffneten Präsident THOMAS KOLBE, Vizepräsident UWE STILLA und KLAUS KOMP offiziell die Ausstellung mit einem Rundgang.

Vortragsprogramm

Am 17.3. und 18.3.2015 wurden in 12 Sitzungen insgesamt 42 Fachvorträge zu einem breiten Spektrum von Themen der Arbeitskreise der DGPF vorgestellt. Zusätzlich gab es einen Impulsvortrag und eine Diskussionsrunde zum Thema *Brauchen wir photogrammetrische Kameras für UAS-Anwendungen*. Die Postersession der Jahrestagung wurde durch einen eigenen Sitzungsblock deutlich hervorgehoben und war sehr gut besucht. Es wurden 16 Poster präsentiert, neun davon waren für die Endausscheidung für den Karl-Kraus-Nachwuchsförderpreis vorgesehen. Diese Autoren hatten die Gelegenheit zu Beginn der Postersession durch eine Kurzpräsentation ihren Beitrag vorzustellen. Der Preis wurde dann am Abend des 17.3. verliehen (s.u.). Das wissenschaftliche Tagungsprogramm wurde von den AK-Leitern der DGPF unter Leitung von EBERHARD GÜLCH erstellt. Ein großer Dank gebührt den 28 Gutachtern, die die eingereichten Beiträge beurteilt haben. Der Tagungsband wurde in Form einer DVD und als On-line Proceedings von THOMAS KERSTEN zusammengestellt. Der Tagungsband umfasst auf 421 Seiten insgesamt 49 Beiträge. Die Tagungshomepage wurde von LUDWIG HOEGNER betreut. Seit dem 16.3. waren die On-line Proceedings auch auf der Homepage verfügbar.

Rahmenprogramm mit Preisverleihung

Bereits am Abend des 15.3.2015 trafen sich über 40 Teilnehmer zu einem gemütlichen Beisammensein in Hellers Brauhaus und konnten alte Kontakte auffrischen. Nach dem Workshop on Laserscanning Applications und der DGPF-Mitgliederversammlung pflegten über 160 Teilnehmer im Foyer der Ausstellung bei trefflicher Stimmung den fachlichen Austausch und genossen die von den lokalen Organisatoren bereitgestellten Häppchen und Getränke. Bei der Abendveranstaltung am 17.3.2015 in der Hahnenortburg wurden die 120 Teilnehmer zunächst bei einem Sektempfang über dieses stattliche mittelalterliche Bauwerk und wichtige Ereignisse der Kölner Stadtgeschichte im Zusammenhang mit diesem Tor informiert und setzten im festlichen Rahmen im Kasino der EhrenGarde der Stadt Köln 1902 e.V. das (Social-)Networking bis in die späten Nachtstunden fort. Bei dieser Veranstaltung wurden zunächst alle neun Kandidaten und dann die Preisträger des Karl-Kraus-Nachwuchsförderpreises 2015 für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation in Anwesenheit von Frau KRAUS geehrt. Der Preis wird gemeinsam von DGPF, OVG und SGPF verliehen. Die Preisverleihung wurde durch den AK-Leiter Aus- und Weiterbildung der DPGF ANSGAR BRUNN moderiert. Den 1. Preis erhielt CORINNE STUCKER von der ETH Zürich, den 2. Preis SABINE HORVATH von der TU Wien und den 3. Preis MARIANNE DEUBER von der Fachhochschule Nordwestschweiz in Muttenz.

Der Präsident THOMAS KOLBE bedankte sich sehr herzlich bei GEORG BARETH für die hervorragende lokale Organisation und den hochmotivierten Einsatz seines Teams, die sehr zum Gelingen dieser Tagung beigetragen haben und überreichte ein kleines Geschenk.

Closing Session

In der Closing Session konnte der DGPF-Präsident vor noch über 40 Teilnehmern ein sehr positives Fazit der Jahrestagung in Verbindung mit dem Laserscanning Workshop ziehen. Mit dem nochmaligen Dank an das lokale Organisationsteam überreichte er kleine Geschenke an NORA TILLY und DIRK HOFFMEISTER.

Er bedankte sich bei THOMAS KERSTEN für die sehr erfolgreiche Herausgabe des Tagungsbandes und bei LUDWIG HOEGNER für die Übernahme der Tagungshomepage, sowie bei ULRICH KOMP, HERBERT KRAUSS und EBERHARD GÜLCH für die Leitung der Organisation auf Seiten der DGPF.

Die nächste DGPF Jahrestagung findet als Dreiländertagung vom 7. – 9.6.2016 in Bern statt und wird von den Kollegen der SGPF organisiert. Der Präsident stellt dazu einige Impressionen von Stadt und Kongresszentrum vor.

KLAUS KOMP lud zum EARsel Symposium im Juni 2015 nach Stockholm ein, KLAUS GREVE zur EARsel Tagung im Juni 2016 in Deutschland. Der Generalsekretär der ISPRS, CHRISTIAN HEIPKE, lud abschließend zur Teilnahme am ISPRS Kongress vom 12. – 19.7.2016 in Prag ein. Der Präsident schloss die Tagung mit den besten Wünschen für die Heimreise.

Dank

Allen Autoren, Gutachtern und Sitzungsleitern sei gedankt für die Gestaltung des Vortragsprogramms, allen Fachfirmen und Fachbehörden für das breite Spektrum an Entwicklungen, das auf der Tagung präsentiert wurde. Den vielen helfenden Händen der Universität zu Köln, die bei Auf- und Abbau, bei Ausstellung, im Tagungsbüro und den Sitzungen geholfen haben, sei großer Dank geschuldet. Zuletzt ein besonderer Dank an alle Organisationen, die mit ihrer großzügigen finanziellen Unterstützung die Tagung erst möglich gemacht haben.

Für das Organisationsteam
EBERHARD GÜLCH, Sekretär der DGPF
HERBERT KRAUSS, Schatzmeister der DGPF

Berichte der Arbeitskreise der DGPF

Arbeitskreis Aus- und Weiterbildung

Arbeitsgebiete – Terms of Reference

- Beobachtung von Aus- und Weiterbildungsangeboten
- Beobachtung und Bewertung neuer Lehr- und Lernmethoden
- Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses
- Nationale und internationale Kooperationen
- Beobachtung von Maßnahmen zur Schülerberufsinformation im Umfeld der Gesellschaft
- Ausbildung an den Berufsschulen in den Themenbereichen der DGPF

Bericht von der Jahrestagung

Während der 35. Wissenschaftlich-Technischen Jahrestagung der DGPF fand eine Ses-

sion des Arbeitskreises (AKs) Aus- und Weiterbildung mit drei Vorträgen statt. ANDREAS RIENOW und ANNETTE ORTWEIN (Universität Bonn) berichteten über aktuelle Projekte zur „Wissensvermittlung aus der Vogelperspektive – Fernerkundung und Raumfahrt in Schulen“. Im Zentrum des Vortrags standen die Projekte „Fernerkundung in Schulen (FIS)“ und „Columbus Eye – Live-Bilder von der ISS im Schulunterricht“. Ein starker Interessenszuwachs in der Fernerkundung kann aktuell bei Kindern und Jugendlichen durch die ISS-Missionen mit deutscher Beteiligung beobachtet werden. NILS WOLF (Pädagogische Hochschule Heidelberg) referierte über ein neues webbasiertes Angebot zur „Erdbeobachtung für Jugendliche – Entwicklung einer adaptiven, webbasierten Lernplattform für den Einsatz von Satellitenbildern im Geographieunterricht (Space4Geography)“. Die Entwicklung von Unterrichtssequenzen zu speziellen geographischen Themen soll den Leh-

ern die Nutzung des angebotenen Materials im Unterricht erleichtern. THOMAS P. KERSTEN (HafenCity Universität Hamburg) zeigte Ergebnisse eines mehrjährigen studentischen Projekts zur „3D-Erfassung, Modellierung und Visualisierung der Festungsanlage Kristiansten in Trondheim durch Photogrammetrie und terrestrisches Laserscanning im Rahmen von ERASMUS-Programmen“. Er verwies auf die gerade im ERASMUS-Programm zur Verfügung stehenden Finanzmittel, um Studierenden Auslandserfahrungen innerhalb der Hochschulausbildung zu ermöglichen. Zum Themengebiet der AK-Session gehörte auch der Beitrag „Aufbau wissenschaftlicher Partnerschaften nach Osteuropa – ein aktueller Erfahrungsbericht“, der von MARIA CHIZHOVA in der Postersession präsentiert wurde.

