

Wettbewerb



Solarschiffahrt und Tagesmobilitätpässe zu gewinnen,
gestiftet von Aare Seeland mobil

Was weisst du über die Mobilität?

Tagtäglich sind wir unterwegs: wir gehen zur Schule, in die Disco, in die Badi, zu Freunden, in den Lebensmittelläden, ins Trainingslager, auf die Schulerreise usw. Was braucht es, damit wir schnell und bequem von Ort zu Ort gelangen? Wie gut kennst du dich in der Mobilität aus? Teste dein Wissen und gewinne einen attraktiven Mobilitätspreis! Alle Preise werden von Aare Seeland mobil gespendet. Der Wettbewerb ist bis zum 15. November 2009 offen.

Hauptpreis: Solarschiffahrt

Du erhältst den weltweit grössten Solarkatamaran und einen Kapitän. Du kannst deine Freunde und Familienangehörige damit während zwei Stunden auf dem Bielersee herumfahren: Charterfahrt mit dem mobi-cat ab Biel nach Vereinbarung (exklusiv Verpflegung).

Fünf weitere Preise: je 2 Tagesmobilitätpässe

Seilbahnen, Schiffe, Züge, Busse – du kannst einen Tag lang zu zweit das ganze Netz der Aare Seeland mobil ausprobieren und auskosten.

www.satw.ch/wettbewerb

SATW

Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften
Académie suisse des sciences techniques
Accademia svizzera delle scienze tecniche
Swiss Academy of Engineering Sciences

a+ Mitglied der
Akademien der Wissenschaften Schweiz

Die Mobilität von morgen



Autos mit Zukunft

Umweltbewusste Flitzer

Vollautomatische Bahnen

Solarschiffahrt und Tagesmobilitätpässe
zu gewinnen



◀ Sieht die Mobilität von morgen so aus?
 ▶ Motorenprüfstand der EMPA: Hier werden energieeffiziente Motoren und neue Treibstoffe getestet.

Motoren und Treibstoffe für das Auto von morgen

Heute kann man sich ein Leben ohne Auto gar nicht mehr vorstellen. Man fährt damit zur Arbeit, ins Shopping Center oder in die Ferien. Doch wie sieht das in Zukunft aus?

Gibt es im Jahr 2030 überhaupt noch Autos? Um diese Frage zu beantworten, begeben wir uns nach Dübendorf, in der Nähe von Zürich. Dort treffen wir an der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA) Dr. Patrik Soltic von der Abteilung Verbrennungsmotoren: «Autos wird es auch noch in 20 Jahren geben. Wie diese ausschauen, hängt jedoch sehr stark davon ab, wie sich die Energiepreise entwickeln. Noch sind die Preise tief. Doch dies kann sich schnell ändern. Denn Erdöl gibt es nur begrenzt und die Nachfrage danach steigt immer weiter, vor allem aus Riesenländern wie China und Indien, deren Bewohner sich Autos immer mehr leisten können. Je stärker nun der Energiepreis steigt, desto höher ist der Anreiz, verbrauchsarme Autos herzustellen und zu kaufen.»

Treibstoff aus Holz

In Zukunft – so die Sicht von Patrik Soltic – werden neue Antriebssysteme wie etwa Elektromotoren dort eingeführt, wo sie sinnvoll sind und

die Primärenergie (also konkret der Strom) verfügbar ist. Der Verbrennungsmotor wird aber auch in absehbarer Zukunft die dominierende Antriebsmaschine bleiben. Patrik Soltic plädiert für eine Vielfalt der Treibstoffe und nennt eine der attraktiven Varianten: Erdgas bzw. Biogas. Der Hauptbestandteil ist Methan. Wird dieses verbrannt, um dann beispielsweise ein Auto anzutreiben, entsteht zwar auch Kohlendioxid, aber viel weniger als im Vergleich zu Benzin und Diesel. Und Patrik Soltic nennt

