

(numerische Berechnungen), um weitere Aufschlüsse über die sehr komplexen mechanischen Vorgänge im Gebirge während eines Tunnelvortriebes zu erhalten.

Die Forschungsarbeiten werden vom Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (FWF) unterstützt und gefördert.

Schlußbemerkungen

Der Ausbau im bereits eingestellten Vortriebsort sollte in schlechten Gebirgsverhältnissen möglichst weich gestaltet werden, da die in späterer Folge bei der Annäherung des Gegenvortriebes und beim Durchschlag auftretenden zusätzlichen Verschiebungen bei einem steifen Ausbau mit großer Wahrscheinlichkeit zu Brucherscheinungen führen würden.

Die beachtliche Längserstreckung der Verschiebungen im Bereich des ruhenden Vortriebes lassen auch auf großräumige plastische Deformationen des umgebenden Gebirges schließen.

Zur rechtzeitigen meßtechnischen Erfassung des eingestellten Vortriebes sollte das Meßintervall in schlechten Gebirgsverhältnissen bei einer Restpfeilerstärke von min-

destens 20 m dem Gegenvortrieb angepaßt werden. Der Meßbereich sollte zumindest 35 m hinter die Ortsbrust des eingestellten Vortriebes reichen. Die Erfassung der vorauseilenden Verformungen in situ sowie deren Längsentwicklung wäre bei der Interpretation von geotechnischen Messungen von großem Wert.

Quellennachweis

1. Vavrovsky, G. M.: Die räumliche Setzungskontrolle - Ein neuer Weg in der Einschätzung der Sicherheit. In: *Mayreder Zeitschrift* (33), 1988.
2. Vavrovsky, G. M.: Bedeutung der vortriebsorientierten Auswertung geotechnischer Messungen im oberflächennahen Tunnelbau. In: *Forschung + Praxis*, Nr. 32, 1988.
3. Bergmair, M ; Stadlmann, Th.: *Baugeologische Dokumentation am ÖBB-Tunnel Galgenbergtunnel*. Büro Dr. Furlinger, Österreichische Bundesbahnen.
4. Schubert, W. ; Golser, J. ; Schwab, P.: Weiterentwicklung des Ausbaues für stark druckhaftes Gebirge. In *dieser Ausgabe*.
5. Steindorfer, A. F. ; Schubert W. ; Rabensteiner: Problemorientierte Auswertung geotechnischer Messungen. Neue Hilfsmittel und Anwendungsbeispiele, in: *Felsbau* 13 (1995), Nr. 6, S. 386-390.

Weiterentwicklung des Ausbaus für stark druckhaftes Gebirge

Von Professor Dr.-Ing. Wulf Schubert, Professor Dr.-Ing. Johann Golser und Ing. Peter Schwab

Beim Vortrieb von Tunneln in Störungszonen treten häufig rasche und heftige Verformungen während und nach dem Ausbruch auf. Im alpinen Raum findet man solche Verhältnisse häufig in Phylliten, Tonschiefern, Tonen, Mergeln und tektonisch stark beanspruchten Gneisen. Die mit den heftigen Verformungen einhergehende starke Beanspruchung und oftmals auch Zerstörung des Ausbaus stellt für die Tunnelbauer seit jeher eine große Herausforderung dar.

Zahlreiche mehr oder weniger taugliche Systeme zur Beherrschung großer Hohlraumrandverschiebungen wurden in der Vergangenheit entwickelt und eingesetzt. Bei den früher im Tunnelbau üblichen Holzeinbauten blieb meist nur ein häufiges Nachreißen und Auswechseln des Ausbaus. Im Bergbau hingegen wurden schon früh nachgiebige Ausbausysteme eingesetzt. Diese bestanden zum

Der erstgenannte Autor ist Vorstand des Institutes für Felsmechanik und Tunnelbau der Technischen Universität Graz, der zweitgenannte ist Vorstand des Institutes für Geomechanik, Tunnelbau und Konstruktiven Tiefbau der Montanuniversität Leoben, der drittgenannte ist Geschäftsführer der Arbeitsgemeinschaft Galgenbergtunnel und Prokurist der Stettin Bauunternehmung Hoch- und Tiefbau Ges.m.b.H., Leoben.