Die AK-Sitzung schloss mit einem Bericht des AK-Leiters über die Aktivitäten des AKs in den letzten Monaten. Im Mittelpunkt der Tätigkeiten stand neben der Organisation des Karl-Kraus-Nachwuchsförderwettbewerbs der Aufbau von Kontakten zu den Berufsschulen in Deutschland, die in den Themen der Gesellschaft ausbilden. Der AK möchte auch auf dieser Ausbildungsebene die Wissensvermittlung an junge Menschen unterstützen. Dies soll durch eine Nutzung der Fachkompetenzen aller Bereiche der DGPF erfolgen. Der AK selbst kann hier nur als Vermittler auftreten. Als Kommunikationsmedium innerhalb der DGPF wird zunächst die breit akzeptierte Gruppe der DGPF im beruflichen Netzwerk LINKEDIN® genutzt. Darüber hinaus ist in den vergangenen Wochen die Webseite der AKs durch zusätzliche Informationen ergänzt worden. Abschließend wurde vom AK-Leiter der Wunsch nach einer Stärkung der Kommunikation der DGPF-Mitglieder zwischen den Jahrestagungen geäußert.

Direkt im Anschluss an die AK-Sitzung fand die Präsentationssession zur Vergabe des Karl-Kraus-Nachwuchsförderpreises statt. In diesem Jahr sind neun Kandidaten ausgewählt und eingeladen worden, die ihre Abschlussarbeiten in Form einer Kurzpräsentation und einem Poster präsentieren sollten. Nach den Kurzbeiträgen unter einem großen Interesse aller Teilnehmer der Jahrestagung fand die Begehung der Poster mit einer eingehenden Befragung der Kandidaten durch die Jurymit-

glieder statt. Die Preisträger wurden in der Abendveranstaltung bekannt gegeben:

1. Preis (Preisgeld 1.500 EUR) CORINNE STUCKER, „Klassifizierung von Vegetation in einer Laserscan-Punktwolke“. Bachelorarbeit. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich. Betreuer: DR. WEGNER.
2. Preis (Preisgeld 1.000 EUR) SABINE HORVATH, „Integration relativer und globaler Orientierungsmethoden für eine bewegte Time-of-Flight-Kamera“. Diplomarbeit. Technische Universität Wien. Betreuer: PROF. DR. PFEIFER.
3. Preis (Preisgeld 500 EUR) MARIANNE DEUBER, „Dense Image Matching mit Schrägluftbildern der Leica RCD30 Oblique Penta“. Masterarbeit. Fachhochschule Nordwestschweiz. Betreuer: PROF. DR. NEBIKER.

Die Ausschreibung für den Karl-Kraus-Nachwuchsförderpreis 2016 erfolgt voraussichtlich im Herbst 2015, parallel zum Call-for-Papers für die 36. DGPF-Tagung in Bern. Alle Universitäts- und Hochschuldozenten sind eingeladen, ihre Absolventen mit den besten Abschlussarbeiten für den Karl-Kraus-Nachwuchsförderpreis 2016 vorzuschlagen.

Weitere und geplante Aktivitäten

Im vergangenen Jahr war der AK an verschiedenen Veranstaltungen zur Weiterbildung und Didaktik beteiligt. Diese Aktivitäten werden fortgesetzt. Für das laufende Jahr 2015 sind zwei Veranstaltungen geplant: „Advances in Web-based education services“, Potsdam, 18./19.6.2015 (ISPRS Workshop) sowie das „8. Anwenderforum Terrestrisches Laserscanning – Projektbezogene Auswertestrategien zur Punktwolkenverarbeitung aus Laserscanning, Photogrammetrie und Tachymetrie – Software, Methoden, Lösungen – am 23.10.2015 in Würzburg, in Zusammenarbeit mit dem VdV Bildungswerk, Fachgruppe 7. Die Zusammenarbeit mit den Berufsschulen soll zunächst auf digitalem Wege intensiviert werden.

GÖRRES GRENZDÖRFER, Rostock
ANSGAR BRUNN, Würzburg

Arbeitskreis Optische 3D-Mess-technik

Arbeitsgebiete – Terms of Reference

- Nahbereichsphotogrammetrie
- Terrestrisches Laserscanning
- Sensorintegration und Systemkalibrierung
- Aufnahme- und Auswertestrategien
- Prozessorientierte Auswertung und Automation
- 3D-Modellierung

Bericht von der Jahrestagung

An der 35. Wissenschaftlich-Technischen DGPF-Tagung im Geographischen Institut der Universität zu Köln konnte sich der Arbeitskreis angesichts der Zahl der eingereichten Beiträge nur durch eine Sitzung am 18. März präsentieren. Einige Beiträge wurden während der Tagungsvorbereitung auch in andere Sitzungen verschoben. Vor ca. 50 Teilnehmer wurden in der Sitzung verschiedene Anwendungen aus dem Bereich Laserscanning, Photogrammetrie und UAV vorgestellt.

Im ersten Beitrag zeigte MICHAEL RANZAU (Hochschule für angewandte Wissenschaften Würzburg-Schweinfurt) eine neue Möglichkeit, wie die beiden 3D-Messverfahren Photogrammetrie und 3D-Laserscanning bei der Aufnahme von Freileitungsgittermasten so kombiniert werden, dass die in großer Entfernung stark verrauschten Laserscanning-Punktwolken mittels photogrammetrischer Methoden geometrisch in 3D verdichtet werden können. Dabei dienen gut sichtbare Objektelemente als Passpunkte zwischen den beiden Messsystemen zur Maßstabsübertragung und zur Bildorientierung. Dadurch werden Streckenmessgenauigkeiten am Objekt von unter 2 mm bei einer Objektentfernung von bis zu 100 m erreicht.

Im zweiten Beitrag stellte JÜRGEN WOHLFEIL (DLR Berlin) die Entwicklung eines optischen 3D-Schacht-Inspektionssystems für Wasserhaltungsschächte im Ruhrgebiet vor, die im Rahmen des Forschungsprojektes „ABSMon“ der RAG Aktiengesellschaft (RAG) erfolgte. Da für den Betrieb und die Kontrolle der tiefen Wasserhaltungsschächte ein mobiles, kabelgeführtes Inspektionssystem erforderlich ist, wurde ein Verfahren entwickelt, das ka-

merabasiert hoch aufgelöste und texturierte 3D-Modelle von Schächten und Stollen zum Zwecke der Inspektion solcher Anlagen generiert kann. Im dritten Beitrag zeigte MELANIE KRÖHNERT (TU Dresden), wie man Wasserlinien aus optischen Nahbereichsaufnahmen mittels Texturmessverfahren extrahieren kann. In zwei Studiengengebieten unterschiedlicher Topographie wurden mit handelsüblichen Amateurkameras Studien im Uferbereich eines Flusses in Sachsen und an einem Gletscherrandsee in Chile durchgeführt. In der Auswertung wurde der Bildinhalt anhand differenzierter Texturmerkmale und Spektralinformationen in Wasser- und Nicht-Wasserflächen aufgeteilt. So konnte ein Verfahren der Bildanalyse mit dem Ziel der zuverlässigen, automatischen Erkennung von Wasserspiegel-lagen in Bildern terrestrischer Kameras als Komponente eines photogrammetrischen Hochwasserfrühwarnsystems präsentiert werden. MARTIN HÄMMERLE (Universität Heidelberg) präsentierte im letzten Beitrag der Sitzung seine Untersuchungen über den Einsatz von low-cost Structure-from-Motion Verfahren bei der geometrischen Erfassung von Steinbrüchen. In der Studie wurden Steinbruchbereiche mit Bildern einer Konsumer-Kamera vom Boden und mit einem „fixed-wing“ UAV aufgenommen, aus denen 3D-Punktwolken mit den SfM-Software-Paketen VisualSfM und SURE berechnet wurden. Beim 3D-Vergleich dienten Daten vom terrestrischen Laserscanner als Referenz. Als Ergebnis konnte gezeigt werden, dass das low-cost SfM Verfahren wertvolle 3D-Geodaten liefert, aus denen wichtige Steuerungsparameter für das Steinbruchmanagement abgeleitet werden können.

