



“Die Möglichkeiten
haben keine Grenzen”



**Validierung von satellitengestützten und terrestrischen
Monitoringsystemen für die Messung von Bodenverformungen**

**Deliverable
D.2.02**

**Kriterien wonach die Wahl
für das Methodenset für das
einfache, integrierte und
langfristige Monitoring von
Bodenverformungen
getroffen werden soll**

Datum: 10.2012

Das Projekt SloMove wird vom Programm Interreg IV (FESR) kofinanziert
Europäische territoriale Kooperation Italien-Schweiz 2007-2013

www.SloMove.eu

Danksagung

Dank der Unterstützung von folgenden Körperschaften wurde die Ausführung des Projektes erst ermöglicht:

- Kofinanzierung durch das Interreg-Programm IV europäische territoriale Kooperation Italien – Schweiz 2007 – 2013, Convezion ID 27384220;
- Kofinanzierung durch die Autonome Provinz Bozen;
- Kofinanzierung durch die Europäische Akademie Bozen EURAC
- Kofinanzierung durch das WSL -Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF

Kontakte:

Lead Partner (Management)

Amt für Geologie und Baustoffprüfung, Autonome Provinz Bozen, Südtirol

Eggentalerstrasse 48

I-39053 Kardaun (BZ)

Verantwortliche

Claudia Strada

Tel +39 0471 361564

Fax +39 0471 361512

E-Mail: claudia.strada@provinz.bz.it

Wissenschaftliche Koordination

Institut für Angewandte Fernerkundung Europäische Akademie Bozen EURAC

Drususallee 1

I-39100 Bozen (BZ)

Verantwortlicher

Giulia Chinellato

Tel +39 0471 055396

Fax +39 0471 055389

E-Mail: christian.iasio@eurac.edu

Die Daten und die Informationen, welche in diesem Dokument wiedergegeben werden, zeigen Ideen und Erfahrungen der Autoren. Die Verwaltungsbehörden und Partnerinstitutionen des Projektes sind für die Nutzung der hier wiedergegebenen Informationen nicht Verantwortlich.

Das Projekt SloMove

Die Entstehung des Projektes SloMove beruht auf das Anliegen das heutig technisch zur Verfügung stehende Monitoringpotential für die Messung von Bodenverformungen zu verbinden. Weiters soll es für die Raumreglementierung und -planung eingesetzt werden. Dieses Bedürfnis ist vor allem im grenzüberschreitenden Hochgebirge gefragt, diese Teilen die Sicherung von wichtigen strategischen Verbindungsinfrastrukturen.

Allgemeine Ziele

- Abschätzung von Nutzen und Grenzen von satellitengestützter Radarinterferometrie für das Monitoring von Bodenverformungen im Hochgebirge;
- Optimierung der Monitoringprozeduren indem die durch terrestrischen Methoden erhaltenen Daten zur Validierung der Daten aus satellitengestützter Radarinterferometrie genutzt werden;
- Festigung des Grundwissens der Techniker über die Standardanwendung von SAR- und Geländedaten für das Monitoring von Hangbewegungen.

Spezielle Ziele

- Ausbildung des Personals durch gezielte Fortbildung in die einzelnen Ausarbeitungstechniken von Radardaten und der Implementierung von integrierten Monitoringsystemen, satellitengestützt wie auch terrestrisch;
- Test des integrierten Monitorings auf gut bekannten Untersuchungsgebieten;
- Erstellung eines Protokolls über die Anwendung der Monitoringmethoden (Planung und Prävention). Es sollten die limitierenden Faktoren und Erfordernisse aufgelistet werden, welche in den verschiedenen untersuchten Territorien, vor allem im alpinen Raum auftreten;
- Produktion und Verbreitung der Monitoringmethoden und der Prozeduren für die Anpassung der Verwaltungsverfahren zum Risikomanagement. Dies soll durch das erstellen von Leitfäden und Handbücher für die Techniker der öffentlichen Verwaltung und technischen Büros erfolgen. Dabei soll ein effizienter Informationsfluss garantiert werden zwischen Monitoring- und Planungsphase.

