

# Baustellen-Monitoring – eine interdisziplinäre Aufgabe

Die Digitalisierung und Automatisierung auf den Baustellen hält seit Jahren Einzug. Die Baustellenüberwachung mit seinen vielfältigen Aufgaben und Herausforderungen ist seit über 10 Jahren in einem starken Wandel von manuellen hin zu automatischen Messungen - dem Monitoring. Letzteres wird durch verschiedene Einflüsse begünstigt. Im folgenden Bericht werden aktuelle Entwicklungen und Lösungen von Baustellen-Monitoring aufgezeigt. Schliesslich dient das aktuelle Projekt „Bau 3. Röhre Gubristtunnel“ als hervorragendes Beispiel, wie Monitoring in der Praxis umgesetzt werden kann. Anhand der Erschütterungsmessungen werden exemplarisch die mit dem Projekt verbundenen Aufgaben gezeigt.

## 1 Monitoring - Auswirkungen von Trends

Getrieben vom Mobilitätswachstum wurde in den letzten 10 Jahren viel in den Infrastrukturbau bzw. deren Erneuerung investiert. Gleichzeitig propagiert der Bund verdichtetes Bauen, was zwangsläufig zu engeren Platzverhältnissen und damit zu baulichen und rechtlichen Herausforderungen führt.

Um die Einflussfaktoren auf den Trend der Automatisierung von Messungen, d.h. das Monitoring, zu untersuchen, wird das STEEP-Modell verwendet. Das Modell bezieht nebst dem klassischen STEP-Modell (*sociological, technological, economic and political*) auch noch die ökologische Komponente (E=Environmental) mit ein.

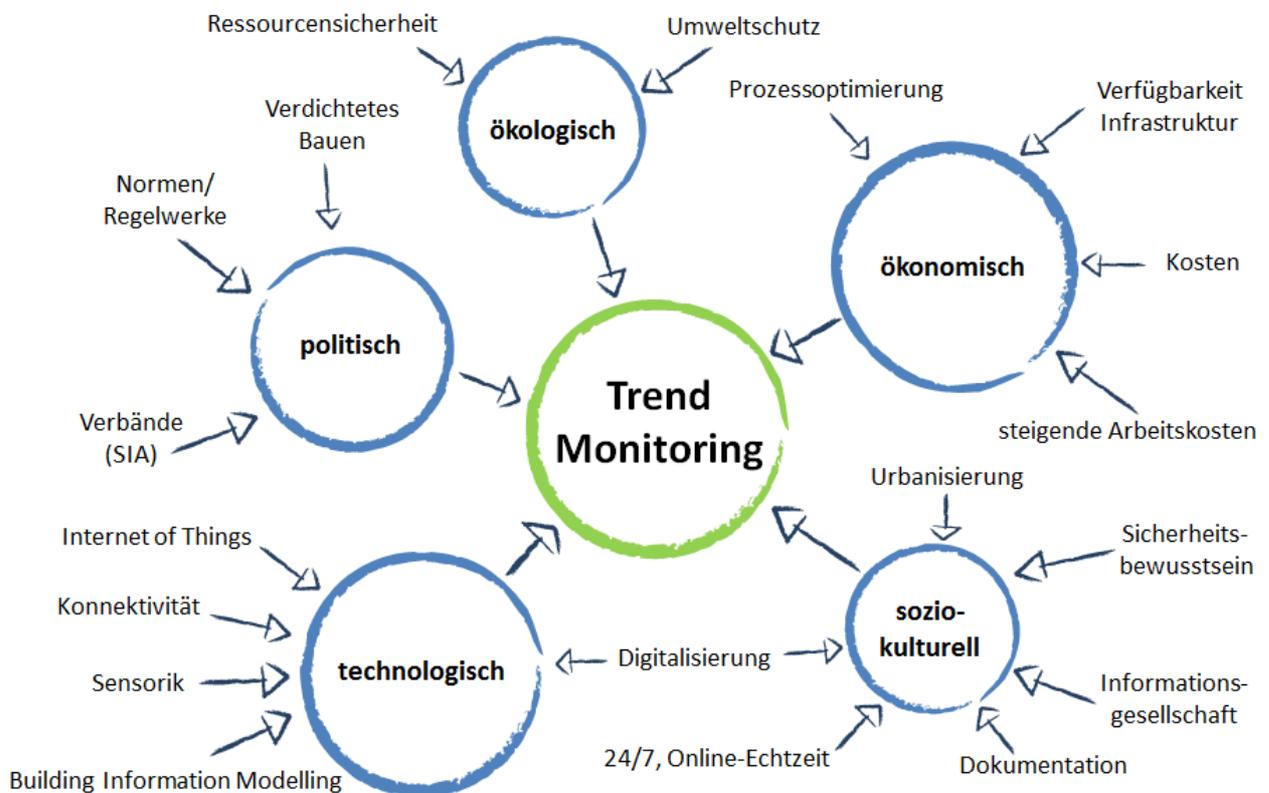


Abb. 1: Trends nach der STEEP-Analyse, wie sie von BSF Swissphoto gesehen wird. Die Faktoren beeinflussen den Trend hin zum vermehrten Monitoring von Baustellen.

Auf der Seite des Baustellen-Monitorings haben sich vor über 10 Jahren Möglichkeiten eröffnet, die zu Beginn durch die technischen Fortschritte vorangetrieben wurden. Es sind dies die Digitalisierung der Sensoren, Konnektivität mit dem Internet of Things (IoT) und kostengünstigere

Sensorik. Schliesslich geht es um Messungen im Feld, auf der Baustelle, im Boden oder an bestehenden Infrastrukturen, die in Echtzeit digital gesammelt, ausgewertet und automatisch analysiert dem Kunden zur Verfügung gestellt werden. Die anfänglichen Trends aus der Technik sind aber längst nicht mehr alleinige Treiber des Monitorings. Auch auf der sozio-kulturellen Seite sind das steigende Sicherheitsbewusstsein und das Bedürfnis nach einer Versicherung gegen Unvorhergesehenes gestiegen. Mit der ständigen Erreichbarkeit ist auch das Bedürfnis nach Echtzeit-Daten des Bauwerks gestiegen.

