Zeitschrift: Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural

Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

Band: 99 (2001)

Heft: 9

Artikel: Estimation de la hauteur des bâtiments à partir des modèles numérique d'altitude laser

Autor: Gnerre, Daniel / Golay, François / Riedo, Marc

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-235813

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Estimation de la hauteur des bâtiments à partir des modèles numériques d'altitude laser

La technologie laser pour la détermination de modèles numériques d'altitude (MNA) est relativement récente (début des années 90). Les développements effectués ces dernières années en ont fait une technologie abordable du point de vue financier, ouvrant ainsi de nombreuses perspectives. Cet article présente une des exploitations possibles de cette nouvelle technologie, en l'occurrence l'estimation de la hauteur de bâtiments. Une application permettant d'automatiser ce calcul a été créée. Un indice ayant pour but d'estimer la conformité du modèle utilisé a également été développé. Des mesures ont été effectuées sur le terrain pour valider les processus. Les démarches en cours exploitent les données de Genève et seront bientôt testées avec les données que la Direction Fédérale des Mensurations Cadastrales est en train d'acquérir sur toute la Suisse.

Die Lasertechnologie für die Bestimmung der digitalen Höhenmodelle (DHM) ist relativ neu (Anfang der 90er Jahre). Die in den letzten Jahren entwickelte Technologie ist recht kostengünstig und eröffnet zahlreiche Perspektiven. In diesem Beitrag wird eine der möglichen Anwendungen dargestellt und zwar die Bestimmung von Gebäudehöhen, wofür eine automatische Berechnung geschaffen worden ist. Zur Abschätzung der Konformität des verwendeten Modells ist eine Skala entwickelt worden. Im Gelände sind Messungen gemacht worden, um die Abläufe zu bestätigen. Gegenwärtig werden die Daten von Genf ausgewertet und mit jenen Daten getestet, die die Eidgenössische Vermessungsdirektion in der ganzen Schweiz erhebt.

La tecnologia laser per la determinazione dei modelli numerici d'altezza (MNA) è relativamente recente (inizio anni '90). Gli sviluppi registrati in questi ultimi tempi, l'hanno trasformata in una tecnologia sopportabile dal punto di vista finanziario, aprendo così la strada a nuovi approcci. In questo articolo si analizzano le possibilità offerte da questa nuova tecnologia, tra cui si trova anche la stima dell'altezza degli edifici. Si è creata un'applicazione promettente di calcolo e si è sviluppato un indice che mira alla stima della conformità del modello utilizzato. Sul terreno si sono effettuate delle misure per convalidare il processo. Le sperimentazioni in corso sfruttano i dati di Ginevra e saranno presto messe a raffronto con i dati che la D+M sta raccogliendo per tutta la Svizzera.

D. Gnerre, F. Golay, M. Riedo

Introduction

La présente étude s'inscrit dans les accords de collaboration que le laboratoire de SIRS (Systèmes d'Information à Référence Spatiale) de l'EPFL (Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne) entretient avec les administrations cantonales de Fribourg, Genève, Neuchâtel, Vaud et l'ASIT-VD. Les données qui ont été utilisées pour ce projet proviennent du canton de Genève qui, en 2000, mandata une compagnie pour effectuer l'acquisition de modèles numériques par télémétrie laser aéroportée couvrant tout le canton. Ce vol permit l'élaboration, après différentes phases de traitements des points bruts, des modèles numériques de terrain (MNT) et de surface (MNS) raster d'une résolution de 1 mètre. Une application, exploitée par le canton de Genève, a été développée et permet le calcul automatique de la hauteur des bâtiments à partir des MNT et MNS. Un indice a également été proposé pour estimer la conformité des valeurs de hauteurs calculées.

Bien que la hauteur des bâtiments soit de plus en plus demandée, elle n'est que très rarement disponible dans les données cadastrales. Cette information intéresse différents acteurs comme les opérateurs de télécommunication pour la détermination de l'emplacement optimal des antennes. Les sociétés de distribution de gaz sont également intéressées car la connaissance du potentiel de volume à chauffer est indispensable à la planification des réseaux, tout comme les services d'aménagement du territoire pour lesquels le nombre d'étages – estimé à partir de la hauteur – est un paramètre important pour la détermination du Coefficient d'Utilisation du Sol (CUS) en vue de la planification des zones à bâtir.