Methoden

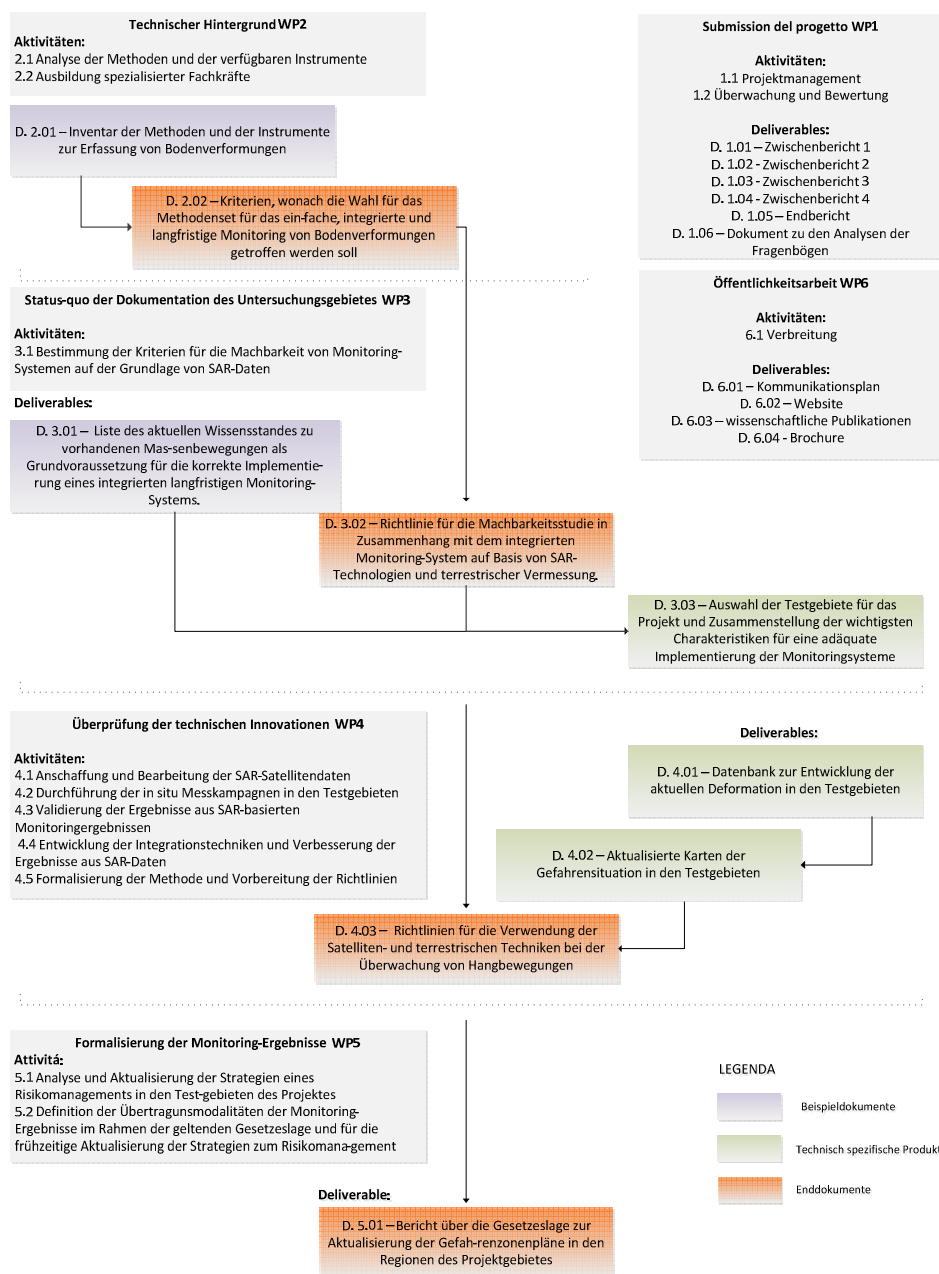
- satellitengestützte SAR Multi-Interferometrie;
- Terrestrial Laser Scanner;
- Differenzieller GPS;
- Auswertung der Daten zwischen Technikern und Administratoren

Dokumentation

Das Projekt besteht aus vier technisch operativen Arbeitspaketen und zwei weiteren Paketen, welche sich um Management und Öffentlichkeitsarbeit kümmern.