«Je stärker der Energiepreis steigt, desto verbrauchsärmer werden die Autos.»

einen weiteren Vorteil. Biogas lässt sich auch in der Schweiz aus Abfallstoffen – ohne Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion – herstellen und muss nicht nur importiert werden. Quelle für das Biogas können Grünabfälle, Gülle und all das Holz sein, das heute noch ungenutzt in den Schweizer Wäldern vermodert. Patrik Soltic schätzt, dass mehr als 10 Prozent des Treibstoffs, der heute in der Schweiz verbraucht wird, schon bald Biogas aus einheimischer Produktion sein könnte.

Bus mit Hybridantrieb?

Autos wird es also auch noch im Jahr 2030 geben. Aber wohl nicht mehr einfach «das» Auto. Wir werden mit unterschiedlichen Treibstoffen fahren. Und wir werden auch mit unterschiedlichen Antrieben fahren. Für lange Strecken eignen sich reine Verbrennungsmotoren. Da zeigt

diese Antriebsart – im Gegensatz zum Einsatz in der Stadt – einen guten Wirkungsgrad. Im Stadtverkehr dagegen bewältigt ein Elektromotor beziehungsweise ein Hybrid das dauernde Anhalten und Anfahren viel effizienter. Hybride könnten also auch eine attraktive Alternative für Busse des öffentlichen Verkehrs sein.

CO₂ – der etwas andere Schadstoff

Nachdem für Schadstoffe wie Stickoxiden oder Feinstaub Grenzwerte festgelegt wurden, richtet sich nun der Fokus auf Kohlendioxid – CO₂. Der Ausstoss an CO₂ soll begrenzt werden, um den negativen Auswirkungen des Klimawandels entgegen zu wirken. Die Europäische Union etwa plant ab 2012 Autohersteller zu büssen, wenn die verkauften Neuwagen zu viel CO₂ ausstossen. CO₂ ist jedoch

kein Schadstoff im klassischen Sinn und lässt sich deshalb auch nicht einfach durch einen Filter oder einen Katalysator aus den Abgasen entfernen. CO₂ entsteht bei jeder Verbrennung von kohlenstoffhaltigen Treibstoffen. So produziert auch der menschliche Körper diesen Stoff, wenn er Energie gewinnt, denn die menschliche Nahrung besteht aus Kohlenstoffverbindungen. Eine Reduktion des CO₂-

Ausstosses lässt sich also nur verwirklichen, wenn der Treibstoffverbrauch gesenkt werden kann.





Michelle, Raphi, Anastasia und Fabian lassen sich von Roger Riedener und Felix Wagner die Konstruktion des Monotracers zeigen.



Schnittige Flitzer mit Umweltbewusstsein

Auto, Motorrad oder Velo – in der Welt von heute sind wir viel mit diesen Fahrzeugen unterwegs. Doch viele Firmen entwickeln auch neue Formen, wie beispielsweise Kabinenmotorräder. Schülerinnen und Schüler der Kantonsschule Zürcher Oberland haben ein Kabinenmotorrad ausprobiert.

Es ist ein Motorrad und doch kein Motorrad. Oder vielleicht eher ein Flugzeug auf der Strasse. Der Vergleich ist gar nicht so abwegig. Denn die Kabinenmotorräder der Firma Peraves aus Winterthur sind mit viel Wissen aus der Fliegerei gebaut. Die Kabine ist leicht und dennoch sehr stabil und extrem aerodynamisch. «Unsere Fahrzeuge erreichen einen Wert $C_w \times A$ von 0,18. Das ist sensationell. Beim Smart liegt er bei 0,70 und beim Sportwagen Porsche Cayman bei 0,66», meint Roger Riedener von Peraves. C_w ist ein Mass für die Windschlüpfrigkeit eines Körpers. A steht für die Stirnfläche des Körpers. Da in Kabinenmotorrädern der Beifahrer hinter und nicht neben dem Fahrer sitzt, ist die Stirnfläche im Vergleich zu Autos sehr klein.