Die vier Beiträge des kurzen, aber abwechslungsreichen Vortragsprogramms des Arbeitskreises wurden wieder sehr intensiv diskutiert.

Weitere und geplante Aktivitäten

- Am 1. und 2. Dezember 2015 wird die Fachtagung *LowCost3D-Sensors, Algorithms, Applications* beim DLR in Berlin-Adlershof veranstaltet (<http://www.lc3d.net>).
- Am 5. und 6. Februar 2016 werden die 15. *Oldenburger 3D-Tage* stattfinden, bei de-

nen der Arbeitskreis Optische 3D-Messtechnik als Mitveranstalter mitwirken wird (www.jade-hs.de/3dtage).

- Am 6. und 7. Februar 2016 findet der 7. *Workshop der AG CAA* (Computeranwendungen und Quantitative Methoden in der Archäologie e.V., <http://ag-caa.de/>) an der HafenCity Universität Hamburg statt, bei dem Verfahren der optischen 3D-Messtechnik für Anwendungen in der Archäologie eine wichtige Rolle spielen.
- Weitere Infos über relevante Veranstaltungen sind auf der Webseite des Arbeitskreises zu finden: <http://www.dgpf.de/aks/o3d.html>

THOMAS KERSTEN, Hamburg
DANILO SCHNEIDER, Dresden

Arbeitskreis Bildanalyse und Bildverstehen

Arbeitsgebiete – Terms of Reference

- Geometrische Bildverarbeitung
- Merkmalsextraktion und –nutzung
- Semantische Modellierung

Bericht von der Jahrestagung

Die 35. wissenschaftlich-technischen DGPF-Tagung fand in diesem Jahr zusammen mit einer *Workshop on Laser Scanning Applications* an der Universität zu Köln vom 16. – 18. März statt. Der Arbeitskreis war mit einer Sitzung vertreten:

Der erste Vortragende war P. HOFFMANN zum Thema *Agentenbasierte Bildanalyse – ein Ansatz zur Automatisierung objekt-basierter Bildanalyse* (Ko-Autor T. BLASCKE). Dieser Vortrag beschäftigte sich mit Grundlagen zur agentenbasierten Bildanalyse sowie der Optimierung von Regelsystemen unter der Nutzung von Agenten. S. UDDIN stellte in seinem Vortrag *Beesmart-Beehappy* Arbeiten der Bildanalyse in Form der Klassifizierung von für die Bienenzucht wichtigen Blütenpflanzen in Verbindung mit einer Web-Applikation zur Standortaufnahme der Blütenpflanzen durch Bienen- und Naturfreunde vor (Ko-Autoren: E. GÜLCH, B. WILLI, S. KELLER). Im dritten Vortrag der Sitzung stellte N. HAALA einen

Benchmark zur Evaluation dichter Zuordnungsverfahren in Luftbildern vor (Ko-Autor: S. CAVEGN). Im abschließenden Vortrag mit dem Thema *Erkennung von Szenebeleuchtungen aus Bildern eines Fahrzeugkamerasystems* berichtete A. HANEL über Ergebnisse seiner Masterarbeit (Ko-Autoren: H. KLÖDEN, L. HOEGNER, U. STILLA). Für die Auswertung von Bildern eines Fahrzeugkamerasystems bildet diese Erkennung der Beleuchtungsverhältnisse eine wesentliche Grundlage für deren Auswertung.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass das Vortragsprogramm des Arbeitskreises wieder einen breiten Themenfächer aufspannte, wenn auch die Anzahl der eingereichten Beiträge im Vergleich zu den Vorjahren eher gering war. Es ist zu begrüßen, dass viele jüngere Kollegen das Forum des Arbeitskreises nutzen. Die gut besuchte Sitzung überzeugte durch intensive Diskussionen.

UWE WEIDNER, Karlsruhe

Arbeitskreis Hyperspektrale Fernerkundung

Arbeitsgebiete – Terms of Reference

- Innovative Methoden und Verfahren in der hyperspektralen Fernerkundung
- Qualitative und quantitative Probleme der Datenerhebung
- Abbildende und nicht-abbildende Spektrometer
- Multimediale Wissenskommunikation und Visualisierung von Forschungsergebnissen

Bericht von der Jahrestagung

Der Arbeitskreis Hyperspektrale Fernerkundung war in der diesjährigen Jahrestagung der DGPF in Köln in zwei Sitzungen vertreten. Die Beiträge zeigten Forschungsergebnisse aus den Bereichen der landwirtschaftlichen Spektroskopie, Mikroplastik-Detektion, Bildsegmentation sowie der Gyrokooper-Applikationen. Im Folgenden wird ein kurzer Überblick der gehaltenen Vorträge gegeben.

In der Session „Hyperspektrale Fernerkundung I“ wurde der erste Vortrag der Sitzung von CHRISTOPH ULRICH (Hochschule Anhalt,

Dessau) gehalten, der über die erfolgreiche Anwendung und hyperspektralen Einsatzmöglichkeiten des Gyrokopters der Hochschule berichtete. Anschließend stellte MATHIAS BOCHOW (Helmholtz Zentrum Potsdam - Deutsches Geoforschungszentrum) Anwendungen und Ergebnisse aus dem Bereich der spektralen Mikroplastikdetektion vor und diskutierte deren Möglichkeiten im Kontext von Naturgewässern. Der Vortrag von ANDRÁS JUNG (Universität Leipzig) fiel krankheitsbedingt aus.

In der Session „Hyperspektrale Fernerkundung II“ präsentierte UWE KNAUER (Fraunhofer IFF, Magdeburg) ein Bildsegmentierungsverfahren, das Textur- und Spektralinformationen berücksichtigen kann, sowie dessen Effektivität und Schnelligkeit. Nachfolgend ging JAN BEHMANN (Universität Bonn) auf eine landwirtschaftliche Anwendung aus dem Bereich der Pflanzenstressdetektion mit dem Schwerpunkt der frühzeitigen Detektion ein. Den Abschluss der Sitzung bildete der Vortrag von ALEXANDER JENAL (Fraunhofer FHR, Regensburg), der auf Aspekte eines Multisensorsystems auf einer Gyrokopter-Plattform einging sowie dessen Einsatzmöglichkeiten vorstellte. Wir bedanken uns bei allen Teilnehmern für ihre Beiträge, ihr Interesse an den Aktivitäten des Arbeitskreises sowie die lebhaften Diskussionen.