Auf ökonomischer Seite sind die steigenden Arbeitskosten ein wichtiger Treiber des anhaltenden Monitoring-Trends. Die Schweiz mit ihren hohen Lohnkosten ist prädestiniert, um manuelle Messungen durch automatische zu substituieren. Ab längeren Überwachungszeiten von wenigen Monaten, häufigen Wiederholungsmessungen und/oder der Voraussetzung, dass die betroffenen Bauwerke auch während der Bauzeit ständig verfügbar bleiben müssen (Bahn, Strasse), ist ein automatisches Monitoring naheliegend und kosteneffizient. Durch die erhöhte Datendichte gegenüber manuellen Messungen, die klassischerweise maximal 1 bis 2 mal wöchentlich durchgeführt werden, können Prozessoptimierungen stattfinden. Die Bauingenieure erkennen z.B. die unmittelbare Auswirkung des Ankerspannens auf die Bohrpfahlwand, das Regenereignis wird mit einer Rutschhangbeschleunigung in Verbindung gebracht oder natürliche Bauwerksverformungen (thermische Ausdehnung) können von den Bautätigkeiten separiert werden.

Diese Trends haben bei BSF Swissphoto zu einer Umlagerung von manuellen zu einem immer grösser werdenden Anteil von automatischen Messungen geführt. Die Sensoren stehen im Projektgebiet während Wochen bis Jahren und liefern kontinuierlich aktuelle Messwerte. Auf personeller Seite sind nebst den Fachspezialisten immer mehr Software-Kenntnisse gefragt, diese können teilweise nicht mit demselben Personal abgedeckt werden.

## 1.1 Erfolgreiches Monitoring im Projektverlauf

Welche Wechselwirkungen zwischen dem Bauprozess und dessen Überwachung gibt es im Projektverlauf? Wird dies in Normen vorgeschrieben oder ist es eine Versicherung, die es vorschreibt oder ist die Bauprozessoptimierung der eigentliche Treiber von Monitoring? Nachfolgend ein paar Erfahrungsbeispiele aus aktuellen Projektverläufen mit Hinweis auf die entscheidenden Erfolgsfaktoren, die ein Monitoring für alle Beteiligten zu einem Gewinn machen.

Erfolgsfaktoren	Erfahrungen & Empfehlungen
Normen & Regelwerke, rechtliche Vorgaben	<p>Es gilt, die wichtigsten Normen und Regelwerke im Baustellenumfeld zu kennen. Insbesondere bei den Schallmessungen gibt es eine Vielfalt von Normen, die sehr uneinheitliche Grenzwerte setzen. Hier eine Auswahl an Normen/Regelwerke, die in der Bauüberwachung oft zum Tragen kommen:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Geotechnik – SIA 267 Enthält Grundsätze und Bestimmungen, die in der Geotechnik zu beachten sind. Sie regelt die Anforderungen an die Baugrunderkundung, die Festsetzung der Baugrundwerte und die geotechnischen Berechnungen und Bemessungen.</li> <li>2. Baulärm-Richtlinie – UV-0606-D Gibt keine Grenzwerte, dafür Massnahmen vor, die zu befolgen sind, um den Baulärm zu minimieren.</li> <li>3. Erschütterungen – SN 640 312a Beschreibt praxisnah, welche Objektempfindlichkeiten und Häufigkeitsklassen zu welchen Grenzwerten führen.</li> <li>4. Überwachung Bahntechnik neben Baustellen – SBB I-50009 Regelt die Berechnung der Gleisparameter und Grenzwerte.</li> </ol>

	<p>Als Grundsatz für alle Bereiche kann das strategische Vorgehen aus der SIA 267 genommen werden. Diese besagt, dass bei ungenügender Zuverlässigkeit von Vorhersagen bei Baugrund- oder Tragwerksverhalten die Projektierung nach der Beobachtungsmethode erfolgen kann.</p>
Projektbe- willigung – Einsprachen / Vereinbarungen	<p>In Einsprache- und Vereinbarungsverhandlungen kann der Einsatz von Monitoring-Massnahmen (Messen von Körperschall, Erschütterungen, Deformationen, etc.) einen wichtigen Beitrag zur positiven Vereinbarungsverhandlung leisten. Eigentümer können dadurch beruhigt werden wenn Bauimmissionen objektiv und permanent überwacht werden.</p>
Überwachungs- konzept	<p>Jedem Bauprojekt geht eine Beurteilung der Risiken voran. Das Überwachungskonzept soll dabei folgende Fragen beantworten:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Was sind die Risiken?</li> <li>▪ Welche Grössen müssen gemessen werden?</li> <li>▪ Wie genau muss gemessen werden?</li> <li>▪ Wie oft muss gemessen werden?</li> <li>▪ Wie lange muss gemessen werden?</li> <li>▪ Welches sind die Grenzwerte?</li> <li>▪ Was geschieht bei einer Grenzwertüberschreitung (Alarmierungsablauf und -kontakte)?</li> </ul>
Namens- konvention bei Grenzwertstufen	<p>Es gibt eine Vielfalt von Grenzwert-Bezeichnungen. Während ein Interventionswert bei der Bahn noch nicht der höchste Wert ist, kann ein Bauarbeiter durch diesen Begriff überrascht agieren. In den meisten Bauprojekten hat sich die SBB-Namenskonvention für Grenzwerte etabliert:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ A = Aufmerksamkeitswert</li> <li>▪ I = Interventionswert</li> <li>▪ S = Soforteingriffswert</li> </ul>
Definition Grenzwerte	<p>Bei den zu überwachenden Objekten und der Definition der Grenzwerte müssen Erfahrung und ein vernünftiges Mass (der sogenannte „gesunde Menschenverstand“) einfließen.</p> <p>Es gilt der Grundsatz: Nur Objekte überwachen, die überwacht werden müssen. Ebenfalls analysieren, welche Messgrössen für die Bauwerks- bzw. Umgebungssicherheit entscheidend sind. Schliesslich müssen die Grenzwerte – falls nicht von Normen oder Regelwerken vorgegeben – realistisch gesetzt werden. Dabei müssen die natürlichen Bauwerkeigenschaften miteinbezogen werden.</p>
Vertragsvergabe Monitoring	<p>Die Monitoring-Arbeiten werden nach wie vor häufig den Bauunternehmern als Teil der GU-Dienstleistung übertragen. Zuverlässige Monitoring-Dienstleistungen sind jedoch im ureigensten Interesse des Bauherrn. Aus Unabhängigkeits- bzw. Kontrollüberlegungen sollte darum möglichst auf eine direkte Vergabe zwischen dem Bauherr und den Monitoring-Spezialisten geachtet werden.</p>
Ausschreibung Monitoring- Dienstleistungen	<p>Bei den Monitoring-Dienstleistungen werden häufig BKP-Standardpositionen verwendet, die aus Zeiten stammen, in denen vorwiegend manuelle Messungen an der Tagesordnung waren.</p> <p>Wenn vorgängig definiert wird, welche Messgrössen wie oft, wie genau und über welche Zeit gemessen werden müssen, ist auch das Leistungsverzeichnis für die Ausschreibung leichter zu verfassen. Beim Monitoring sind nicht die Arbeitsstunden entscheidend für die Kostenentwicklung, sondern oftmals die Sensor- bzw. Amortisationskosten der Gerätschaft. Aus diesem Grund ist es wichtig, vor allem die voraussichtliche Betriebszeit im Leistungsverzeichnis abzubilden.</p>