Beispiel aus Vielgelenksrahmen mit Quetschhölzern (1) oder aus Betonsteinen mit Holzzwischenlagen (2). Bedingt durch Einflüsse des Gefüges führten die oft über Monate anhaltenden Verformungen in vielen Fällen zu stark asymmetrischen Verdrückungen der Tunnel und Stollen. Ein großes Problem stellte in jener Zeit zusätzlich zum sogenannten echten Gebirgsdruck auch die Entstehung der Auflockerung über der Firste dar, welche besonders beim Nachnehmen von verdrückten Strecken äußerst unangenehm war.

Versuche, dem Gebirgsdruck mit schweren, starren Ausbauten standzuhalten, scheiterten in der Regel. Bilder elementarer Zerstörung solch starrer Einbauten sind aus der Literatur zur Genüge bekannt.

Ende der Vierzigerjahre propagierte Rabcewicz die sogenannte Hilfgewölbbebauweise (3), welche durch ein satt am Gebirge anliegendes schlankes Betongewölbe, einer Isolierung und ein nach Abklingen der Formänderungen eingebrachtes Innengewölbe aus Beton charakterisiert war (Bild 1). Für Strecken mit schwerem Gebirgsdruck sah er eine Nachgiebigkeit in Form von in die Auskleidung eingebauten Quetschkörpern vor.

Der Fortschritt in der Spritzbetontechnologie in den Fünfzigerjahren ermöglichte eine weitgehende Vermeidung der Gefügeauflockerung. In Kombination mit einer Ankerung konnten viele Tunnel, welche mit herkömmlichen Mitteln als druckhaft eingestuft worden wären, ohne Probleme hergestellt werden. Besonders Erfahrungen im Tunnelbau mit geringer Überlagerung in den späten Sechzigerjahren ließen viele, auch erfahrene Tunnelbauer glauben, daß mit einer dünnen Spritzbetonschale und frühzeitigem Ringschluß auch zuvor gefürchtete sogenannte schwere Druckstrecken mit nur wenigen Zentimetern Radialdeformation beherrscht werden können.

Derzeitige Praxis

Beim Nordvortrieb des Tauerntunnels (1971 bis 1974) wurde Gebirge angetroffen, bei welchem durch den Ausbruch wesentlich größere Deformationen auftraten, als die Spritzbetonschale mitmachen konnte. Es wurde rasch erkannt, daß trotz aller Verbesserungen der Stützmittel bei hohen Überlagerungen und schlechtem Gebirge ein für die Auskleidung erträgliches Maß an Deformation technisch und wirtschaftlich nicht zu erzielen war. Konsequenterweise wurde die Spritzbetonschale durch Kontraktionsschlitze in einzelne Längsstreifen zerlegt (4, 5). Diese Lösung führte zu nicht unerheblichem internationalen Aufsehen und blieb auch innerhalb Österreichs nicht unumstritten.

Die überaus positiven Erfahrungen am Tauerntunnel sowie in weiterer Folge am Arlbergtunnel, Karawankentunnel und Inntaltunnel ließen diese Ausführung zumindest im alpinen Raum zum Standard für die Beherrschung stark druckhaften Gebirges werden.

Eine Detailverbesserung der Lösung wurde am Inntaltunnel durch die Abschaltung der Deformationsschlitze erreicht (6). Dadurch wurden ein unkontrolliertes Überschieben der Schlitzränder vermieden und die Möglichkeit geschaffen, bei Bedarf durch Füllen der Schlitze mit Spritzbeton eine erhöhte Normalkraftübertragung durch die Schale zu erreichen (Bild 2).

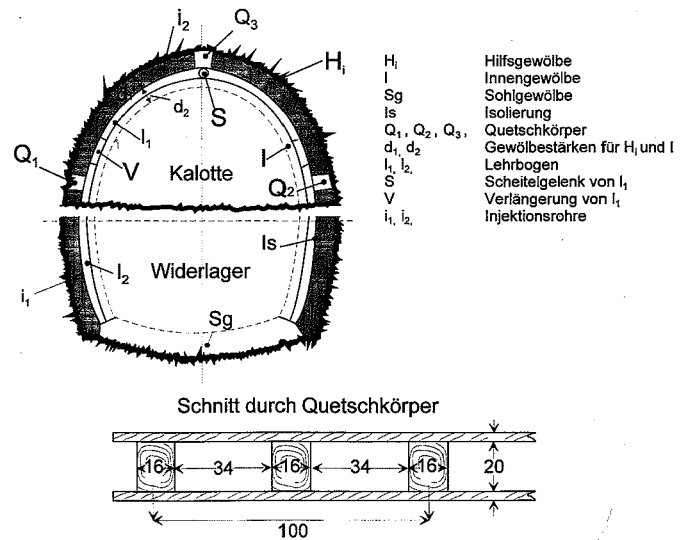


Bild 1 Hilfgewölbebauweise mit Quetschkörpern nach Rabcewicz (3).