ANDRÁS JUNG, Leipzig
JONAS FRANKE, München

Arbeitskreis Radarfernerkundung und Flugzeuglaserscanning

Arbeitsgebiete – Terms of Reference

- Synthetic Aperture Radar (SAR)
- SAR-Interferometrie und -Polarimetrie
- 3D-Objekterkennung aus Laserscannerdaten
- Vegetationsanalyse aus Laserscannerdaten

Bericht von der Jahrestagung

Am Vortag des Beginns der Jahrestagung in Köln fand am selben Ort ein ganztägiger Workshop zum Thema „Laser Scanning Applications“ statt, der ebenso wie die Jahresta-

gung von Prof. GEORG BARETH organisiert worden war. Der Workshop bestand aus einer gelungenen Mischung aus eingeladenen Vorträgen von durchweg renommierten Wissenschaftlern im Wechsel mit Postersitzungen, die Raum für Diskussionen im kleineren Kreis ließen. Auf weitere Details zu diesem sehr interessanten Workshop wird noch an anderer Stelle in der PFG eingegangen.

Im Zuge der Jahrestagung organisierte der Arbeitskreis diesmal eine Sitzung mit je zwei Vorträgen zur Radarfernerkundung und zum Flugzeuglaserscanning. Die beiden Radarbeiträge drehten sich um den deutschen Satelliten TerraSAR-X und wurden von WOLFGANG KOPPE von Airbus Defence & Space gehalten. Der erste widmete sich der Genauigkeit von radargrammetrischen Höhenmodellen, die also nicht mittels Interferometrie erzeugt wurden, sondern durch Stereoanalyse von SAR-Bildern großer Basislängen. Es zeigt sich, dass die Höhenmodelle erheblich genauer und detailreicher sind als SRTM. Verglichen mit einem Referenzgeländemodell fallen Abweichungen in der Höhe nach oben in Wäldern auf, da das Signal (X-Band) vorwiegend das Blattwerk repräsentiert. SAR-Stereo fand auch Verwendung im zweiten Beitrag, der sich der Frage der Grenze der geometrischen Genauigkeit zuwandte. Man konnte zeigen, dass für stark reflektierende Punktziele eine Lokalisierung im Submeterbereich möglich ist.

Zwei Vorträge widmeten sich dem Laserscanning. KATJA RICHTER von der TU Dresden untersuchte Dämpfungseffekte in Baumkronen bei Full-Waveform Laserdaten. Hierzu stellte sie sowohl theoretische Modelle des physikalischen Reflexionsverhaltens von Lasersignalen im Ausbreitungskegel vor, als auch einen Laboraufbau mit dem diese Modelle verifiziert werden. Schließlich berichtete ROBERT WEISS von der Bundesanstalt für Gewässerkunde über die Erprobung der Laserbathymetrie am Beispiel der Elbe. Es zeigte sich, dass die untersuchten Systeme kommerzieller Anbieter zwar prinzipiell funktionieren, jedoch vor allem aufgrund der starken Trübung des Wassers letztendlich die Erwartungen nicht erfüllt wurden. Bessere Ergebnisse lassen sich im Allgemeinen für klarere Gewässer erzielen.

Weitere und geplante Aktivitäten

Die Datenerfassung für die Mission TanDEM-X ist abgeschlossen worden. Basierend auf den Messungen der ersten beiden Jahre wurde bereits ein globales DOM erzeugt, welches nun von Airbus Defence & Space kommerziell vertrieben wird. In welcher Weise das erfolgreiche deutsche Radarprogramm in Zukunft weitergeführt wird, ist im Moment noch offen und Gegenstand laufender Gespräche der öffentlichen Hand mit der Industrie.

Der Arbeitskreis wirkte mit an der Organisation und Durchführung eines internationalen Workshops mit 65 Teilnehmern zum Thema *3D Vegetation Mapping using Advanced Remote Sensing*, der vom 24. – 26.9.2014 in St. Oswald stattfand.

Auch wenn, wie oben berichtet, die Laserbathymetrie bei sehr trüben Gewässern an ihre Grenzen kommt, so scheint diese Technik nichtsdestotrotz ihrem Nischendasein zu entwachsen: Es kommen weitere, innovative Anbieter hinzu und die Verbesserung der Sensoren ist augenfällig. So bietet nun auch die Firma Riegl entsprechende Systeme an und jüngst wurde die einschlägige schwedische Firma AHAB von Leica (Teil des Hexagon-Konzerns) übernommen.

Wegen der rasanten Entwicklung im UAV-Bereich sind in der letzten Zeit auch verschiedene UAV-fähige Laserscanner zur Marktreife gebracht worden, z. B. YellowScan, LiDARPod und VUX-1. Die neue Technologie verspricht interessante Anwendungen für kleinere (Vegetations)Flächen, wie z. B. forstliche Kontrollpunkte zur Ableitung von Waldparametern.

UWE SÖRGEL, Hannover
PETER KRZYSZEK, München

Arbeitskreis 3D-Stadtmodelle

Arbeitsgebiete – Terms of Reference

- Aufbau von 3D-Stadtmodellen
- Anwendungen von 3D-Stadtmodellen
- Neuerungen und Forschungen auf diesem Gebiet
- Regelmäßiger Erfahrungsaustausch (Organisation von Workshops, AK-Treffen)

Bericht von der Jahrestagung

Der gemeinsame Arbeitskreis von DGfK und DGPF war bei der Wissenschaftlich-Technischen Jahrestagung der DGPF vom 16. bis 18. März 2015 an der Universität zu Köln mit zwei Sessions vertreten. In Vertretung der AK-Leitung haben EBERHARD GÜLCH und VOLKER COORS jeweils eine Sitzung des Arbeitskreises geleitet.

Die erste Sitzung hatte den Titel: *3D-Stadtmodelle – Nur Fassaden!* und wurde von VOLKER COORS moderiert. Alle vier Vorträge der Sitzung haben sich speziell mit der Modellierung und Analyse von Gebäudefassaden befasst.

Im ersten Vortrag stellte GERALD FORKERT den Beitrag *„Automatische Texturierung von 3D-Stadtmodellen in der Anwendung“* vor. Dabei wurde zunächst ein sehr guter Überblick über die Nutzung von Nadir- und Schrägluftbildern zur Extraktion von Dach- und Fassadentexturen gegeben und anhand von Beispielen der 3D-Modelle Stuttgart und Linz veranschaulicht. Auch die Probleme von Fehlabbildungen wurden erläutert. Im zweiten Teil des Vortrags wurde auf die Texturierung auf Basis von Mobile Mapping Daten eingegangen und anhand eines Beispiels der Texturierung des Stadtmodells Freiburg auf Basis von Cyclomedia-Aufnahmen dargestellt. ANDREAS DONAUBAUER folgte mit dem zweiten Vortrag zum Thema *A Building Façade Information Model for Computer Aided Facility Management based on a Parametric and Pattern Model Extension for CityGML*. Darin wurde eine domänenspezifische Erweiterung von CityGML für das Anwendungsgebiet Computer Aided Facility Management (CAFM) präsentiert. Schwerpunkt der Erweiterungen war ein Ansatz zur parametrisierten Fassadenbeschreibung. Dazu wurden neue Geometrietyper für CityGML vorgeschlagen. Die Nutzung dieser Erweiterung wurde in einem Projekt am Flughafen München dargestellt, um dort den Aufwand der Fassaden- und Fensterreinigung besser abschätzen zu können. Im dritten Vortrag stellte MONIKA SESTER eine Machbarkeitsstudie *Vertikale Solarfassaden* zur Berechnung des Photovoltaikpotenzials auf vertikalen Gebäudefassaden vor. Zur Generierung der Ausgangsdaten wer-

den dabei die Gebäudeoberflächen durch einen mobilen Laserscanner erfasst. Anhand der Punktwolke werden 3D-Gebäudemodelle extrahiert. Sowohl für Dach- als auch für Fassadenflächen wird durch ein Raycasting-Verfahren die solare Einstrahlung unter Berücksichtigung der direkten Verschattung durch Nachbargebäude berechnet. Diese bildet die Grundlage für die tages- und jahreszeitliche Abschätzung des Solarertrags. Im vierten und letzten Vortrag dieser Session ging MARTIN DRAUSCHKE auf die Arbeit zur *Untersuchung über die Detektion von spekulären Reflexionen in Fassadenbildern* ein. In der bildgebenden Computergraphik wird bei Beleuchtungsmodellen zwischen diffusen und spekulären Reflektoren unterschieden. Diese spekulären Reflexionen sollen in Fassadenaufnahmen detektiert und analysiert werden. Dazu wurde eine beeindruckende Sammlung von Fassadenaufnahmen bei unterschiedlicher Beleuchtungssituation, verschiedenen Sonnenständen, künstliche Beleuchtung durch mehrere Lichtquellen, etc., erstellt. Es wurden zwei vielversprechende Ansätze basierend auf Segmentierung und Himmelsmodell dargestellt.