Spass und gutes Gewissen

Windschlüpfrigkeit ist eine gute Nachricht für die Umwelt, weil sie tiefen Verbrauch verspricht. Erst recht mit einem Elektrofahrzeug, das Strom aus CO_2 -neutraler Produktion bezieht. Deswegen sieht Roger Riedener die Zukunft der Kabinenmo-

torräder elektrisch. «Fahren mit einem Elektrofahrzeug macht Spass und ist gut fürs Gewissen. Selbst eingefleischte Motorradfahrer mit «Benzin im Blut» lassen sich begeistern. Die Beschleunigung mit dem Elektromotor ist unglaublich und es fährt sich so ruhig. Man hört sogar Vogelgezwitscher.» Und wegen des tiefen Verbrauchs können solche Fahrzeuge auch problemlos 200 bis 300 Kilometer weit fahren bis die Akkus wieder aufgeladen werden müssen. Zum Laden der Akkus ist keine spezielle Infrastruktur nötig. Es reichen Haushaltssteckdosen mit 380 Volt, an die üblicherweise Waschmaschinen und Kochherde angeschlossen sind. Der Ladevorgang für die Akkus dauert rund eine Stunde.

Künftige Mobilität ist vielseitig

Kabinenmotorräder sind eine Möglichkeit, wie wir künftig mobil sein können. Roger Riedener nennt auch gleich noch eine andere Alternative und erklärt, warum Autos aus seiner Sicht in Innenstädten fehl am Platz sind: «Autos benötigen zum Beispiel fürs Parkieren viel Platz. Der wird in In-

nenstädten aber immer knapper. Elektroroller wie der Segway als Beispiel finde ich viel sinnvoller. Wir waren in Los Angeles und mieteten uns diese Elektroroller. Schnell und bequem waren wir mobil.» Ein Segway fährt auf zwei Rädern, die im Unterschied zu einem Velo

nicht hintereinander, sondern nebeneinander angeordnet sind. Der Fahrer steht auf einer Plattform zwischen den Rädern und steuert mit einer Lenkstange. Segways sind nun auch in der Schweiz zugelassen. Die Mobilität der Zukunft kann sehr vielseitig werden.

«Hinter- statt nebeneinander sitzen: Kabinenmotorräder sind extrem aerodynamisch.»

Kabinenmotorrad im Schülertest



«Es war ein geniales Gefühl als wir auf der kleinen Spritztour von 0 auf 100 km/h beschleunigt haben. Das hätte ich bei diesem Fahrzeug nicht gedacht.» Michelle

«Fahrfeeling, gutes Design und umweltfreundlich – alles vereint in einem Fahrzeug. Der einzige Kritikpunkt ist der hohe Preis.» Raphi

«Das Fahrgefühl entspricht dem eines richtigen Töffs. Es macht richtig Spass.» Fabian



▲ Gummipneu an den Rädern gegen das Rutschen im steilen Gelände
 ► Die Leitzentrale der führerlosen U-Bahn



▲ Haltestelle im steilen Gelände
 ► m2 auf eigener Bahnbrücke unter dem Pont Bessières



Die vollautomatische U-Bahn von Lausanne

Steil und hügelig ist die Stadt Lausanne, also keine einfache Topografie für den Ausbau des öffentlichen Verkehrs. Man entschied sich für eine unterirdische und vollautomatische Bahn.