Der Fortschritt dieser Aktivitäten wird in vier Zwischenberichten und einem Endbericht wiedergegeben.

Die Produkte aus Forschung, Entwicklung und methodologischer Innovation werden in folgender Weise wiedergegeben: vier Dokumenten bzw. Leitlinien zur generellen Veranschaulichung, zwei Beispieldokumente mit Datenbanken und aktuellen Kartenmaterial des Testgebietes. Die Verbindung zwischen den einzelnen Dokumenten wird im Diagramm dargelegt:



Partner & Autoren

Italien

Lead Partner

Amt für Geologie und Baustoffprüfung
Autonome Provinz Bozen

Volkmar Mair
Claudia Strada
David Mosna

Partner 1

Institut für Angewandte Fernerkundung
Europäische Akademie Bozen EURAC

Christian Iasio
Giulia Chinellato

Schweiz

Partner 3

WSL -Institut für Schnee- und Lawinenforschung
SLF

Marcia Phillips
Robert Kenner

Partner 4

Abenis A.G. Ingenieure und Planer

Andreas Zischg

Inhaltsverzeichnis

1. Vorbemerkung.....	8
2. Aufbau des logischen Diagramms	8
4. Glossar	11
4.1 Kontext der Messungen	11
4.2 Anwendbarkeit	12
4.3 Kostenbestimmungsfaktoren	13

1. Vorbemerkung

Ergänzend zu den Inhalten des Workpackage 2 und unter Verweis auf die Wichtigkeit, die diversen Techniker darüber zu informieren, dass neben den bekanntesten Monitoringtechnologien auch andere Technologien existieren, wird im vorliegenden Dokument ein Verfahren vorgeschlagen, mit dem die Monitoringmethode abhängig von den Erfordernissen des beauftragten Technikers, den technisch-operationellen Einschränkungen jeder einzelnen Messtechnologie und den Untersuchungszielen ausgewählt wird.

Das Auswahlverfahren ist nach einem Entscheidungsablauf aufgebaut, der den Kontext, in dem das Monitoring durchzuführen ist, die Eigenschaften des betreffenden Phänomens und die Kosten der Untersuchung berücksichtigt. Die auf dem Markt verfügbaren Technologien müssen ferner auf der Grundlage der bestehenden Informationen über den gegenständlichen Prozess bewertet und ausgewählt werden.

In dem auf der nächsten Seite aufgeführten logischen Diagramm wurde versucht, die verschiedenen Phasen und Kriterien zusammenzufassen, die es bei der Auswahl der Methoden zur Messung von Verformungserscheinungen in hochalpinen Gebieten zu befolgen gilt. Das Diagramm bezieht sich auf die im Dokument D. 2.01 behandelten Themen und insbesondere auf die **Tabelle 2.01.1**.

Dem Diagramm folgt zum besseren Verständnis ein kurzes Glossar.

Dazu werden folgende Dokumente aufgeführt:

- **Logisches Diagramm - Verfahren zur Auswahl des Methoden-Sets**
- **Glossar**

2. Aufbau des logischen Diagramms

Das auf der nächsten Seite dargestellte logische Diagramm ist das Ergebnis der während des SloMove-Projektes gesammelten Erfahrungen. Das Diagramm dient als Instrument zur Analyse der Faktoren und der Parameter, die für eine korrekte Auswahl geeigneter Methoden zum Monitoring von Bodenverformungen notwendig sind.

Ausgehend vom Kontext, in dem die Messungen durchgeführt werden, insbesondere in Bezug auf die Art des Phänomens und auf das Ziel des Monitorings bei gleichzeitiger Berücksichtigung der verfügbaren

Finanzmittel, wird eine erste Auswahl aus den auf dem Markt verfügbaren Technologien getroffen. Die erste Auswahl erfolgt somit auf der Grundlage der vom Techniker genannten Erfordernisse, auf deren Grundlage die **grundsätzlich anwendbaren Technologien** ermittelt werden.