Zeitpunkt Beginn Monitoring	In der Schweiz ist es oft Praxis, dass Überwachungsmessungen erst mit dem Baustart bzw. mit zu wenig Vorlaufzeit beginnen. Dadurch kann das natürliche Baugrund- bzw. Bauwerksverhalten nicht analysiert werden. Die Inbetriebnahme jeglicher Monitoring-Massnahmen sollten mind. 2 Wochen vor Baubeginn stattfinden. Dies ermöglicht die Analyse des natürlichen Bauwerksverhaltens, unabhängig ob es Körperschall oder 3D-Deformationsmessungen sind. Daraus lassen sich Überwachungskonzept-Anpassungen vor Baubeginn ableiten: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Messintervalle: genügen 2 h anstatt 30 Min.?</li> <li>▪ Wie verhält sich das Überwachungsobjekt im Tagesverlauf bzw. bei verändernden Temperaturen?</li> <li>▪ Sind die Grenzwerte sinnvoll oder zu eng gesetzt?</li> </ul>
Datenfilterung	Messungen unterliegen immer einer bestimmten Messgenauigkeit. Bei gewissen Messungen ist es empfehlenswert, auf die Messmethode angepasste Filteralgorithmen anzusetzen. Diese sind so zu wählen, dass sie echte Deformationen möglichst schnell erkennen, andererseits sollen sie Messfehler/Ausreisse ignorieren – ein nicht immer leichter Spagat...
Testalarm	Jeder Alarmierung sollte auch ein Testalarm vorangehen, der von den betroffenen Personen bestätigt werden muss. Dies garantiert eine korrekte Übernahme der Alarmkontakte.
Anzahl Alarmkontakte	Je weniger Alarmierungskontakte, desto besser funktionieren Alarmierungsablaufpläne! Klein- wie auch Grossprojekte tendieren zu komplizierten Alarmierungsschemata. Dabei sollen nur Personen benachrichtigt werden, die sich mit den Messungen auseinandersetzen, diese interpretieren und anpasst handeln können. Die Erfahrung zeigt, dass 3 Personen auf Seiten der Projektbeteiligten ausreicht, um angepasst auf Alarme zu reagieren.
Zugang Monitoring-Daten via Webportal	Sobald Alarme versandt werden, müssen diese in den Kontext des Bauablaufs oder äussere Einflüsse (Niederschlag, etc.) gebracht werden. Diese Zusammenhänge können nur mit einem Monitoring-Webportal wie z.B. <i>SwissMonitor Web</i> sichergestellt werden. Darin sind alle Zeitreihen der Messdaten gespeichert und ermöglichen den Entscheidungs-trägern, die Alarme zu interpretieren und angemessene Massnahmen einzuleiten.
Schlussbericht	Jedes Monitoring Projekt sollte mit einem Kurzbericht abgeschlossen werden. Das ermöglicht den Beteiligten, auch Jahre nach Projektende die Einflüsse auf die Bauwerke einzuschätzen.

Tab. 1: Überblick von Erfolgsfaktoren während einem typischen Monitoring-Projekt.

## 2 Verschiedene Disziplinen - ein Anbieter

Die Bauüberwachung involviert traditionellerweise diverse Fachbereiche und Disziplinen. Folgend sind die wichtigsten genannt:

- Geodäsie
- Geotechnik
- Bauwerksdynamik
- Akustik
- Meteorologie
- Luft- und Wasserqualität

Eine Vernetzung der verschiedenen Disziplinen bietet dem Auftraggeber entscheidende Vorteile:

- + Ein Ansprechpartner für alle Überwachungsmassnahmen
- + Daten können zentral auf einer Datenplattform analysiert werden
- + Alarmierung ist zentral und einheitlich geregelt

Bei Bedarf kann auch auf ein externes Spezialisten-Netzwerk zurückgegriffen werden. Eine der wichtigsten Kompetenzen ist bestimmt die Vernetzung und zentrale Verwaltung der unterschiedlichsten Datenquellen und -inhalte.