Principes de la technologie laser pour la détermination de MNA

L'acquisition d'un modèle numérique de terrain laser commence par un vol au-dessus de la zone d'étude. L'avion (ou l'hélicoptère) est équipé d'un télémètre laser à balayage qui mesure les distances au sol à partir du temps de parcours d' impulsions de très courte durée. Pour géoréférencer ces mesures, la position et l'attitude de l'avion doivent être connues avec une extrême précision; celle-ci est assurée par un GPS différentiel et un système de navigation inertiel. Un tel système permet, en tenant compte de la précision de tous les instruments, d'obtenir une précision de 15 centimètres dans le meilleur des cas en altimétrie et de 30 à 40 centimètres en planimétrie. Ces valeurs dépendent bien sûr de différents paramètres comme les conditions atmosphériques, la topographie ou encore la hauteur de vol. Une des particularités du système est la possibilité d'obtenir des points au sol en zone forestière, rendant possible l'élaboration d'un modèle de surface et d'un modèle de terrain. Après différentes phases de traitement et de filtrage, le résultat brut obtenu est un semi de points (plusieurs

Fig. 1: Ombrage des Modèles Numériques de Terrain (MNT) et de Surface (MNS) à 1 mètre (région GE).

millions par kilomètre carré), que l'on peut agréger pour obtenir des grilles raster régulières, comme illustré sur la figure 1.
Les avantages de cette technologie résident dans la précision, la rapidité d'élaboration, le fait de pouvoir disposer d'un MNS et d'un MNT et la possibilité d'obtenir des résultats directement sous forme numérique. Par contre, on rencontre des difficultés à déterminer le MNT lorsque la couverture végétale est dense, et la haute résolution de tels modèles numériques nécessite une importante phase de filtrage et implique des volumes de données élevés (40 milliards de pixels pour la Suisse avec une résolution de 1 mètre).

Méthodes de calcul de la hauteur

La disponibilité d'un MNS et d'un MNT offre la possibilité de calculer la hauteur de n'importe quel objet placé sur le premier et non sur le second (arbre, bâtiment). Les deux méthodes développées ici permettent de calculer la hauteur d'objets surfaciques à partir de modèles numériques structurés sous forme de grille régulière élaborée par interpolation des points bruts. Le choix de ne pas travailler avec les points bruts s'est fait pour plusieurs raisons:

- la perte de précision due à l'interpolation pour obtenir une grille n'est pas significative étant donné les applications visées et la complexité de la forme des toits que l'on peut rencontrer;
- le MNT étant obtenu par élimination de certains points du MNS (arbre, bâtiments, etc.), il n'y a aucune donnée vectorielle du MNT à l'intérieur des bâtiments. Cette absence pose donc problème pour la détermination d'une altitude de base. Les données vecteur brutes du MNT ne sont par conséquent pas utilisables sans interpolation pour le calcul de hauteur de bâtiment;
- une simple moyenne des altitudes à l'intérieur des bâtiments serait faussée, car la densité des points bruts n'est pas uniforme. Pour s'affranchir de ce problème, il est donc nécessaire de passer à une distribution régulière, c'est à dire à une grille raster;
- l'exploitation de plusieurs millions de points en mode vecteur simultanément au sein d'un logiciel de SIG est particulièrement pénalisante au niveau des performances et du stockage. En effet, une même zone au format vecteur peut occuper 10 à 20 fois plus de volume disque que la même zone au format raster.

Les données exploitées par l'application sont donc de structure différente, les bâtiments étant vectoriels et les MNA sous forme raster. Les fonctions de base utilisées intègrent ces deux types de structure et fournissent une statistique (moyenne, minimum, maximum, médiane, volume, etc.) de la valeur des pixels contenus dans un polygone, qui dans ce cas serait le bâtiment. Ces fonctions sont utilisées dans les deux méthodologies développées, mais de manière différente.

Méthode de la «double superposition»

Cette méthode effectue deux superpositions entre les bâtiments et les modèles numériques d'altitude. On obtient ainsi l'altitude moyenne de la base et l'altitude moyenne du toit du bâtiment qu'il suffit ensuite de soustraire pour obtenir des valeurs de hauteur. La figure 2 illustre le principe.