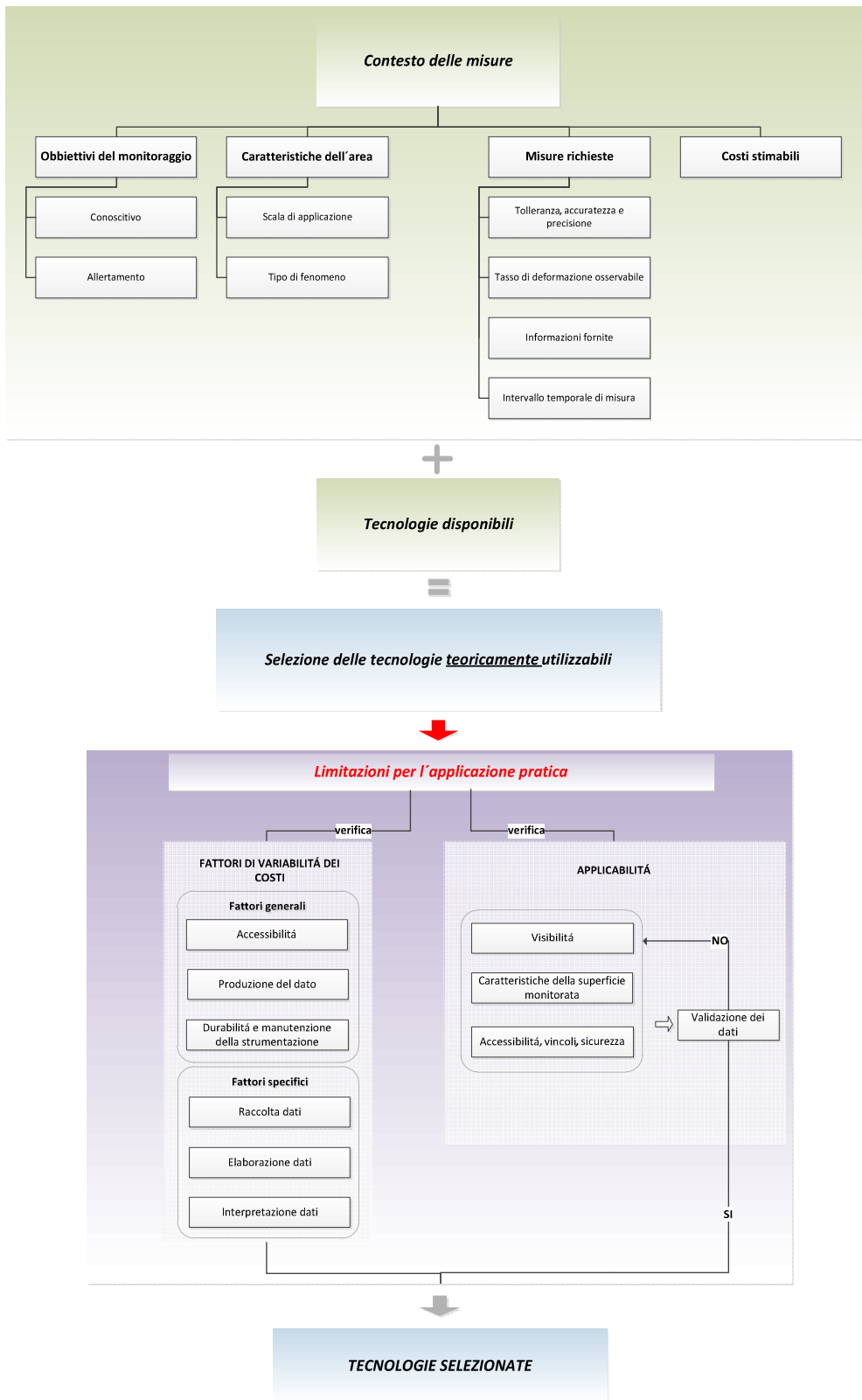
In einer zweiten Phase werden die **Einschränkungen** der ausgewählten Messmethoden in Hinblick auf das gegenständliche Naturphänomen bewertet, und zwar in Bezug auf jene Faktoren, die sich auf die Erstschtzung der Kosten und auf die technisch-operationelle Angemessenheit auswirken.