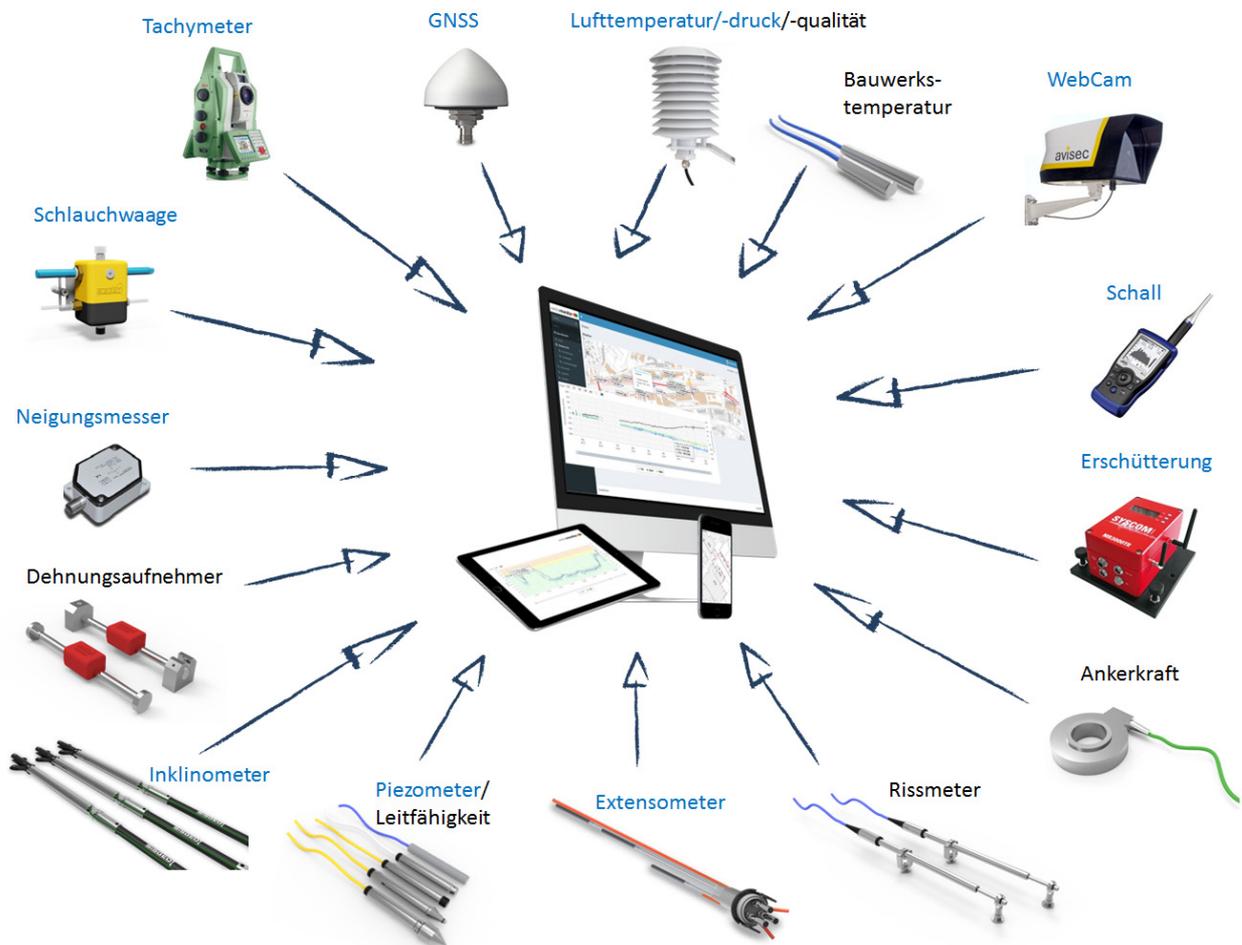


Abb. 2: Übersicht verwendeter Sensoren aus verschiedenen Disziplinen. Alle Sensoren in blauer Schrift sind bereits oder kommen im Bau des 3. Gubristtunnel zum Einsatz. [1]

### 3 Bau 3. Röhre Gubristtunnel A1 Nordumfahrung Zürich

#### 3.1 Projekt-Übersicht

Der 3.3 km lange Gubristtunnel wurde 1985 in Betrieb genommen. Es handelt sich dabei um zwei richtungsgetrennte Tunnelröhren. Den aufgrund des hohen Verkehrsaufkommens vorhandenen Verkehrsproblemen auf der Nordumfahrung Zürich wird mit einem Ausbau und einer dritten Tunnelröhre am Gubrist begegnet. Mit einer Gesamterneuerung sollen Anpassungen an die heutigen Anforderungen, auch bezüglich Sicherheit, vorgenommen werden [1][2].

Es handelt sich um ein aussergewöhnliches Bauvorhaben: Es gibt in der Schweiz keinen zweiten Tunnel mit diesem Ausbruchsdurchmesser im Hartgestein! Der Ausbruchsquerschnitt umfasst knapp 16 Meter. Zum Vergleich: Der Durchmesser der beiden bestehenden Röhren beträgt je 11,45 Meter [1].