In Lausanne hat die Zukunft der Mobilität bereits begonnen, denn seit dem 27. Oktober letzten Jahres ist die m2 – abgekürzt für Métro 2 – in Betrieb. Sie fährt vom Ufer des Lac Léman über den SBB-Bahnhof und das Stadtzentrum hinauf auf die Hügel von Lausanne. Auf der Strecke von knapp sechs Kilometern überwindet sie 338 Höhenmeter. 90 Prozent der Strecke verläuft unterirdisch. Somit ist die m2 eine richtige U-Bahn – übrigens die einzige in der Schweiz. Warum hat sich Lausanne für eine U-Bahn entschieden? «Wir brauchten eine neue Nord-Süd-Achse für den öffentlichen Verkehr. Lausanne ist aber steil und hügelig und die Strassen bieten wenig Platz. So entstand die Idee einer U-Bahn», erklärt der Projektleiter der m2, Marc Badoux, die Gründe für den Bau der m2. «Mit der m2 haben wir ein eigenes und direktes Trassee.

Mit Pneus den Berg hoch

Damit die m2 auch bei einer Steigung von 12 Prozent nicht ins Rutschen kommt, haben die Zugskomponenten Gummipneu an den Rädern. Zahnräder oder ein Seil, wie dies andere steile

Bahnen haben, braucht sie hingegen nicht. Zudem werden die oberirdischen 10 Prozent der Strecke im Winter beheizt – kein Glatteis hindert die m2 beim Vorwärtskommen.

Die unterirdische Streckenführung alleine macht die m2 jedoch noch nicht zu einem zukunftsweisenden Fortbewegungsmittel. Sie fährt auch vollautomatisch. Da sitzt kein Fahrer, keine Fahrerin im Steuerstand. Die Züge werden aus einer Leitzentrale überwacht und gesteuert. «Für U-Bahnen, die ein eigenes Trassee haben, ist das die Zukunft», meint Marc Badoux. «Punkto Sicherheit haben sich die vollautomatischen Systeme bewährt und sie sind sehr flexibel. Haben wir beispielsweise wegen eines Sportanlasses einen Ansturm, können wir sehr schnell zusätzliche Züge einsetzen.» Ohne Menschen funktioniert die m2 allerdings nicht. «Wir haben Mitarbeitende an allen Stationen. Diese helfen Passagieren und können bei technischen Problemen sofort eingreifen.»

Dank dem vollautomatischen Betrieb kann die m2 während den Stosszeiten im 3-Minuten-Takt

fahren und eine beachtliche Durchschnittsgeschwindigkeit von 18 km/h erreichen. Das tönt nach wenig – zum Beispiel im Vergleich zu Hochgeschwindigkeitszügen. Für den Stadtverkehr ist das aber ein guter Durchschnitt, vor allem wenn man daran denkt, wie steil Lausanne ist.

Grosse Baustelle mitten in der Stadt

Gebaut wurde an der m2 während insgesamt viereinhalb Jahren. Spatenstich war im Frühling 2004. Anfang 2006 ging die Zahnradbahn «la Ficelle» nach fast 130 Jahren ausser Betrieb. Die Bahn führte bis vom Seeufer hoch ins Zentrum der Stadt. Die m2 ersetzt sie und benutzt auch deren Tunnel. Der Bau der m2 gestaltete sich sehr herausfordernd. «Wir hatten eine sehr grosse Baustelle mitten in der Stadt», so Marc Badoux. Man schuf nahe der Oberfläche eine komplett neue Infrastruktur. Die Bauarbeiten

durften die bestehenden Gebäude und Strassen aber nicht gefährden.

In Zukunft auch ein Tram für Lausanne

Im ersten Halbjahr hat die m2 zehn Millionen Passagiere befördert. Das sind mehr als 70 000 pro Tag. Nicht wenig, vor allem wenn man bedenkt, dass die Stadt Lausanne rund 120 000 zählt, mit der Agglomeration rund 250 000. Der Ausbau des öffentlichen Verkehrs geht in Lausanne weiter. Trolleybuslinien, die heute schon zwei Drittel der jährlichen Passagierkilometer zurücklegen, werden verstärkt. Zudem soll auf der Ost-West-Achse eine m3 entstehen. Da es in diese Richtung viel weniger steil ist als von Norden nach Süden, muss nicht unterirdisch gebaut werden. Man will ein oberirdisches Verkehrsmittel setzen, das es früher bereits schon gab – Lausanne bekommt ein klassisches Tram.