Die Bewertung der praktischen Anwendbarkeit der ausgewählten Technologien fußt auf der Analyse der Faktoren, die infolge der im Rahmen des SloMove-Projektes durchgeführten Tätigkeiten und Studien als am relevantesten eingestuft wurden: dadurch wurde es möglich, mit hoher Zuverlässigkeit jene Faktoren zu ermitteln, mit denen effektiv die **Auswahl der einsetzbaren Technologien** getroffen werden kann.

Die Bewertung der technischen Anwendbarkeit der ausgewählten Methoden fußt auf den Vorkenntnissen des Untersuchungsgebiets und des gegenständlichen Prozesses: ein Lokalausganschein des Gebiets, mit Ermittlung von Zufahrtswegen und gefährlichen Umständen, und die Sammlung von Daten und Informationen, wie vorhergehende Messungen und thematische Karten, sind für die Auswahl der geeigneten Monitoringmethoden unerlässlich.

Die Definition der allgemeinen und der spezifischen Faktoren, die die Kosten beeinflussen und die gewöhnlich während der Ausführungs- und der Endphasen des Monitorings auftreten, hängen von der Kenntnis und vom tiefgehenden Verständnis der Funktionsweise der gewählten Messmethoden ab.

3. Logisches Diagramm - Verfahren zur Auswahl des Methoden-Sets



4. Glossar

4.1 Kontext der Messungen

- 1. Ziele des Monitorings:** entsprechen den Zielsetzungen der durchgeführten Untersuchungen und somit dem Zweck, zu dem die Messungen durchgeführt werden. Je nach Ziel des Monitorings sind mehr oder weniger geeignete Technologien verfügbar, was insbesondere vom Datenübertragungssystem abhängt. Die Möglichkeit, Daten in Echtzeit zu erhalten, ermöglicht die Einrichtung eines Warnsystems. Die Frühwarnsysteme basieren auf der Verfügbarkeit von Messungen, die in Echtzeit direkt an die im Gebiet tätigen und mit der Überwachung von Gegenständen und Personen beauftragten Techniker übermittelt werden. Ein weiteres Ziel des Monitorings ist die Kenntnis des Naturphänomens, um seine Entwicklung im Laufe der Zeit und etwaige neue Ereignisse zu ermitteln.
- 2. Eigenschaften des Gebiets:** zu dieser Kategorie gehört der Anwendungsmaßstab des Monitorings, wobei zwischen punktueller, lokaler und regionaler Messung unterschieden wird. Auch unter Bezugnahme auf das Dokument D. 2.01 können die aufgelisteten Messmethoden für die Untersuchung einzelner natürlicher Phänomene oder Strukturen, für großräumige Prozesse oder für die Analyse von weiträumigen Gebietsteilen verwendet werden. Ferner muss die untersuchungsgegenständliche Art des Prozesses berücksichtigt werden, vor allem in Abhängigkeit des Verformungs- und des Verbreitungsgrades des Phänomens.
- 3. Erforderliche Messungen:** die Art der Informationen, die man vom Monitoring, in Abhängigkeit der Endziele und Zukunftsperspektiven, erhalten möchte. Zu dieser Kategorie zählen sämtliche Parameter, die für eine korrekte Modellierung und für ein korrektes Verständnis des Naturphänomens notwendig sind, ausgehend von den gelieferten Daten (Geschwindigkeit, räumliche Grenzen und Verformungstrends), die von der Messgenauigkeit, vom Zeitintervall der Datenerhebung und von den beobachtbaren Verformungssätzen abhängen.
- 4. Geschätzte Kosten:** die Schätzung der Kosten für eine bestimmte Messart, die während der anfänglichen Phasen der Programmierung und der Planung eines Monitorings veranschlagt werden können.

Der Endteil des logischen Diagramms beschreibt die wichtigsten Faktoren, welche die Angemessenheit der theoretisch verwendbaren Technologien beeinflussen. Die folgenden Abschnitte enthalten eine kurze Beschreibung der im logischen Bewertungs- und Auswahlprozess der Monitoringmethode berücksichtigten Faktoren, auf der Grundlage der Eigenschaften und der Einschränkungen in Hinblick auf Umwelt und Technologie.