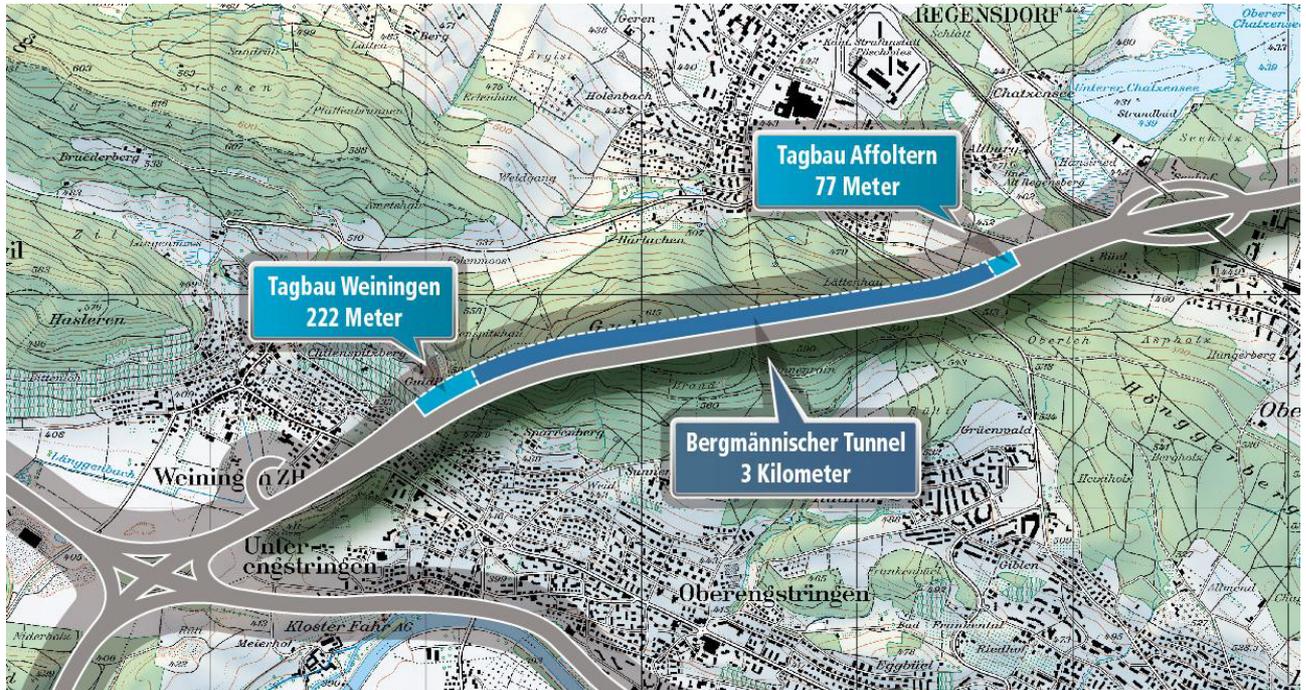


Abb. 3: Projektübersicht der 3. Gubriströhre. [www.nordumfahrung.ch](http://www.nordumfahrung.ch)

Die offene Strecke zwischen dem Limmattaler Kreuz und dem Westportal des Gubristtunnels sowie zwischen dem Ostportal des Gubristtunnel und dem Tagbautunnel Stelzen wird auf durchgehend zwei mal drei Fahrstreifen mit zusätzlichem Pannestreifen ausgebaut. Die beiden bestehenden Gubristtunnelröhren werden nordseitig mit einer neuen, dreistreifen Röhre ergänzt [2].

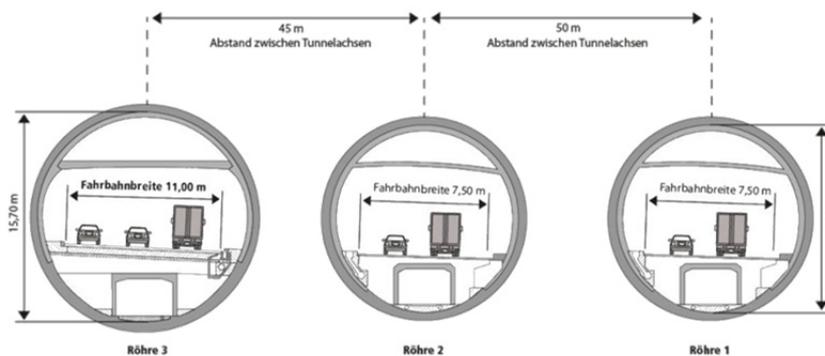


Abb. 4: Tunnelquerschnitte aller 3 Röhren [2].  
Links die neue drei-spurige Röhre.



Abb. 5: Portal Weiningen [2].

### 3.2 Messtechnische Überwachung

Alle Objekte, welche im Einflussbereich der Baumassnahmen einer vorsorglichen messtechnischen Überwachung bedürfen, werden entweder statisch (Zustand vor und nach dem Bau) oder regelmässig bzw. permanent überwacht. Einerseits dienen die unterschiedlichen Messungen dazu, die Auswirkungen der Bauarbeiten auf die Umgebung feststellen zu können und andererseits um auftretende Risiken während der Bauarbeiten zu minimieren. Somit gewährleistet das Bundesamt für Strassen (ASTRA) eine umfassende Überwachung, die bei Erfordernis ein zeitnahes Eingreifen in die laufenden Bauarbeiten ermöglicht [4].

Objekt	Prozesse bzw. Messgrösse	Disziplin/ Sensoren
Best. Tunnelröhre 2	3D-Verschiebungen	Tachymetrie
	Deformation	Extensometer
	Schwingungen	Erschütterungssensoren
Vortriebsröhre	Überwachung Vortrieb	Tachymetrie
	3D-Verschiebungen	Tachymetrie
	Deformation	Extensometer
Baugrube/Portal	3D-Verschiebungen	Tachymetrie
	Deformation Baugrubenwand	Inklinometer
	Grundwasserspiegel Baugrube	Piezometer
Gebäude	3D-Verschiebung	Tachymetrie
	Neigung	Neigungssensoren
	Lage- und Höhenänderung absolut	GNSS
	Höhenänderung relativ	Schlauchwaage
	Schwingungen	Erschütterungssensoren
	Lärm/Körperschall	Luftschallpegelmesser
Strassen/Leitungen	3D-Verschiebung	Tachymetrie
	Setzung	Nivellement
Gleisanlagen Verladebahnhof	3D-Verschiebungen (&Verwindung, Pfeilhöhe etc.)	Tachymetrie
Gelände	Deformation	Nivellement Tachymetrie
Boden	Bodensetzung	Extensometer
Grundwasser Umgebung	Absinken Grundwasserspiegel	Piezometer

Tab. 2: Übersicht der Überwachungsobjekte und die verschiedenen Disziplinen bzw. Sensoren.