Studium «Verkehrssysteme»

Die Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften führt neu einen Bachelorstudiengang in «Transport und Verkehr»
www.engineering.zhaw.ch/vs

Ingenieure sind bei Bahnunternehmen gefragte Leute. Der Bauingenieur Daniel Nadig arbeitet als «Leiter Bau und Infrastruktur». Er ist zuständig für Geleise, Weichen, Bahnhöfe, Brücken und weitere Bahnbauwerke.

«Freude am Planen und Umsetzen gehört zum Beruf»

Der Beruf als Bauingenieur ist sehr vielseitig und deshalb sind Leute wie ich auch bei Bahnunternehmen gefragt. Für meinen jetzigen Arbeitgeber, die Aare Seeland mobil AG, bin ich für den Unterhalt, die Instandstellung und den Ersatz der bahntechnischen Anlagen zuständig. Dazu gehören der gesamte Fahrweg (alle Gleise und Weichen samt Unterbau), alle Bauwerke (zum Beispiel Brücken) und auch die Immobilien (zum Beispiel Bahnhöfe). Unser Bahnnetz weist eine Länge von 57 Kilometern auf und zählt 52 Haltestellen. Wir bedienen die Regionen Oberaargau/Solothurn und Seeland mit 180 000 Einwohnern – so viele wie etwa in der Stadt Genf wohnen.

Den eingeschlagenen Weg durchziehen

Ich besuchte in Bern-Neufeld das Gymnasium. Als technisch begabter und interessierter Schüler schloss ich mit der Matura Typus C ab – so hiess damals die mathematisch-naturwissenschaftliche Richtung. Anschliessend war der Weg zur ETH sozusagen vorgegeben. Dies alles lief damals fast wie automatisch ab. In einer Broschüre las ich über die

möglichen Studienrichtungen und entschied mich für das Studium zum Bauingenieur, da mich Brücken und Hochhäuser sowie Bauten aus Stahlbeton und Stahlbau faszinierten. Detaillierte Kenntnisse über das Studium hatte ich nicht. Dennoch war es eine gute Wahl. Heutzutage haben die Jugendlichen zwar viel mehr Informationen über die unterschiedlichsten Studienangebote. Dies macht die Wahl des richtigen Fachs aber auch nicht einfacher. Wie die Wahl auch ausfällt, aus meiner Sicht ist es wichtig, dass man das Studium dann auch durchzieht. Ein Studienabschluss eröffnet immer viele Möglichkeiten.

Fürs Studium ging ich nach Lausanne an die EPFL. Die frankophone Umgebung gefiel mir und von Bern aus liegt Lausanne nahe – näher als die ETH in Zürich. Die Diplomarbeit schrieb ich im Bereich Stahlbau. Meine erste Stelle trat ich in Monthey im Kanton Wallis an. Diese Stelle hatte mir mein Diplomvater vermittelt. Ich arbeitete im technischen Büro und betreute von Anfang an Projekte. Als Statiker berechnete ich beispielsweise Druckleitungen

wie sie für Wasserkraftanlagen eingesetzt werden. Diese Berechnungen dienten für Offerten wie auch für die Ausführung der Projekte.

Arbeiten in der Schweiz und im Ausland

Anschliessend zog es mich ins Ausland. Für eine deutsche Beratungsfirma war ich unter anderem für die Bauüberwachung von Projekten im Ausland zuständig. Diese Projekte führten mich nach Lateinamerika, beispielsweise in die Dominikanische Republik oder nach Guatemala. In Guatemala steht denn auch das grösste Projekt, an dem ich je mitarbeiten konnte, – eine 300-MW-Wasserkraftanlage. Zum Vergleich: In der Schweiz haben von rund 14 000 Wasserkraftanlagen nur rund ein halbes Dutzend eine Leistung von 300 MW oder mehr. Mit der Familie ging es dann wieder zurück in die Schweiz, aber auch wieder für acht Jahre ins Ausland. Zwischenzeitlich war ich auch selbstständig und führte zusammen mit Partnern ein Ingenieurbüro. Seit 2001 bin ich

nun bei der Bahnunternehmung Aare Seeland mobil AG.