Die zweite Sitzung mit dem Titel „3D-Stadtmodelle“ war mit ca. 50 Teilnehmern in dieser letzten Sitzung vor der Closing Session noch sehr gut besucht und wurde von EBERHARD GÜLCH moderiert. Es wurden vier Vorträge präsentiert, die sich in den Inhalten doch deutlich voneinander unterschieden und das große Spektrum dieses Arbeitskreises widerspiegeln. VOLKER COORS stellte den Beitrag *CityGML Quality Interoperability Experiment des OGC* vor. Hinsichtlich der zunehmenden Bedeutung von CityGML dienen diese wichtige Arbeiten und Erfahrungen zur weiteren Standardisierung im Bereich 3D-Stadtmodelle. KANISHK CHATURVEDI präsentierte mit dem Beitrag *Web-based Exploration of and Interaction with Large and Deeply Structured Semantic 3D City Models using HTML5 and WebGL* ein Rahmenwerk für Web-basierte Prozessierung, Visualisierung und Analyse von sehr großen semantischen 3D-Stadtmodellen. Es wurden detaillierte Angaben zum Design der Architektur gegeben,

über die Implementierung berichtet und an Use-Cases illustriert. Die restlichen beiden Beiträge beschäftigten sich mit Techniken zur Indoor-Erfassung. PENG CHENG berichtete dabei über *Konzept und Anwendungen eines mobilen Roboter-Systems in der Indoor-Navigation und -Raumdatenerfassung*. Als Basis dienen mobile Forschungsroboterplattformen, die sich auf dem Flur bzw. Raumboden bewegen und mit vielfältiger Sensorik zur Navigation und 3D-Raumdatenerfassung ausgestattet sind. Durch Nutzung von sensorspezifischer und Open-Source Software lassen sich vielfältige Aufgaben von Punktwolkenerfassung, Personentracking, Wandverfolgung etc. angehen, über die exemplarisch berichtet wurde. Im letzten Beitrag mit dem Titel *Indoor Mobile Mapping im Fernsehturm Stuttgart* beleuchtete MARIUS ZIEGLER schließlich die besonderen Probleme der mobilen Erfassung des Turminnen mit Laserscanning und inertialen Sensoren.

Dank gebührt allen Vortragenden und dem interessierten Publikum auch für die anregende Diskussion

Weitere und geplante Aktivitäten

Im Rahmen der Nachwuchsförderung präsentiert der Arbeitskreis weiterhin herausragende studentische Arbeiten, um junge Menschen anzuspornen, sich mit dem Themenkomplex der 3D-Stadtmodelle zu beschäftigen. Diesmal werden zwei Preisträgern die Teilnahme an der 20. internationalen *Web3D – Conference on Web3D Technology* auf Kreta vom 18. bis 21. Juni 2015 ermöglicht. Im Wettbewerb, der vom Web3D-Consortium und dem OGC veranstaltet wurde, ging es um das beste browser-basierte Rendering eines komplexen 3D-Stadtmodells. Die studentische Arbeit belegte einen guten dritten Platz.

Anfang Mai treffen sich die AK-Mitglieder zu einer weiteren Sitzung in der TU München. Die Sitzung dient wie immer dem Erfahrungsaustausch der Mitglieder und auch der Vorbereitung des diesjährigen Workshops *3D-Stadtmodelle* am 3. und 4.11.2015 in Bonn.

BETTINA PETZOLD, Wiesbaden
EBERHARD GÜLCH, Stuttgart

Hochschulnachrichten

Karlsruher Institut für Technologie

Dissertation von Sven Wursthorn

Herr Dipl.-Ing. SVEN WURSTHORN wurde am 30.4.2014 an der Fakultät für Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) mit der Arbeit *Kamerabasierte Egomotion-Bestimmung mit natürlichen Merkmalen zur Unterstützung von Augmented-Reality-Systemen* zum Dr.-Ing. promoviert.

1. Referent: Prof. Dr.-Ing. habil. STEFAN HINZ, KIT
2. Referent: Prof. Dr.-Ing. OLAF HELLWICH, TU Berlin
3. Referent: Prof. Dr.-Ing. habil. HANS-PETER BÄHR, KIT

Kurzfassung:

Durch die heute schon selbstverständliche Integration von Positionierungs- und Orientierungssensoren in der überwiegenden Mehrheit verfügbarer Smartphones und Tablets kann auf ortsbezogene Informationen aller Art rund um den aktuellen Aufenthaltsort des Nutzers automatisch zugegriffen werden, ohne dass dieser die Verbindung von Ort und Information selbst herstellen muss. Mit der integrierten Kamera ist es möglich, vollständig im Raum lokalisierte und orientierte Ansichten der direkten Umgebung auf dem Display anzeigen zu können. Anwendungen aus dem Bereich der *Augmented Reality* haben dadurch Einzug in das Alltagsleben erhalten. Ortsbezogene Informationen können so direkt mit dem Kamerabild überlagert werden. Zum Erreichen einer guten Überlagerung müssen zwei Probleme gelöst werden: Zum einen werden für diese Überlagerungen detaillierte und aktuelle dreidimensionale Daten von der direkten Umgebung des Nutzers benötigt, damit die vom Computer generierten Ansichten der zusätzlichen Informationen räumlich in die Umgebung integriert werden können. Zum anderen kann die hierfür benötigte Genauigkeit und Stabilität von den integrierten Senso-

ren nicht geliefert werden. Daher liegt es nahe, das Kamerabild selbst zur Schätzung und Stabilisierung der äußeren Orientierung zu nehmen. Mit Stereokamerasystemen und Tiefenbildkameras kann sowohl die Erfassung der Umgebungsgeometrie als auch die Eigenbewegungsschätzung durchgeführt werden. Aktuelle Entwicklungen deuten bereits heute auf die Integration solcher Kamerasysteme in künftigen mobilen Geräten hin.

Dadurch motiviert werden in dieser Arbeit die Möglichkeiten und Verfahren zur Eigenbewegungsschätzung mit Hilfe von Stereokamerasystemen und Tiefenbildkameras untersucht.

Dieses Forschungsfeld ist auch unter dem Namen *Visual Odometry* bekannt.

Nach einer kurzen Einführung in Augmented Reality werden zunächst die Grundlagen der Bewegungsschätzung mit Bildern analysiert und Vor- und Nachteile herausgearbeitet. Anschließend werden die genutzten Aufnahmesysteme vorgestellt: Stereokamera und Kinect Tiefenbildkamera. Mit einer Diskussion über die Möglichkeiten der Merkmalsextraktion und -Verfolgung in Bildsequenzen zum Gebrauch in Augmented-Reality-Anwendungen schließt der erste Teil.

Im zweiten Teil werden die Anwendungsgebiete und vorhandene Verfahren aus dem Bereich der Stereo-Egomotion analysiert und ein eigener Ansatz, der sowohl mit Stereobildsequenzen als auch mit Tiefenbildsequenzen zurechtkommt, vorgestellt. Die eigenen Lösungen werden mit ausgesuchten Verfahren abschließend mit einem kombinierten Aufnahmesystem verglichen und bewertet. Dabei zeigt sich, dass in den wesentlichen Bewertungsmaßen für die Positions- und Orientierungsgenauigkeit von Bildsequenz(-Aufnahmepunkt)en das entwickelte Verfahren stets in der Spitzengruppe der state-of-the-art Verfahren liegt, während die meisten anderen Verfahren bei bestimmten Bewertungsmaßen moderat bis stark abbauen. Dies unterstreicht, dass neben der Entwicklung eines neuen Verfahrens in gleichem Maße der Aufbau eines Rahmenwerkes für eine stringente und ein-

heitliche Evaluierungsmethodik ein signifikanter wissenschaftlicher Beitrag dieser Arbeit ist.