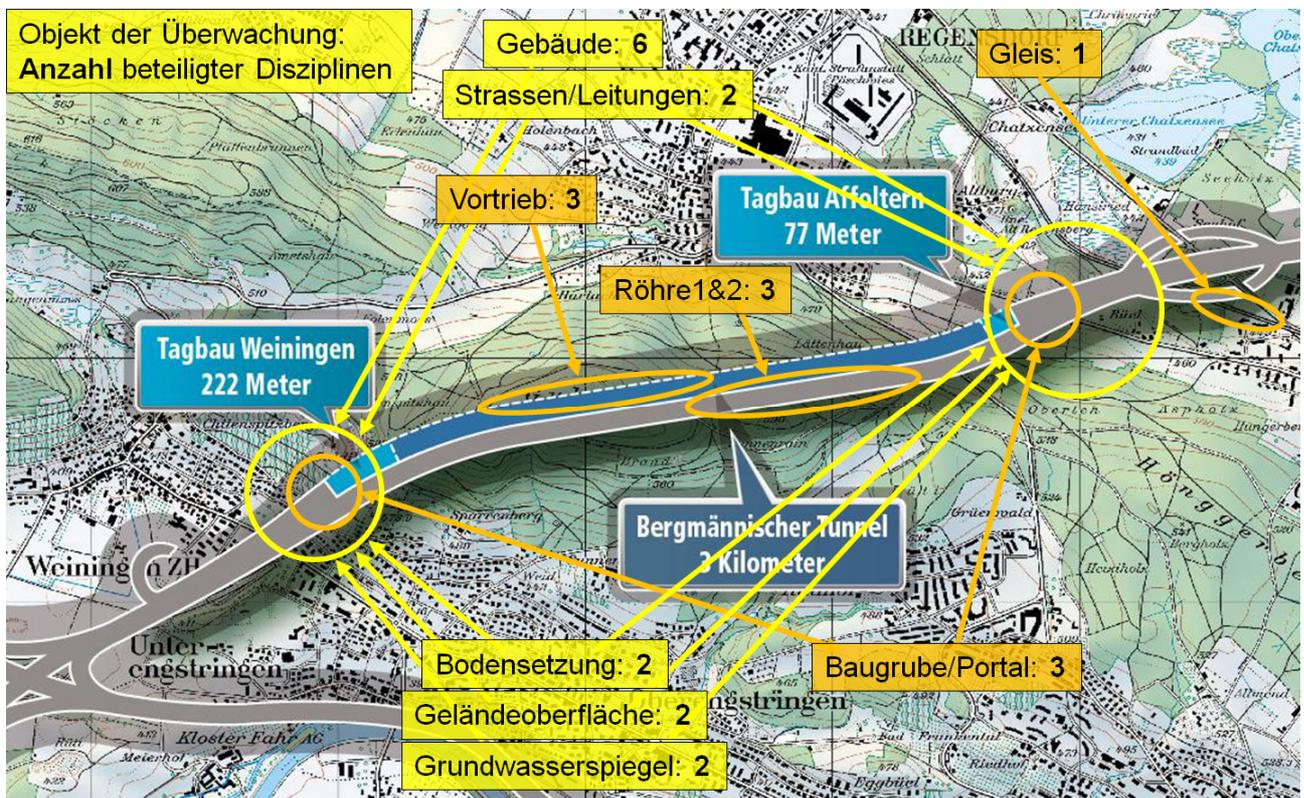


Abb. 6: Räumliche Übersicht über die Überwachungsarbeiten [2].

### 3.3 Erschütterungsmessungen in Gebäuden

Infolge der Ausbau- und Abbrucharbeiten können Auswirkungen durch hervorgerufene Erschütterungen auf die umliegenden Liegenschaften nicht ausgeschlossen werden. Das ASTRA als Bauherr ist gemäss verschiedenen Bestimmungen (Bspw. Art. 111 SIA-Norm 118, PGV-Auflagen etc.) verpflichtet, auf eigene Kosten Beweissicherungsmassnahmen zu treffen [4].

Die Grundlage dazu bilden:

- Schweizer Norm SN 640312:2013 – Erschütterungseinwirkungen auf Bauwerke
- Zustandsaufnahmen vor Baubeginn
- Beweissicherung - Konzept, Zustandsaufnahmen Gebäude
- Beweissicherung/Überwachung, Konzept und Schnittstellendefinition beim konventionellen Vortrieb

Aufgrund der Vorgaben wurden im Portalbereich Weiningen und Affoltern 11 Erschütterungssensoren in betroffenen Liegenschaften installiert. Dabei werden die gängigen Grenzwerte für die Alarmierung aus SN 640312 verwendet:

Dominante Frequenzen	Aufmerksamkeitswert	Interventionswert
0-30 Hz	80%: 16 mm/s	100%: 20 mm/s
30-60 Hz	80%: 16 mm/s	100%: 20 mm/s
>60 Hz	80%: 24 mm/s	100%: 30 mm/s

Tab. 3: Eingesetzte Grenzwerte der 11 Erschütterungssensoren in den betroffenen Liegenschaften.

An 10 von 11 Standorten wurden zudem Schallpegelmessgeräte installiert, welche den abgestrahlten Körperschall innerhalb der Gebäude aufzeichnen.