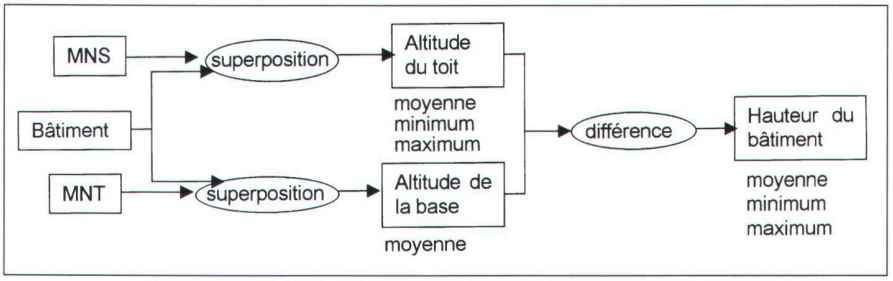


Fig. 2: Méthode «double superposition».

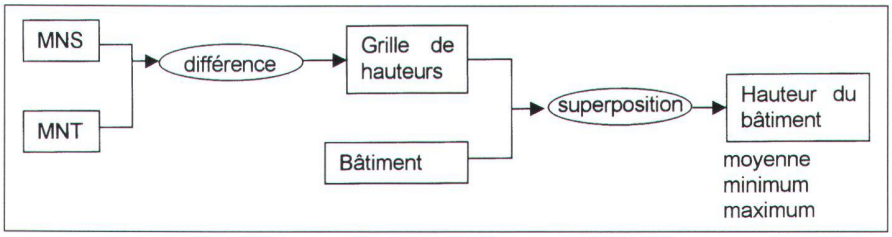


Fig. 3: Méthode «simple superposition».

Méthode de la «simple superposition»

Comme son nom l'indique, on effectue avec cette méthode une seule superposition sur une grille de hauteurs d'objets, obtenue par soustraction des deux modèles numériques d'altitude. Les pixels de cette nouvelle grille n'ont de valeurs qu'aux endroits où le modèle de surface est différent du modèle de terrain. A l'endroit où les deux modèles sont équivalents, les pixels n'ont pas de valeur et sont donc ignorés lors de la superposition. La figure 3 présente la succession des opérations.

Au niveau des performances, les deux méthodes discutées sont équivalentes. Elles diffèrent tout de même sur deux points principaux:

- Avec la seconde méthode, comme la superposition est effectuée sur une grille de hauteurs qui est une donnée agrégée, on ne dispose plus des caractéristiques des bâtiments par rapport au MNT et au MNS. Les résultats ne permettent donc pas d'avoir un maximum d'informations sur les variations d'altitudes au sol et sur le toit à l'intérieur des bâtiments, ce qui limite les possibilités de définition d'un indice de conformité.
- Comme la seconde méthode ne tient pas compte des pixels à l'intérieur des bâtiments qui ont la même valeur sur le MNS et le MNT, elle est plus appropriée pour les situations où il existe par exemple une cour intérieure non relevée sur le cadastre des bâtiments.

En ce qui concerne les performances, l'application développée permet de calculer la hauteur de 10 000 bâtiments en moins d'une minute. Cet algorithme a été utilisé par le Service des Systèmes d'Information et de Géomatique de Genève pour calculer les hauteurs des bâtiments de tout le canton.

Indice de conformité

Jusqu'à présent, l'objectif était de déterminer une hauteur moyenne des bâtiments dans le but de les modéliser par des parallélépipèdes. Il est donc important à ce stade de pouvoir estimer si cette modélisation est proche ou non de la réalité. La question qui se pose est donc: est-ce que le parallélépipède de hauteur égale à la hauteur moyenne calculée modélise correctement l'emprise du bâtiment? Cette conformité est très variable et dépend de plusieurs facteurs:

- La forme du toit: plus le toit est plat et plus la valeur de hauteur moyenne sera proche de la réalité (cf. fig. 4).

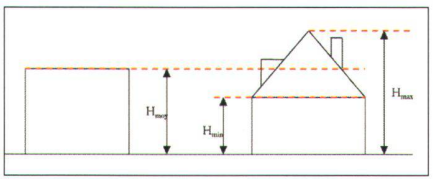


Fig. 4: Les différentes hauteurs d'un bâtiment.