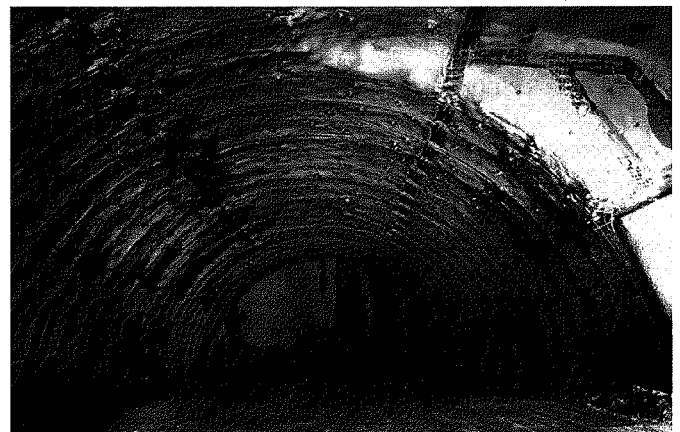


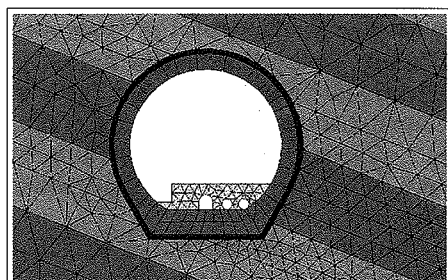
Bild 2 Ausführung der Deformationsschlitze am Inntaltunnel.

Die Radialverschiebungen des Hohlraumrandes beim Inntaltunnel variierten in der Großstörung des Nordvortriebes auf einer Länge von rund 1 800 m zwischen 200 und 1 100 mm. Die Unterschiede in den Verschiebungen

Verbundplan

TAUERPLAN Consulting GMBH

Rainerstraße 29 Tel: ++43-662-8682-2215
 A-5020 Salzburg / Austria Fax: ++43-662-88950-64



Kompetenz im Tunnelbau

Langjährige Erfahrung bei Planung und Baumanagement im Untertagebau

Alles aus einer Hand:

- Generalplanung
- Baugeologie
- Statik und Felsmechanik
- Baumanagement
- Bauwerksüberwachung
- Beratungen, Gutachten
- Sanierungskonzepte

waren überwiegend auf den Grad der Tektonisierung des sonst weitgehend gleichen Gebirgstyps zurückzuführen.

Bei allen oben genannten Anwendungen ist es trotz großer Deformationen nie zu einem plötzlichen Versagen des Gebirges gekommen. Vereinzelt beobachtete Verbrüche beschränkten sich in der Regel auf ein räumlich sehr begrenztes Versagen der Ortsbrust. Zur Beherrschung der Ortsbrust wurde diese gelegentlich auch geankert.

Erfahrung am Galgenbergtunnel

Große Deformationen in der sogenannten Hinterbergstörung zwangen auch hier zur Auflösung der Schale. Das verfolgte Konzept war jenem des Inntaltunnels vergleichbar. Im Gegensatz zur Störungszone des Inntaltunnels wurden in der Hinterbergstörung verschiedene Gebirgstypen in rascher Wechselfolge angetroffen. Stark unterschiedliche Steifigkeiten der einzelnen oft im selben Querschnitt angetroffenen Gebirgstypen führten zu einem sehr schwer voraussagbaren Deformationsverhalten. Scheinbar besseres Gebirge zeigte häufig ausgeprägt langandauernde Deformationen. In den meisten Fällen waren diese Langzeitverformungen der steiferen Bereiche wahrscheinlich auf eine Überbeanspruchung infolge Spannungsumlagerung von den weicheren zu den steiferen Bereichen zurückzuführen.