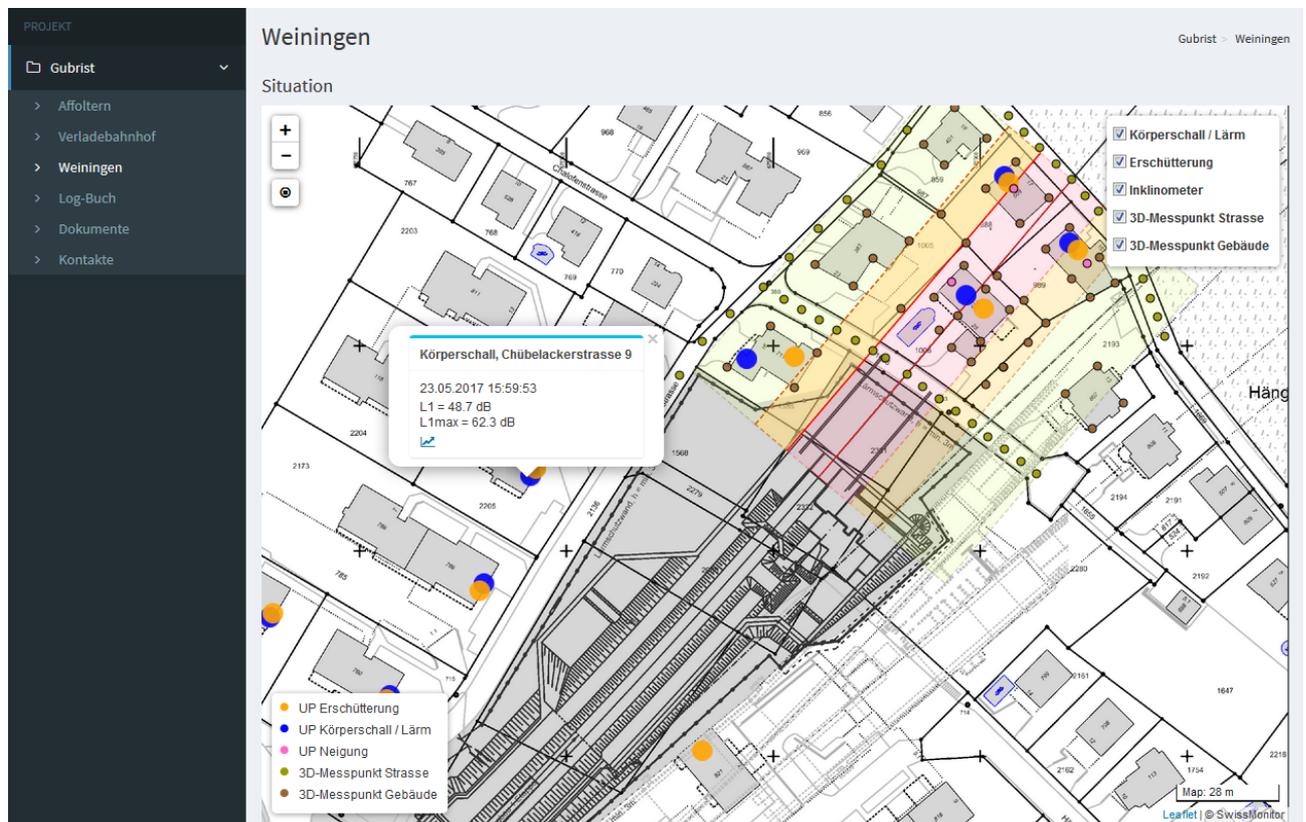


Abb. 7: SwissMonitor Web – Überwachungspunkte Portal Weiningen.



Abb. 8: Erschütterungs- und Luftschallpegelmessungen in Weinigen.

### 3.4 Überwachung Sprengvortrieb

Der Sprengvortrieb für die 3. Röhre des Gubristtunnels darf weder durch Erschütterungen noch durch Lärm bzw. Körperschall die Nutzer der bestehenden Tunnelröhren, die baulichen Anlagen der 1./2. Röhre, die Anlagen der Betriebs- und Sicherheitsausrüstung oder die Umgebung beeinträchtigen oder gar beschädigen [4].

Nach einem Sprengversuch wurden die gemessenen Schwinggeschwindigkeiten und die entsprechenden Frequenzen dargelegt. Für die Mitte der Zwischendecke der 2. Röhre wurden Frequenzen von deutlich über 60 Hz gemessen. Daraus folgt, dass eine Schwinggeschwindigkeit von  $>30$  mm/s als kritisch zu beurteilen ist. Des Weiteren wurde durch den Sprengversuch die kritische Schwinggeschwindigkeit von 30 mm/s lediglich einmal massiv überschritten (100%), ein Wert lag im Toleranzbereich (+10 %) und die übrigen Messwerte zum grossen Teil erheblich unter dem kritischen Wert [4].

Die theoretische Überprüfung der Schwinggeschwindigkeiten auf der Grundlage des Sprengschemas der Offerte, der maximalen Lademenge und dem Erschütterungsgesetz ergibt, dass die kritische Schwinggeschwindigkeit von 30mm/s nicht überschritten wird (max. 19 mm/s bei 30-60 Hz). Durch den Sprengvortrieb in der 3. Röhre müssen die Erschütterungen in der 2. Röhre laufend gemessen und die Ergebnisse unmittelbar nach erfolgter Sprengung den Verantwortlichen des Baustellenbetriebes per Mobilfunk (SMS) mitgeteilt werden [4].

Für die Erschütterungsmessungen ist das „Konzept zur Beweissicherung für konventionellen Tunnelvortrieb“ [5] massgebend. Demnach werden die ersten 6 Messgeräte im Fahrraum des ersten Tunnelabschnitt („Block 5-15“) der 2. Röhre installiert. Dies entspricht ca. 80 m Tunnelvortrieb in der 3. Röhre, wobei mit heutigem Wissensstand die 3. Röhre mit ca. 50 m pro Woche vorgetrieben werden soll. Nach ca. einer Woche (resp. bei Vortriebsstand von 50 m) können die ersten 2 Messgeräte in den nächsten Tunnelabschnitt umgesetzt werden. Nach weiteren 7 Tagen die nächsten 2 Sensoren, usw. Ab „Block 21“ ist die Zwischendecke vorhanden und es wird jeweils ein Messgerät in der Zwischendecke und eines im Fahrraum installiert. Ab

„Block 23“ (ca. 150m) wird der Abstand der Messprofile auf 32 m resp. 4 Blöcke erhöht. Mit total 6 Erschütterungsmessgeräten können jeweils 3 Messquerschnitte à je 2 Sensoren überwacht werden. Nach Auswertung der Erschütterungsmessungen der ersten 200 m kann entschieden werden, ob der Profilabstand bei 32 m belassen oder allenfalls auf 100 m erhöht wird [5] [6].

Die Sensoren im Fahrraum werden mit Wandkonsolen an die Aussenwand zur 3. Röhre hin montiert. Die Sensoren auf der Zwischendecke werden ca. 20 cm vom Gewölbe entfernt auf die Zwischendecke gestellt. Es ist jeweils darauf zu achten, dass die Sensoren auf der Zwischendecke in der Nähe der Abluftklappen aufgestellt werden, damit die Erschütterungen möglichst in der Nähe dieser Klappen beobachtet werden können [6].