- Le découpage des bâtiments: plus la forme d'un bâtiment contient de sous-parties et plus on risque d'avoir des altitudes différentes pour chacune de ces sous-parties. Dans le cas de la figure 5, il faudrait séparer le bâtiment en plusieurs parties et obtenir une hauteur pour chacune d'elles.

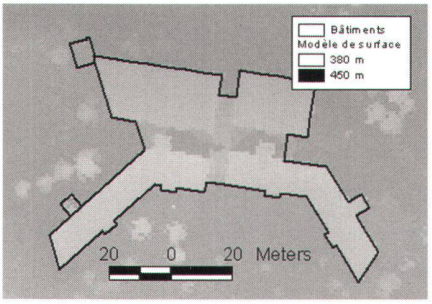


Fig. 5: Hauteurs différentes pour un même bâtiment.

- La position du bâtiment: un bâtiment situé en forêt posera problème car ce n'est pas son toit qui se trouve dans le MNS mais plutôt la cime des arbres l'entourant, ce qui peut conduire à une importante surestimation de la hauteur (cf. fig. 6).
- La qualité de filtrage du MNT: en effet, en zone bâtie, on obtient le MNT à partir du MNS en «découpant» les bâtiments. Ce traitement se fait de manière semi-automatique et produit parfois des artefacts qui posent problème lors de la détermination de l'altitude de la base du bâtiment (cf. fig. 7).

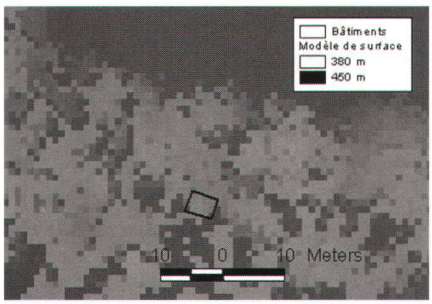


Fig. 6: Bâtiment situé en forêt.

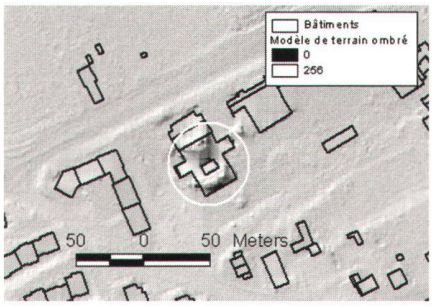


Fig. 7: Artefacts du MNT.

Le but de l'indice de conformité est donc de mettre en évidence les différents cas discutés ci-dessus, de manière à localiser facilement les erreurs ou les trop fortes variations d'altitude qui indiqueraient une valeur de hauteur correspondant peu à la réalité. Le point commun qu'ont les situations discutées est l'importante variation de la valeur des pixels du MNS ou du MNT. L'indice développé intègre donc trois critères qu'on normalise pour pouvoir les additionner:

- L'écart type de la valeur des pixels du MNS (ET_{MNS}): plus l'écart type est important, plus la conformité est faible;
- L'écart type de la valeur des pixels du MNS (ET_{MNT}): plus l'écart type est important, plus la conformité est faible;
- La surface du bâtiments (S): on accepte plus facilement une grande variation sur un grand bâtiment que sur un petit.

$I = ET_{MNS}(\text{normalisé}) + ET_{MNT}(\text{normalisé}) - S(\text{normalisé})$

La distribution de chacun des critères suit une loi log-normale, il faut donc utiliser la fonction logarithme pour pouvoir les combiner linéairement. On peut ensuite centrer et réduire les variables en soustrayant la moyenne et en divisant par l'écart type. L'indice est ensuite borné à un intervalle de 0 à 100, une valeur proche de 100 indiquant une forte variation de hauteur pour le bâtiment, relativement à sa surface.

$ET_{critère}$(normalisé) = [log($ET_{critère}$) – Moyenne ($ET_{critère}$)] / ET($ET_{critère}$)

Les classes pour chaque valeur de l'indice se définissent de manière relativement arbitraire, selon que l'on accepte plus ou moins de variations de hauteur pour un bâtiment avant de le classer comme conforme. Comme la distribution de chaque critère normalisé suit une loi normale, la distribution des notes est également de type normale. Des bâtiments comme ceux présentés aux fig. 5 et 6 sont aisément mis en évidence par l'indice.