4.2 Anwendbarkeit

- 1. Sichtbarkeit:** hängt von der Art der Technologie ab, nimmt jedoch insbesondere bei den satellitengestützten und den terrestrischen Messungen eine wichtige Rolle ein, da sie die Ergebnisse des Monitorings vollständig oder zum Teil beeinträchtigen kann. Bei der Satelliten-Interferometrie SAR hängt der Parameter der Sichtbarkeit vom Verhältnis zwischen der Satellitenausrichtung (Geometrie) und der Geometrie des zu untersuchenden Hanges ab. Bei anderen terrestrischen Messmethoden, wie TLS, hängt die Sichtbarkeit vom Vorhandensein natürlicher oder künstlicher Hindernisse, von Einflüssen der Schneebedeckung des Bodens und von eventuell vorhandenen Wolken zwischen dem betroffenen Gebiet und dem Messpunkt ab. Bei GPS-Messungen ist es hingegen wichtig, das Vorhandensein von Hindernissen zu bewerten, welche die Sichtweite des Empfängers gegenüber den Komponenten des Globalen Satellitennavigationssystems (GSNS) reduzieren.
- 2. Eigenschaften der überwachten Fläche:** dieser Parameter beeinflusst die Erhebung von Daten mit satellitengestützten und terrestrischen Fernerkundungs-Technologien. Beispielsweise hängt die multitemporale Interferometrie, die sich auf die Verwendung von Elementen auf dem Boden stützt, die zur konstanten Reflexion des Radarsignals tendieren, stark von der Beschaffenheit der Oberfläche (Rauheit, Größe der Streuer bzw. *scatterer*, Oberfläche der Streuer bzw. *scatterer*) und von der Art der Oberflächenbedeckung (schneebedeckt, Wald,...) oder von der Nutzung des Bodens ab, die aufgrund ihrer jahreszeitlichen Schwankungen die Erkennung dieses Signals behindern können. Auch bei der terrestrischen Laserscanning-Technologie beeinflussen die Eigenschaften der überwachten Fläche stark die Messung und beeinträchtigen diese oft sogar: Schnee und Bodenvegetation verhindern die Aufnahme zur Gänze, während die Rauheit der Oberfläche und das Fehlen starker Gegenneigungen (die Schatteneffekte verringern) zu einer höheren Genauigkeit der Messdaten beitragen.

- 3. Zugänglichkeit, Auflagen und Sicherheit:** die Möglichkeit des Zugangs zum Bereich, um die Messungen durchzuführen (beschränkter Zugang, private Bereiche, territoriale Beschränkungen,...) und ein langfristiges Monitoring sicher zu Ende zu bringen.

Validierung der Daten: die Möglichkeit eines Vergleichs von Daten, die diversen Technologien - In-situ- und Fernerkundungen - entstammen, ist im Rahmen einer Präzisionsmessung unerlässlich. Die Messungen unterliegen Fehlern. Durch die Validierung mittels Vergleich unabhängiger Messungen wird die Bewertung des Ausmaßes und eventuell eine Minimierung von Fehlern möglich.

4.3 Kostenbestimmungsfaktoren

Zu dieser Kategorie zählen jene Faktoren, welche eine Erhöhung der Kosten des Monitorings im Vergleich zu den veranschlagten Kosten bedingen, da diese während der anfänglichen Phasen der Planung und der Programmierung schwer einschätzbar sind. Dies trägt natürlich in einigen Fällen dazu bei, dass die Auswahl einiger Messtypologien eingeschränkt wird.

ALLGEMEINE FAKTOREN

Als "allgemein" werden Faktoren bezeichnet, die in allen im Projekt SloMove ausgewählten Technologien (differentielles GPS, TLS und multi-differentielle Interferometrie) gleich sind und mit intensiven Feldarbeiten in Verbindung stehen, welche die anfängliche Kostenschätzung umso mehr verändern können.