Die Arbeit ist online in der KIT-Bibliothek unter dem Link digbib.ubka.uni-karlsruhe.de/volltexte/documents/3489546 verfügbar.

Technische Universität Dresden

Dissertation von Ahmed Naser Al-Hameedawi

Herr AHMED NASER AL-HAMEEDAWI, M.Sc., promovierte am 17.9.2014 am Institut für Kartographie, Fakultät Umweltwissenschaften der Technischen Universität Dresden mit der Arbeit *Integrative GI Technology Applied to Best-Site Selection for Industrial Areas in Erbil City, Iraq* zum Dr.-Ing.

1. Referent: Prof. Dr. MANFRED BUCHROITHNER, TU Dresden
2. Referent: Prof. Dr. MATTHIAS MÖLLER, Beuth Hochschule für Technik Berlin
3. Referent: Prof. Dr. ELMAR CSAPLOVICS, TU Dresden

Abstract:

By many developed nations, industry is viewed as their predominant development strategy. Progress in the field of industry became the goal of countries seeking to witness quantum leaps in all directions in order to ensure a decent living for their citizens. The strategy of site selection is serious to any successful investment process or to any project or economic activity. All relevant spatial criteria must be well organized and combined to make right decisions by means of the site selection process.

To achieve this goal a lot of efforts were made where integration between the site selection process and current/future plans was reviewed. Hence, all of this information was taken into account and combined with the site selection process. The applied research laid the foundations for minimizing the gap between documentation and analysis of spatial patterns of LULC in the site selection process. It paved the way to more extended applied research in the fields of geographic information sciences for spatial planning tasks in vulnerable regions.

Dissertation von Karsten Pippig

Herr DIPL.-ING. KARSTEN PIPPIG promovierte am 26.11.2014 am Institut für Kartographie, Fakultät Umweltwissenschaften der Technischen Universität Dresden mit der Arbeit *Semantische Ähnlichkeitsanalyse nutzergenerierter Daten und empirische Untersuchung zu kartographischen Anamorphoten für touristische Navigationsanwendungen* zum Dr.-Ing.

1. Gutachter: Prof. Dr. DIRK BURGHARDT, TU Dresden
2. Gutachter: Prof. Dr. MANFRED BUCHROITHNER, TU Dresden
3. Gutachter: Prof. Dr. MONIKA SESTER, Universität Hannover

Kurzfassung:

Die Arbeit widmet sich den Möglichkeiten, Nutzer bei der touristischen Navigation besser zu unterstützen. Dabei werden zum einen Methoden einer nutzerorientierten thematischen Routenplanung aufgezeigt und zum anderen kartographische Anamorphoten als visuelle Navigationshilfe diskutiert.

Der erste Teil der Arbeit beschäftigt sich mit Methoden zur nutzerorientierten semantischen Filterung themenrelevanter Gebiete im Allgemeinen und zur individuellen thematischen Routenplanung im Besonderen. Derzeit existieren verschiedene technische Ansätze für Routenplanungen, die touristisch relevante Orte zu einem spezifischen Thema auf Basis nutzergenerierter Webinhalte bestimmen und zu Themenrouten kombinieren. Es existiert jedoch nach Auffassung des Autors kein Ansatz für eine wirklich individuelle Routenplanung, bei der Nutzer frei das Thema und den Start- und Endpunkt der Route definieren können. Die erste Methode, Kontinuummethode, basiert auf der Generierung eines thematischen Pseudokontinuums. Hier werden Daten der Plattformen Wikipedia, Flickr und Panoramio kombiniert und mittels der Kerndichteschätzung zu Pseudodichtekontinua transformiert. Mithilfe der Explicit Semantic Analysis (ESA) als Methode der semantischen Ähnlichkeitsbestimmung werden dann den Pseudodichtekontinua Themenrelevanzwerte zugeordnet und so relevante geographische

Gebiete zu einem nutzerdefinierten Thema gefiltert. Für eine thematische Routenplanung werden diese Themenrelevanzwerte auf ein Wegenetz übertragen. Die zweite Methode, Sequenzmethode, baut auf der semantischen Ähnlichkeitsbestimmung auf und ordnet georeferenzierte Wikipedia-Artikel entsprechend ihrer Themenrelevanz. Diese werden dann sequenziell in die Routenberechnung integriert. Eine durchgeführte Nutzerbefragung bestätigt, dass beide Methoden geeignet sind, um themenrelevante Routen zu bestimmen.

Der zweite Teil der Arbeit widmet sich der Eignung anamorphotischer Darstellungen als Navigationshilfe. Navigation als Problemlösungsprozess lässt sich hierarchisch-sequenziell in Teilprozesse unterteilen, die je nach Aufgabe bzw. Problemstellung unterschiedliche Visualisierungsformen fordern. Anamorphoten können das Kartenbild hinsichtlich eines bestimmten Sachbezuges verzerren und so die Karteninterpretation bei diesen unterschiedlichen Navigationsprozessen erleichtern. In der Arbeit wird zum einen eine umfassende deutschsprachige Taxonomie zu Anamorphoten eingeführt und zum anderen eine empirische Untersuchung zur Nutzung epizentrisch-gerichteter Distanzwertanamorphoten für die Navigation vorgestellt. Dabei liegt der Fokus der Studie auf dem Einfluss der Egozentrität und Verzerrung bei der Karteninterpretation in einzelnen Navigationsprozessen und der Frage, inwieweit zeitbeschreibende Darstellungen bei der Navigation und Wegfindung hilfreich sind.

Dissertation von Eva Hauthal

Frau DIPL.-ING. EVA HAUTHAL promovierte am 24.2.2015 am Institut für Kartographie, Fakultät Umweltwissenschaften der Technischen Universität Dresden mit der Arbeit *Detection, Modelling and Visualisation of Georeferenced Emotions from User-Generated Content* zur Dr.-Ing.

1. Gutachter: Prof. Dr. DIRK BURGHARDT, TU Dresden
2. Gutachter: Prof. Dr. GEORG GARTNER, TU Wien
3. Gutachter: Prof. Dr. JOCHEN SCHIEWE, HafenCity Universität Hamburg

Kurzfassung:

In den letzten Jahren sind emotionsbezogene Anwendungen, wie Apps, die die Emotionen des Nutzers dokumentieren und analysieren, sehr populär geworden. Ebenfalls in der Forschung sind Emotionen in einem sehr technologiegetriebenen Ansatz ein Thema. So auch ortsbezogene Emotionen, die sich somit kartographisch darstellen lassen und auf verschiedene Art und Weisen gewonnen werden können.

Das Forschungsvorhaben der Dissertation befasst sich mit der Extraktion von georeferenzierten Emotionen aus geschriebener Sprache unter Verwendung von Metadaten verorteter Flickr- und Panoramio-Fotos, d. h. aus nutzergenerierten Inhalten, sowie deren Modellierung und Visualisierung. Motivation hierfür ist die Einbindung einer emotionalen Komponente in ortsbasierte touristische Dienste, da diese bisher nur faktische Informationen berücksichtigen, obwohl Orte durchaus eine emotionale Wirkung haben.