Abgesehen von der schwer bestimmbar Menge der endgültig einzubauenden Stützmittel und der überaus schwierigen Abschätzung des erforderlichen Übermaßes bewährte sich der Ausbau auch in der Hinterbergstörung. Wenige Meter vor Erreichen des Endes der Hinterbergstörung ereignete sich plötzlich im Vortriebsbereich der Kalotte ein Verbruch, ohne daß bemerkenswerte Anzeichen das Ereignis angekündigt hätten. Die Plötzlichkeit des Verbruches überraschte alle mit druckhaftem Gebirge vertrauten Fachleute. Die Ursachenfindung gestaltete sich schwierig, da auf Erfahrungen mit Ereignissen dieser Art nicht zurückgegriffen werden konnte.

Während die Untersuchungen noch andauerten, näherte sich der Vortrieb Jassing-Ost der sogenannten Haberlstörung, welche vom Gebirgsverhalten her als noch ungünstiger eingestuft worden war als die Hinterbergstörung. Es

galt, eine Vorgangsweise zu wählen, welche eine Wiederholung der Ereignisse bei der Hinterbergstörung mit großer Wahrscheinlichkeit ausschloß.

Als gesichert galt zu diesem Zeitpunkt, daß die durch die häufigen Steifigkeitswechsel im Gebirge hervorgerufenen unangenehmen Spannungskonzentrationen in den steiferen Bereichen einen nicht unwesentlichen Beitrag zur Plötzlichkeit des Verbruches beigetragen haben. Durch eine möglichst starke Begrenzung der Verformungen im Vortriebsbereich sollte eine Reduzierung der Spannungskonzentrationen in den steiferen Bereichen erreicht werden.

Bei der Aufarbeitung des Verbruches war darüber hinaus beobachtet worden, daß Anker, welche bereits mehr als zwanzig Stunden vor dem Ereignis versetzt worden waren, teilweise aus der Vermörtelung gezogen worden waren. Neben anderen möglichen Ursachen für ein solches bisher nicht beobachtetes Versagen wurde angenommen, daß der Verbund zwischen Anker und jungem Mörtel durch große Deformationen nachhaltig gestört würde. Es sind keine Untersuchungen bekannt, welche sich mit dieser Thematik auseinandersetzen.

Bewältigung der Haberlstörung

Einvernehmlich wurde zwischen dem Bauherrn, dem Unternehmer und den Beratern ein Vortriebskonzept ausgearbeitet, welches in der Haberlstörung zum Einsatz kommen sollte. Im einzelnen sah dieses Konzept vor:

- ▷ Verringerung der Kalottenhöhe auf 4,50 m zur Erhöhung der Ortsbruststabilität,
- ▷ Dadurch bedingt zwei Strossen mit Einzelabbauhöhen von rund 2,50 m,
- ▷ Einbau des Sohlgewölbes rund 80 m hinter der Ortsbrust der Kalotte,
- ▷ Erhöhung des Widerstandes der Spritzbetonschale durch Stauchelemente,
- ▷ Verwendung von nachverpreßbaren Ankern, um den eventuell gestörten Verbund zwischen Ankern und Mörtel jederzeit wiederherstellen zu können.

An verschiedenen Stellen wird zwar seit Jahren an der Entwicklung für kontrolliert deformierbare Elemente zum Einbau in Tunnelschalen, insbesondere für Tübbinge, gearbeitet, ein praxistaugliches System war bisher allerdings noch nicht zu vertretbaren Kosten verfügbar. Mehrere Varianten wurden diskutiert, darunter auch Schaumstoffeinlagen. Als wirkungsvollste und einfachste Lösung haben sich in Umfangsrichtung eingebaute, zu Gruppen zusammengefaßte Elemente aus Stahlrohren herausgestellt. Erste Versuche am Institut für Felsmechanik und Tunnelbau an der Technischen Universität Graz verliefen äußerst zufriedenstellend. Zum Abbau der relativ hohen Lastspitze vor dem Beginn des Beulens wurde der Querschnitt durch Bohrungen geschwächt. Der Stauchwiderstand der Rohre schwankte zwischen 100 und 200 kN, je nach Stadium der Faltenbildung (Bild 3). Weitere Varianten mit unterschiedlichen Rohrdimensionen und Art der Schwächung wurden am Institut für Geomechanik, Tunnelbau und konstruktiven Tiefbau an der Montanuniversität Leoben durchgeführt.