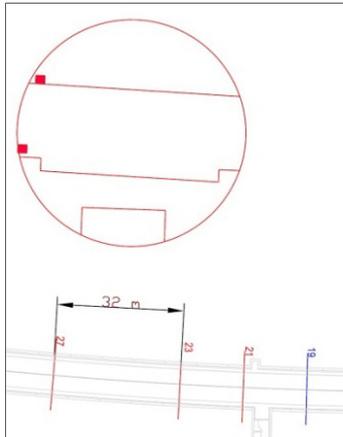


Abb. 9: Platzierung der Erschütterungssensoren im Tunnelprofil (rot) [4]

Abb. 10: Vorbereitungen für Sprengversuche im Jahr 2016 [2]

In diesem Kontext werden innerhalb der „IG Überwachung Gubrist“ von BSF Swissphoto AG folgende Leistungen erbracht [4]:

- Liefern, installieren, vorhalten und betreiben von 10 Erschütterungssensoren
- Für das Umsetzen der Sensoren parallel zum Vortrieb sind insgesamt 52 Sensorumsetzungen vorgesehen
- Betrieb der Sensoren während 24 Monaten

## 4 Ausblick (Erschütterungs-) Monitoring

### 4.1 Trends

Wie wird das (Erschütterungs-) Monitoring in der nahen Zukunft aussehen? Was fehlt heute und wo liegt das grösste technologische Entwicklungspotenzial?

Aktuell sind global zwei recht gegensätzliche Entwicklungsströme sichtbar:

1. Sensor zeichnet nur Daten auf - Logik/Intelligenz wird zentral (Plattform/Server) betrieben
2. Logik vor Ort (autonomer Sensor) und nur Übermittlung von wichtigen Resultaten/Alarmen in die Zentrale

Vermutlich wird sich der 2. Trend durchsetzen, da dessen Vorteile (weniger und effizientere Kommunikation, effizientere Alarmierung, weniger Stromverbrauch, geringere Anzahl an Unbekannten, Benutzerfreundlichkeit etc.) überwiegen.

In Bezug auf das Baustellen-Monitoring sind folgende Entwicklungen denkbar:

- „Komplettlösung Monitoring“ mit der Integration von Erschütterungsdaten
- Autonome Systeme, Sensor-Netzwerke mit intelligenter Kommunikation und Alarmierung
- Vernetzung/Kommunikation von Sensoren aus unterschiedlichen Disziplinen (Stichwort „Sensor-Fusion“)

...und punkto Bauwerksdynamik?

- Denkbar wäre eine automatische Erkennung von Schwingungsmustern und damit eindeutige Zuordnung zu einer Quelle

## **4.2 Monitoring – Die Kunst des „Beobachtens“ und „Kontrollierens“**

Intelligente Sensoren bzw. Systeme können diese Aufgabe künftig selber im Verbund übernehmen, indem sie miteinander kommunizieren und autonom Entscheidungen fällen. Der Mensch greift nur noch dort ein, wo dies unbedingt erforderlich ist, z.B. wenn Probleme auftreten. Alltägliche Phänomene und Probleme lösen diese autonomen Systeme selber und können so auch sehr effizient alarmieren! Die Disziplinen übergreifende Vernetzung von Sensoren wird dazu führen, dass selbst komplexe Abläufe bzw. Veränderungen frühzeitig erkannt und richtig interpretiert werden.

Die künftige Überwachung wird aus unserer Sicht langfristig vermutlich also immer weniger die Sensoren selber, sondern die damit verbundenen Netzwerke, Applikationen und Dienste betreffen. Somit werden sich evtl. die Arbeitsinhalte eines Monitoring-/Messtechnik-Spezialisten langfristig kaum noch von denjenigen eines IT-Spezialisten unterscheiden. Was bleibt: Monitoring bedeutet viel Sensorik und Automatisierung jedoch stets gepaart mit fundierter Fachkompetenz.

Umso wichtiger wird es zukünftig somit sein, die zugrunde liegenden technischen Prinzipien und Daten von Messsystemen zu verstehen bzw. unabhängig überprüfen zu können.

## Quellenangabe

- [1] Bilder von Sensorherstellern
- Leica Geosystems (Tachymeter): [www.leica-geosystems.ch](http://www.leica-geosystems.ch)
  - BSF Swissphoto (GNSS-Empfänger): [www.bsf-swissphoto.com](http://www.bsf-swissphoto.com)
  - WebCam: [www.avisec.ch](http://www.avisec.ch)
  - NTi Audio (Schallpegel): [www.nti-audio.com](http://www.nti-audio.com)
  - Syscom (Erschütterung): [www.syscom-bartec.ch](http://www.syscom-bartec.ch)
  - Sisgeo (Ankerkraft, Rissmeter, Extensio-, Piezo- und Inklinometer, Schlauchwaage): [www.sisgeo.ch](http://www.sisgeo.ch)
  - Kellag (Neigungssensor): [www.kelag.ch](http://www.kelag.ch)
- [2] Offizielle Webseite des Projekts: [www.nordumfahrung.ch](http://www.nordumfahrung.ch)
- [3] Webseite EBP Schweiz AG: <http://www.ebp.ch/de/projekte/gesamterneuerung-gubristtunnel-a1-nordumfahrung-zuerich>
- [4] Bundesamt für Strassen ASTRA, diverse Ausschreibungs- und Projektunterlagen
- [5] Sprengversuch - Beschrieb Versuch, Auswertung und Fazit  
Dokument zur Submission Bauleistungen, Ingenieurgemeinschaft AHB im Auftrag ASTRA
- [6] Konzept Erschütterungsmessungen Betriebsröhre 2, IG Überwachung Gubrist, c/o BSF Swissphoto

## Autoren

### **Martin Rub**

Projektleiter Ingenieurvermessung  
BSF Swissphoto AG  
Dorfstrasse 53  
8105 Regensdorf-Watt  
[martin.rub@bsf-swissphoto.com](mailto:martin.rub@bsf-swissphoto.com)

### **Christian Schmid**

Projektleiter Geomonitoring  
BSF Swissphoto AG  
Dorfstrasse 53  
8105 Regensdorf-Watt  
[christian.schmid@bsf-swissphoto.com](mailto:christian.schmid@bsf-swissphoto.com)