Vérification par mesures sur le terrain

Bien que la précision des modèles d'altitude soit garantie mais pour valider la démarche, des mesures de hauteur des bâtiments on été effectuées sur le terrain. L'instrument utilisé est doté d'un distancemètre laser et d'un inclinomètre, permettant de déterminer des hauteurs d'objet à partir de la mesure d'une distance horizontale, d'un angle à la base et d'un angle au sommet. Le but de ces mesures était de comparer la hauteur moyenne calculée sur les modèles numériques avec la hauteur moyenne mesurée. Pour déterminer sur le terrain cette valeur moyenne, deux mesures de hauteur ont été prises: une à la base du toit (hauteur minimum) et une sur le faîte (hauteur maximum) (cf. fig. 4). Il n'a cependant pas toujours été possible de mesurer la hauteur maximum pour des raisons de visibilité. Pour ces bâtiments, seule la hauteur minimum a été prise. Au total, une quarantaine de bâtiments ont été mesurés avec différents types de toits, allant de l'immeuble locatif à la villa, en passant par la cabane de moins de 10 m². La fig. 8 montre la distribution des écarts entre les mesures et le calcul des hauteurs moyennes. La différence entre la hauteur moyenne mesurée et calculée est dans la majeure partie des cas inférieure à 1 mètre, une précision qui suffit largement aux applications citées précédemment.

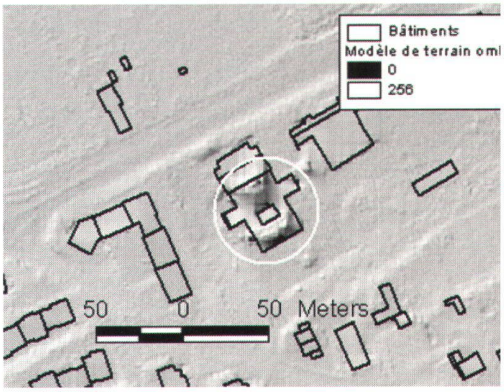


Fig. 8: Distribution des différences entre le calcul et les mesures.

Conclusion et perspectives

Cette étude montre qu'il est possible de déterminer une hauteur moyenne de bâtiments à partir de modèles numériques de résolution métrique. Cette donnée, souvent indisponible et difficile à obtenir sur de grandes surfaces avec d'autres techniques, est d'ores et déjà disponible sur tout le canton de Genève. L'application développée permet d'automatiser totalement le processus de calcul de hauteur à partir du MNS et du MNT, et un indice de conformité est proposé pour identifier les bâtiments dont la valeur obtenue par calcul s'éloignerait trop de la réalité. Des mesures sur le terrain ont permis de valider les résultats.

Les perspectives offertes par l'arrivée de ce nouveau type de modèle sont nombreuses. Dans le cadre des accords de collaboration cités en introduction, le projet se poursuit donc et les axes de prospection envisagés sont les suivants:

- Forme des toits: en effet, dans un MNS d'une résolution de 1 mètre cette information existe (cf. fig. 9). Il serait alors intéressant de pouvoir l'extraire automatiquement, ce qui permettrait de modéliser de manière toujours plus réaliste la troisième dimension en zone urbaine.
- Obtention de données dérivées: lorsque l'on désire déterminer des pentes, orientations, convexité ou autres, des problèmes de bruit se posent du fait de la haute résolution des modèles (cf. fig. 10). Des questions se posent alors sur la méthodologie d'obtention de ces données: faut-il les rééchantillonner? Faut-il traiter les données dérivées? Quel type de traitement utiliser (généralisation des courbes de niveau, etc.)? Quelle méthodologie appliquer?
- Amélioration de produits (cartes nationales, orthophotos, plan d'ensemble) par intégration d'ombrages générés à partir du modèle numérique laser.