Für den Einsatz im Tunnel wurden die einzelnen Rohre mit Stirnplatten zu einem Element verbunden, das gleichzeitig als Schalung für die Deformationsschlitzte diente. Die

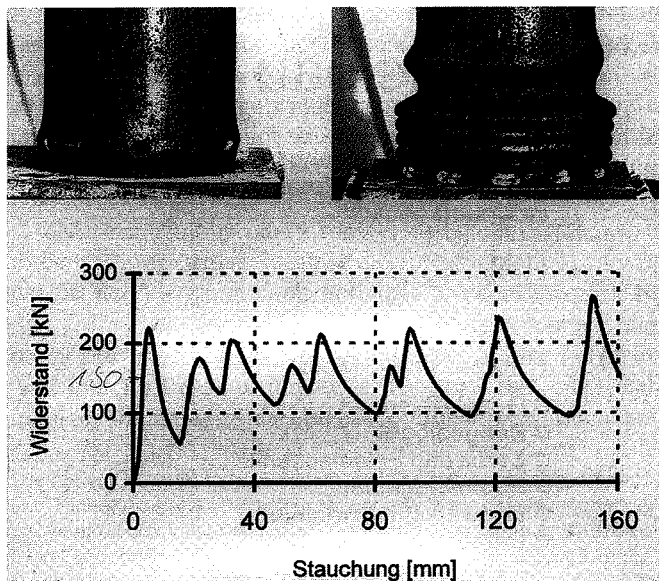


Bild 3 Stauchelement im Laborversuch.

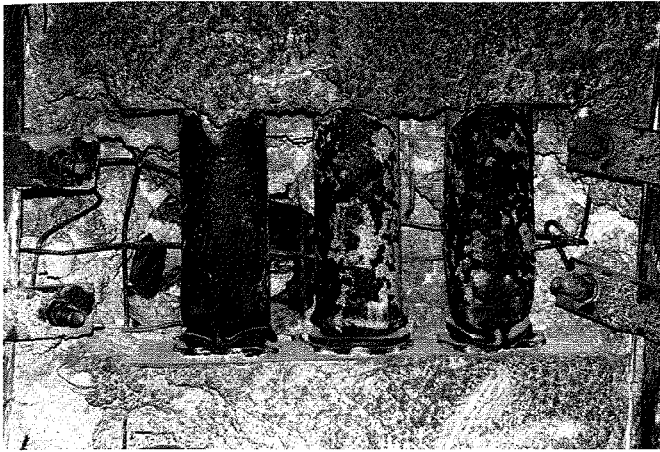


Bild 4 In die Spritzbetonschale integrierte Stachelemente nach etwa 120 mm Stauchung.

Feinabstimmung auf die Beanspruchbarkeit des Spritzbetons erfolgte auf der Baustelle durch Variation der Anzahl und Stärke der Stahlrohre. Als gut geeignet erwies sich ein Element aus zwei Stahlrohren, ($d = 132 \text{ mm}$, $t = 4 \text{ mm}$) mit einem anfänglichen Stauchwiderstand von rund 500 kN, der mit zunehmender Verformung auf rund 800 kN ansteigt (Bild 4).

Neue Wege wurden auch in der Ankerung der Kalotte beschritten. Da erhebliche Konvergenzen im Bereich der Haberlstörung zu erwarten waren, wurden nachverpreßbare Injektionsbohranker IBI 38/51 der Gruber DübelAnker GmbH, Seesen-Rhüden, in den Längen 8 und 10 m eingesetzt. Ebenso wurde das Gebirge vor der Kalottenbrust mit 20 m langen IBI-Ankern vergütet.

Gegenüber herkömmlichen Injektionsbohrankern zeichnet sich der IBI-Anker durch innenliegende Muffen aus, was einen über die gesamte Ankerlänge gleichbleibenden Außendurchmesser gewährleistet. Dies gewährleistet einen guten Austrag des Bohrkleins und einen verbesserten Injektionserfolg. Nachverpreßmöglichkeiten sind jeweils an den Muffen gegeben. Details über das Ankersystem und Ergebnisse von derzeit laufenden Versuchen am Institut für Felsmechanik und Tunnelbau der Technischen Universität Graz über das Verhalten von vermörtelten Ankern in druckhaftem Gebirge sind in (7) zu finden.