Die Metadaten dieser nutzergenerierten Inhalte stellen Beschreibungen des auf dem Foto festgehaltenen Ortes dar. Die dafür verwendeten Wörter besitzen affektive Konnotationen, welche mit Hilfe emotionaler Wortlisten ermittelt werden. Die Emotion, die mit dem jeweiligen Wort in der Wortliste assoziiert wird, wird anhand der zwei Dimensionen Valenz und Erregung beschrieben. Die extrahierten Emotionen bilden zusammen mit der geographischen Koordinate des jeweiligen Fotos eine georeferenzierte Emotion. Der zur Extraktion dieser Emotionen entwickelte Algorithmus bringt verschiedene Ansätze aus dem Bereich der Computerlinguistik zum Einsatz und berücksichtigt ebenso grammatikalische Sonderfälle, wie Intensivierung oder Negation von Wörtern.

Der Algorithmus wurde auf einen Datensatz von Flickr- und Panoramio-Fotos von Dresden angewendet. Die Ergebnisse stellen eine emotionale Raumcharakterisierung dar und ermöglichen es, spezifische Eigenschaften verorteter Emotionen festzustellen und zu untersuchen. Diese Eigenschaften beziehen sich sowohl auf die zeitliche Abhängigkeit und den zeitlichen Bezug von Emotion, als auch darauf, dass zwischen kollektiv und individuell wahrgenommenen Emotionen unterschiede

den werden muss. Das bedeutet, dass ein Ort nicht nur mit einer Emotion verbunden sein muss, sondern möglicherweise auch mit mehreren. Die Auswertung erfolgte mithilfe verschiedener kartographischer Visualisierungen. Eingehender wurde das zeitliche Auftreten der ortsbezogenen Emotionen untersucht.

Der Fokus der Dissertation liegt somit auf der Grundlagenforschung zur Extraktion ver-

orteter Emotionen aus georeferenzierten nutzergenerierten Inhalten sowie deren Visualisierung. Im Ausblick werden jedoch weitere Fragestellungen und Schwerpunkte genannt, die sich im Laufe der Untersuchungen ergeben haben, womit gezeigt wird, dass dieses Forschungsgebiet bei weitem noch nicht ausgeschöpft ist.

Veranstaltungskalender

2015

23. – 28. August: **ICC – International Cartographic Conference in Rio de Janeiro**, Brasilien. icc2015.org

30. August – 2. September: **UAV-g: Unmanned Aerial Vehicles in Geomatics in Toronto**, Kanada. uav-g2015.org

31. August – 5. September: **CIPA 2015: 25th CIPA Heritage Documentation Symposium in Taipei**, Taiwan. cipa2015.org

6. – 11. September: **Photogrammetrische Woche 2015 in Stuttgart**. ifp.uni-stuttgart.de/phowo

15. – 17. September: **INTERGEO in Stuttgart**. intergeo.de

21. – 24. September: **SPIE Remote Sensing 2015 in Toulouse**, Frankreich. spie.org/remote-sensing-europe.xml

28. September – 3. Oktober: **ISPRS Geospatial Week 2015 in La Grande Motte**, Frankreich. isprs-geospatialweek2015.org

6. – 9. Oktober: **GCPR (DAGM): German Conference on Pattern Recognition in Aachen**. gcpr2015.rwth-aachen.de/

28. – 30. Oktober: **Joint International Geoinformation Conference 2015: 3DGeoInfo – GeoAdvances – ISPRS WGII/2 Workshop – Geomatic & Geospatial Technology in Kuala Lumpur**, Malaysia. www.geoinfo.utm.my/jointgeoinfo2015/

7. – 13. Dezember: **ICCV 2015 – International Conference for Computer Vision 2015 in Santiago**, Chile. pamitc.org/iccv15/

9. – 11. Dezember: **MMT 2015: 9th International Symposium on Mobile Mapping Technology in Sydney**, Australien. mmt2015.org

2016

3. – 4. Februar: **Oldenburger 3D Tage in Oldenburg**. jade-hs.de/fachbereiche/bauwesen-und-geoinformation/geoinformation/oldenburger-3d-tage

10. – 15. Juli: **IGARSS 2016 – International Geoscience and Remote Sensing Symposium 2015 in Peking**, China. igarss2016.org

12. – 19. Juli: **ISPRS Congress 2016 in Prag**, Tschechien. www.isprs2016-prague.com

10. – 16. Oktober: **ECCV 2016 – European Conference on Computer Vision 2016 in Amsterdam**, Niederlande. eccv2016.org

8. – 11. November: **ICPR 2016 – International Conference on Pattern Recognition 2016 in Cancun**, Mexiko.

Weitere Konferenzen und Workshops finden sich beispielsweise unter: isprs.org/calendar/Default.aspx
conferences.visionbib.com

Korporative Mitglieder

Firmen

AEROWEST GmbH
 AICON 3D Systems GmbH
 aphos Leipzig AG
 ASTEC GEODATA GmbH
 Bernhard Harzer Verlag GmbH
 Black Bridge AG
 Blom Deutschland GmbH
 Brockmann Consult GmbH
 bsf swissphoto GmbH
 Büro Immekus
 DB Netz AG
 DELPHI IMM GmbH
 Deutsches Bergbau-Museum
 EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH
 ESG Elektroniksystem- und Logistik-GmbH
 Esri Deutschland GmbH
 EUROPEAN SPACE IMAGING
 Eurosense GmbH
 Exelis Visual Information Solutions GmbH
 fokus GmbH
 GAF GmbH
 GeoCart Herten GmbH
 Geoinform. & Photogr. Engin. Dr. Kruck & Co. GbR
 geoplana Ingenieurgesellschaft mbH
 GEOSYSTEMS GmbH
 GGS - Büro für Geotechnik, Geoinformatik, Service
 Hansa Luftbild AG
 Herbert Wichmann, VDE Verlag GmbH
 IAGB mbH
 IGI - Ingenieur-Gesellschaft für Interfaces mbH
 ILV-Fernerkundungs GmbH
 Infoterra GmbH
 INVERS - Industrievermessung & Systeme
 Leica Geosystems GmbH
 Linsinger ZT GmbH
 Luftbilddatenbank Dr. Carls GmbH
 map/x/tek
 Messbildstelle GmbH
 Microsoft Photogrammetry
 MILAN Geoservice GmbH
 M.O.S.S. Computer Grafik Systeme GmbH
 PHOENICS GmbH
 PMS - Photo Mess Systeme AG
 RIEGL Laser Measurement Systems GmbH
 RWE Power AG, Geobasisdaten/Markscheidewesen
 technet GmbH
 Terra-Messflug GmbH

topometric GmbH
 TRIGIS GmbH
 Trimble Germany GmbH
 trimetric 3D Service GmbH
 Z/I Imaging Ltd.

Behörden

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft
 Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
 Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
 Hessisches LA für Bodenmanagement und Geoinformation
 Innenministerium NRW, Gruppe Vermessungswesen
 Institut für Umwelt- und Zukunftsforschung
 LA für Geoinformation und Landentwicklung, BW
 LA für Vermessung und Geoinformation, Bayern
 LA für Vermessung und Geoinformation, Schleswig-Holstein
 LB Geoinformation und Vermessung, Hamburg
 LB für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz, SH
 Landeshauptstadt Düsseldorf, Vermessungs- und Liegenschaftsamt
 Landesvermessung und Geobasisinformation Niedersachsen
 Märkischer Kreis, Vermessungs- und Katasteramt
 Regierungspräsident Tübingen, Abt. 8 Forstdirektion
 Regionalverband Ruhr
 Staatsbetrieb Sachsenforst
 Stadt Köln, Amt für Liegenschaften, Vermessung und Kataster
 Stadt Wuppertal, Vermessung, Katasteramt und Geodaten
 Thüringer LA für Vermessung und Geoinformation
 Zentrum für Geoinformationswesen der Bundeswehr

Hochschulen

BTU Cottbus, Lehrstuhl für Vermessungskunde
 FH Frankfurt a.M., FB 1, Studiengang Geoinformation
 FH Mainz, Institut für Raumbezogene Informations- und Messtechnik
 HCU HafenCity Universität Hamburg, Geomatik
 HfT Stuttgart, Vermessung und Geoinformatik
 HS Bochum, FB Vermessung und Geoinformatik