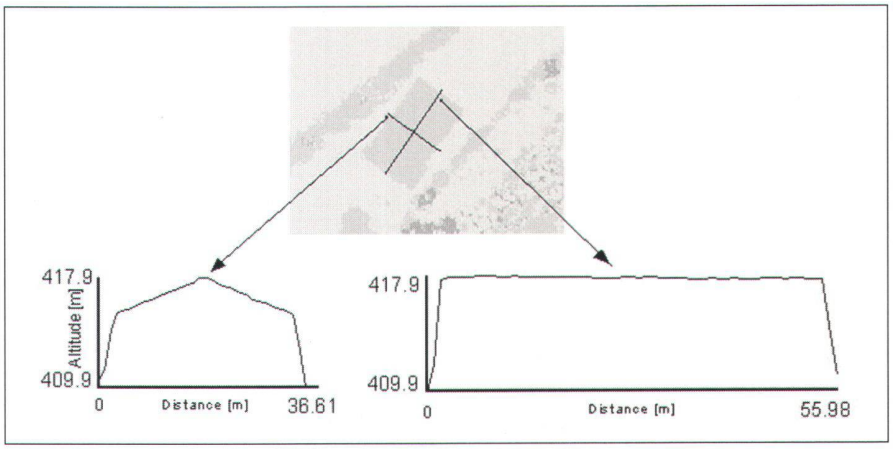


Fig. 9: Profils d'un bâtiment sur un MNS de 1 mètre.

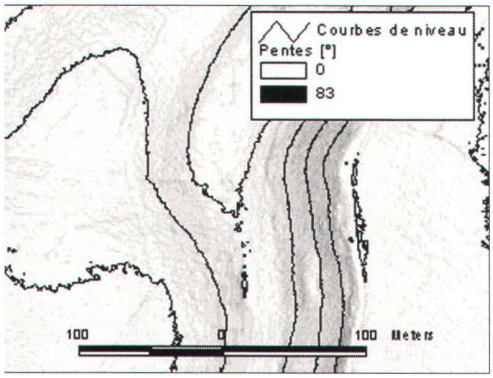


Fig. 10: Pentes et courbes de niveau obtenues à partir d'un modèle à 1 mètre.

- Besoins et méthodes de simplification des modèles, gestion des gros volumes, etc.

Références:

- Gülch E., Hakala J., New developpements in semi-automated building acquisition, GEOEurope., févr. 2001.
- Lohmann P., Koch A., Schaeffer M., Approches to the filtering of laser scanner data, IAPRS, Vol. XXXIII, Amsterdam, 2000.
- Sapeta K., Have you seen the light? LIDAR technology is creating believers, GEOWorld, oct. 2000.
- Sties M., Krüger S., Mercer B., Schnick S., Comparision of digital elevation data from airborne laser and interferometric sar systems, ISPRS, Vol. XXXIII, Amsterdam, 2000.

Références Internet:

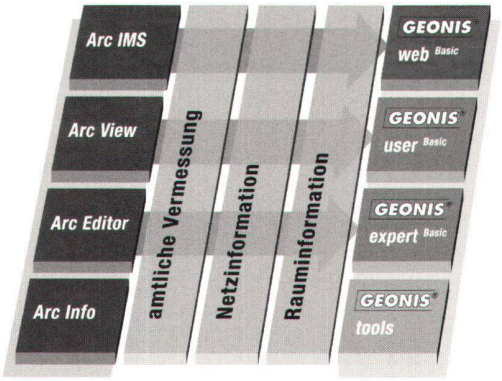
www.airbornelasermapping.com
www.eurosense.com
www.toposys.com
www.tti.fr

Daniel Gnerre
Prof. François Golay
Marc Riedo
Géomatique – Systèmes d'Information à Référence Spatiale
EPFL – DGR
CH-1015 Lausanne
daniel.gnerre@epfl.ch
francois.golay@epfl.ch
marc.riedo@epfl.ch

GEOCOM INFORMATIK AG

GIS von morgen schon heute

GEONIS für ArcGIS als Ergänzung zu den bestehenden GIS-Lösungen für MicroStation / GeoMedia



- GEONIS web die GIS-Abfragestation für die Schweizer Gemeinde im Internet und Intranet.
- GEONIS user die GIS-Abfragestation für die Schweizer Gemeinde.
- GEONIS expert das flexible Netzinformationssystem für die Datenerfassung.
- GEONIS tools z.B. Interlis Studio, Plot Studio

Fachspezifische Lösungen für die amtliche Vermessung, Netzinformation und Rauminformation

Software-Entwicklungen • Geographische Informationssysteme • Hardware/Software/Netzwerke • Beratung/Vorortschulung/Support

Bernstrasse 21 • 3400 Burgdorf • Telefon 034 428 30 30 • Fax 034 428 30 32 • e-mail: Info@geocom.ch • http://www.geocom.ch