Erfahrungen mit dem neuen Ausbau

Ab etwa Station 1 755 im Vortrieb Jassing-Ost wurde der Vortrieb auf das neue System umgestellt. Begonnen wurde mit einem dichten Ankerraster (320 m/m), 30 cm Spritzbeton und vier Schlitzen mit Stachelementen. Nach den positiven Erfahrungen auf der Anfangsstrecke wurde die Ankerdichte in der Kalotte bald auf rund 200 m/m reduziert. Dasselbe System wurde auch auf den letzten 50 m des Vortriebes Leoben eingesetzt.

Äußerst positiv wirkte sich die modifizierte Vorgangsweise auf das Verformungsverhalten aus. Die Firstsetzungen am ersten Tag nach dem Ausbruch variierten nur gering zwischen 20 und etwas über 40 mm. Die Endsetzungen schwankten über einen Bereich von rund 350 m, in dem die geänderte Vorgangsweise zum Einsatz kam, zwischen 80 und maximal 200 mm. Nachankerungen waren im gesamten Bereich nicht nötig. Das zur Aufnahme der Gebirgsdeformation nötige Übermaß reduzierte sich be-

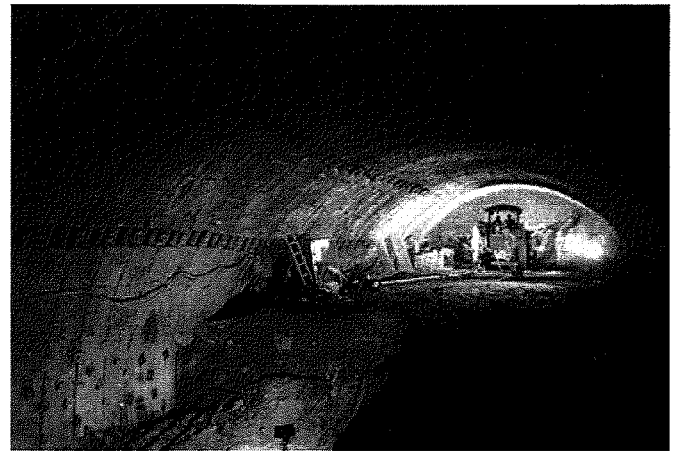
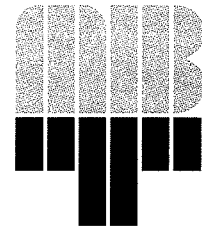


Bild 5 Vortrieb in der Haberlstörung.

trächtlich. Überdies waren die Größenordnung der Enddeformation durch das gleichmäßigere Verformungsverhalten leichter abschätzbar. Das sonst häufig erforderliche kostspielige Nachprofilieren in Störungszonen entfiel vollkommen (Bild 5).

Die Vortriebsgeschwindigkeit über den etwa 350 m langen Bereich betrug im Mittel etwa 1,5 m je Tag. Hauptfaktoren für die gegenüber herkömmlichen Bedingungen etwa halbierte Vortriebsgeschwindigkeit ist zu einem guten Teil auf den Mangel an einem leistungsfähigen Tunnelbagger mit niedriger Bauhöhe zurückzuführen. Solche Geräte sind derzeit am Markt nicht erhältlich. Ein anderer



DER SPEZIALIST AM SPRITZBETON- SEKTOR

MBT Austria GesmbH Verkauf und Technische Büros:

Bauchernische Produkte
Zentrale und Verwaltung
Untere Hauptstraße 3
A-2326 Lanzendorf
Telefon 02235/475 75-0
Fax 02235/421 29

WIEN, NÖ u. BGLD
A-2326 Lanzendorf
Untere Hauptstraße 3
Tel. 02235/475750
Fax 02235/42129

KÄRNTEN
A-9500 Villach
Bildstöckstraße 18
Tel. 04242/42065
Fax 04242/44126

OBERÖSTERREICH
A-4060 Leonding
Wegscheiderstraße 25
Tel. 0732/81060
Fax 0732/8106922

SALZBURG
A-5071 Wals/Siezenheim
Bayernstraße 391
Tel. 0662/654240
Auto 0663/613267
Fax 07240/8422

STIEFMARK
A-8101 Gratkorn
Industriezentrum 50
Tel. 03124/22367
Fax 03124/22253

TIROL
A-6020 Innsbruck
Exlgasse 20a
Tel. 0512/292082
Fax 0512/29208315

VORARLBERG
Mobiler Kundendienst
Tel. 0663/9256489
Fax 0512/29208315