- HS Karlsruhe, Fakultät für Geomatik
HTW Dresden, FB Vermessungswesen/Kartographie
Jade Hochschule, Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik
LUH Hannover, Institut für Kartographie und Geoinformatik
LUH Hannover, Institut für Photogrammetrie und Geoinformation
MLU Halle, FG Geofernerkundung
Rhein Ahr Campus, Anwendungszentrum für multimodale und luftgestützte Sensorik
Ruhr-Uni Bochum, Geographisches Institut
RWTH Aachen, Geodätisches Institut
TU Bergak. Freiberg, Institut für Markscheidewesen und Geodäsie
TU Berlin, Computer Vision & Remote Sensing
TU Berlin, Institut für Geodäsie und Geoinformationstechnik
TU Braunschweig, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie
TU Clausthal, Institut für Geotechnik und Markscheidewesen
TU Darmstadt, Institut für Geodäsie, FG Fernerkundung und Bildanalyse
TU Dresden, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung
TU München, FG Photogrammetrie und Fernerkundung
TU München, Lehrstuhl für Geoinformatik
TU Wien, FG Photogrammetrie und Fernerkundung
Uni Bonn, Institut für Photogrammetrie
Uni Göttingen, Abt. Waldinventur und Fernerkundung
Uni Heidelberg, IWR Interdisziplinäres Zentrum für Wissenschaftliches Rechnen
Uni Kassel, FG Grünlandwissenschaften und Rohstoffe
Uni Kiel, Geographisches Institut
Uni Stuttgart, Institut für Photogrammetrie
Uni Trier, Institut für Umweltfernerkundung und Geoinformatik
Uni Würzburg, Geographisches Institut
Uni zu Köln, Geographisches Institut



BEUTH HOCHSCHULE FÜR TECHNIK BERLIN
University of Applied Sciences

Unter dem Motto „Studiere Zukunft“ steigert die Beuth Hochschule für Technik Berlin systematisch ihre Leistungen in Lehre, Forschung und Weiterbildung. Über 12.000 Studierende werden in mehr als 70 akkreditierten Bachelor- und Masterstudiengängen an einem attraktiven Standort mit modernster Laborausstattung für eine Karriere in Wirtschaft und Wissenschaft ausgebildet.

Für das nachstehend aufgeführte Fachgebiet ist folgende unbefristete Stelle zu besetzen:

Professur Photogrammetrie und Geoinformation

(BesGr. W2) * Kennziffer: 1013

■ Anforderungen

Gesucht wird eine teamfähige Persönlichkeit mit ausgewiesenen Kompetenzen und praktischer Erfahrung in der Photogrammetrie. Umfangreiche Erfahrungen in Anwendungsprojekten der terrestrischen Photogrammetrie, 3D-Modellierung und Rasterdatenanalyse werden erwartet. Darüber hinaus sollen Kenntnisse in Geoinformationssystemen vorhanden sein. Vertiefte Erfahrungen in der Nutzung von Anwendersoftware (kommerziell und OpenSource) zu den ausgeschriebenen Fachgebieten werden vorausgesetzt.

In diesen Fachgebieten wird ein hohes Engagement in der Lehre sowie der angewandten Forschung und Entwicklung erwartet. In den Fachgebieten werden Kompetenz und Engagement beim Aufbau eines eigenen Schwerpunktes in angewandter Forschung und Entwicklung vorausgesetzt.

Die Hochschule erwartet Bewerberinnen/Bewerber mit Hochschulabschluss und Praxiserfahrung in den Bereichen Geodäsie, Vermessungswesen oder in entsprechenden technisch-naturwissenschaftlichen Bereichen.

Darüber hinaus wird die Bereitschaft und Befähigung zur Durchführung von Lehrveranstaltungen in englischer Sprache erwartet.

■ Bewerbung

Wir bitten Sie, zusätzlich zu Ihrer schriftlichen Bewerbung ein Onlineformular auszufüllen unter www.beuth-hochschule.de/professur. Hier finden Sie weitere Anforderungen und Hinweise, insbesondere zu den Berufungsvoraussetzungen.

Bewerbungen mit den üblichen Unterlagen werden unter Angabe der Kennziffer innerhalb vier Wochen nach Erscheinen an die Präsidentin der Beuth Hochschule für Technik Berlin, Luxemburger Str. 10, 13353 Berlin, erbeten. Originalunterlagen bitte nur auf besondere Anforderung einsenden.

* Je nach Qualifikation und Berufserfahrung können neben dem Grundgehalt der Besoldungsgruppe W2 Berufungs-Leistungsbezüge gewährt werden.



Die Hochschule München ist die größte Hochschule für angewandte Wissenschaften in Bayern und eine der größten ihrer Art in Deutschland. Wir sehen unsere Herausforderung und Verpflichtung in einer aktiven und innovativen Zukunftsgestaltung von Lehre, Forschung und Weiterbildung.

Für die nachstehend aufgeführte Professur wird eine wissenschaftlich ausgewiesene Persönlichkeit gesucht, die umfassende praktische Erfahrungen in verantwortlicher Position außerhalb einer Hochschule erworben hat und diese nun in Lehre und angewandter Forschung an unsere Studierenden weitergeben möchte.

Zum **Sommersemester 2016** oder später besetzen wir an der:

Fakultät für Geoinformation

W2-Professur für Angewandte Geodäsie Kennziffer 0824

Die zu berufende Persönlichkeit soll ein abgeschlossenes Studium der Geodäsie oder einer vergleichbaren Fachrichtung absolviert und eine Promotion oder vergleichbare Qualifikation erlangt haben sowie eine starke Expertise in mindestens einem der folgenden Schwerpunkte aufweisen:

- Ingenieurgeodäsie, CAD
- Fernerkundung, Computer Vision, Navigation
- Grundstücks- und Geodatenmanagement

Die Stelleninhaberin/Der Stelleninhaber vertritt im Rahmen der Studiengänge der Fakultät insbesondere folgende Bereiche:

- Geodätische Grundlagen und Algorithmen
- Messsensorik

Es wird erwartet, dass die Stelleninhaberin/der Stelleninhaber auch Grundlagenvorlesungen im Bereich der Geodäsie und aus verwandten Gebieten der Geoinformation übernimmt. Erwartet wird ebenfalls, dass die Lehrveranstaltungen unter Anwendung moderner didaktischer Methoden und Arbeitstechniken - auch in englischer Sprache - weiterentwickelt werden.

Die Bewerberin/Der Bewerber sollte eine hervorragende pädagogische und didaktische Eignung und kommunikative Kompetenz mitbringen. Erforderlich sind zudem interdisziplinäres Denken, unbedingte Bereitschaft zur Teamarbeit, Belastbarkeit und Begeisterungsfähigkeit.

Wenn Sie sich für eine Professur berufen fühlen, freuen wir uns auf Ihre aussagefähige Bewerbung mit den erforderlichen Bewerbungsunterlagen **in Kopie**.

Diese senden Sie bitte per E-Mail oder per Post bis **zum xx.xx.2015** unter Angabe der o. g. Kennziffer an die Personalabteilung der Hochschule München.

Weitere Informationen, insbesondere zu den Einstellungsvoraussetzungen und den erforderlichen Bewerbungsunterlagen, entnehmen Sie bitte der Homepage unter:

www.hm.edu/allgemein/job_karriere/professuren.de.html

Bewerbungen per E-Mail senden Sie bitte im **PDF-Format als eine Datei** an professur-bewerbung@hm.edu.

Postanschrift: Hochschule für angewandte Wissenschaften München
Personalabteilung, Lothstraße 34, 80335 München

Ansprechpartnerin: Frau Pfab, Telefon 089/1265-1120, christa.pfab@hm.edu



www.hm.edu