- 1. Zugänglichkeit:** der schwierige Zugang zum Gebiet und die für ein sicheres Arbeiten erforderlichen Ressourcen beeinflussen die Wahl der zu verwendenden Technologie stark. Dieser Faktor wird durch Zugangswege, Anfahrtszeiten, Höhe und zu bewältigender Gesamthöhenunterschied, ohne Nutzung von Transportmitteln, ausgedrückt. Die Kosten für ein langfristiges Monitoring hängen auch von der Anzahl der eingesetzten Personen und von der Organisation der Feldarbeit ab; dies wird mit dem für eine einzelne Messkampagne erforderlichen Zeitaufwand ausgedrückt, der größer ist, wenn das zu erreichende Gebiet schwer zugänglich ist, und/oder beim Einsatz mehrerer Personen, wenn die Menge der zu transportierenden Geräte beträchtlich ist. Ein weiteres Beispiel ist die eventuelle Notwendigkeit, vor allem in Höhenlagen ungewöhnliche Transportmittel, wie Helikopter, einzusetzen, was eine beträchtliche Erhöhung der Kosten pro Messkampagne zur Folge hat.

2. **Ausgabe des Messwertes:** diese Position umfasst die für die Verwendung der Geräte und für die Erhebung der Daten (z. B. Satellitenbilder) notwendigen Ressourcen sowie die Kosten für die Ausgabe des Messwertes. Diese Faktoren können, bei der Bewertung der Vorteile einer bestimmten Technologie im Vergleich zu einer anderen, je nach Anzahl der Messpunkte oder der Dauer des Monitorings, bei gleicher Qualität der erwarteten Ergebnisse, variieren. So ist typischerweise der Einsatz von satellitengestützten Fernerkundungs-Technologien in Hinblick auf das Erfüllen von Anforderungen an langfristige Monitorings auf regionaler Ebene, mit einer hohen Anzahl an Messpunkten, vorteilhafter.

3. **Dauerhaftigkeit der Geräte:** die "Beständigkeit" im Laufe der Zeit der für das Monitoring verwendeten Geräte hängt von der Dynamik des Prozesses, von den klimatischen Bedingungen und von etwaigen, vom Menschen oder von anderen Lebewesen verursachten "Störungen" ab. Diese beeinflussen wiederum die Notwendigkeit der Wartung oder des Austausches der Sensoren oder sonstiger Objekte, die für die konstante Beibehaltung der Qualität der Messungen erforderlich sind und die sich auf die Endkosten des Monitoringsystems auswirken.

SPEZIFISCHE FAKTOREN

Zu dieser Kategorie gehören jene Faktoren, die von der eingesetzten Technologie abhängen, mit der Softwareprogramme, Kompetenzen und spezifische elektromechanische Komponenten in Verbindung stehen. Grundsätzlich stehen die Positionen, die beträchtliche Änderungen der geschätzten Kosten bewirken können, mit den Phasen der Sammlung, der Erarbeitung und der Interpretation der Daten in Verbindung.

4. **Datensammlung:** die Art und Weise, wie die Messdaten (in Abhängigkeit der Methode) gesammelt und dem Techniker ausgegeben werden. Ein Beispiel sind Messkampagnen, die aufgrund der Klimabedingungen unterbrochen wurden und wo es notwendig ist, neue Messungen zu planen, die zu einer Erhöhung des Personal- und des Zeitaufwandes im Vergleich zum veranschlagten Aufwand führen.

5. **Erarbeitung der Daten:** wirkt sich auf die Kosten aus, und zwar in Hinblick auf die zu beschaffende Software, auf das beauftragte, qualifizierte Personal und auf die für die Bearbeitung erforderliche Zeit.

6. **Interpretation der Daten:** die für die Interpretation der erhobenen und erarbeiteten Daten notwendigen Tätigkeiten und ihre endgültige Verwendung. Ein Beispiel ist die Notwendigkeit, externe Berater heranzuziehen oder Mitarbeiter in Hinblick auf eine korrekte Interpretation der Ergebnisse, vor allem im Fall eines integrierten Monitorings mit Einsatz unterschiedlicher Technologien, auszubilden.