Für das Bauingenieur-Studium sollte man technisch begabt sein und analytisch denken können. Zudem ist 3-D-Denken wichtig, denn als Bauingenieur muss man sich alles, was gebaut werden soll, zuerst im Kopf räumlich vorstellen können. Zudem sollte man Freude am Planen und Ausführen von Bauten haben, aber auch an technischen Normen. Diese helfen bei den Projekten und sorgen für die Leitlinien. Besonders im Bau und Unterhalt von Eisenbahnlinien ist vieles sehr stark normiert. Schön am Beruf des Bauingenieurs finde ich die Vielseitigkeit, dass man Projekte von A bis Z, d.h. von der

Planung über die Ausschreibung bis zur Ausführung, betreuen kann.

«Ein Studienabschluss eröffnet immer viele Möglichkeiten.»

AHA!



Wie funktioniert ein E-Bike?

Noch gibt es nicht viele E-Bikes auf den Schweizer Strassen. Doch wer schon mal einem Velofahrer zugeschaut hat, der mit seinem E-Bike eine Steigung hochfuhr, staunte nicht schlecht. Einfach, easy, ohne Anstrengung. Wie geht das?

Herzstück eines E-Bikes ist ein Elektromotor, welcher den Velofahrer beim Treten unterstützt. Was wir hier E-Bikes nennen, heisst für den Fachmann «Pedelec» (verkürzt für den englischen Begriff Pedal Electric Cycle). Im Gegensatz zu einem Töffli, fährt der Pedelec nämlich nicht von alleine. Man muss in die Pedale treten. Der Pedelec verfügt – neben robusten normalen Velokomponenten wie einem Rahmen oder Rädern – über einen Elektromotor und ei-

nen Akku, welcher den Strom liefert, sowie über Steuerelektronik und Sensoren.

Wie wird der Motor eingeschaltet? Dazu bekommt die Steuerelektronik ein Signal eines Sensors. Dieser ist entweder ein Kraftsensor, welcher die Kraft des Velofahrers auf das Pedal erfasst, oder ein Schwellwertschalter, welcher die Drehbewegung der Pedale misst. Für die Steuerung während der Fahrt braucht es zusätzlich einen Sensor, der die aktuelle Fahrgeschwindigkeit ermittelt. Aus den Signalen berechnet die Steuerung die Unterstützung, welche der Elektromotor dem Velofahrer geben soll. Die meisten Pedelecs haben mehr als einen Unterstützungsmodus. Ist man fit, will man weniger Unterstützung, ist man schlapp, braucht man mehr. Auswählen kann der Velofahrer die Unterstützungsmodi meistens über ein Display, das an der Lenkstange befestigt ist. Das Display zeigt auch Weiteres an, beispielsweise wie stark der Akku noch geladen ist.

«Langsamere» Pedelecs fahren bis 25 km/h. Es genügt eine normale Velovignette. Mit den schnelleren «Speed Pedelecs» sind höhere Geschwindigkeiten möglich. Dann brauchts allerdings auch eine Mofanummer – und den entsprechenden Führerausweis.

Wie funktionieren Elektromotoren?
Mehr dazu findest du unter www.simplyscience.ch
(AHA/Dossier Antriebssysteme)



Links

Formula-Hybrid-Team

Studierende der ETH Zürich kreieren ein Hybridfahrzeug für Fahrspass und Umweltbewusstsein
www.formula-hybrid.ethz.ch
Kolumnen der Studierenden zum Bau des Fahrzeugs unter
www.simplyscience.ch (AHA/Dossiers)

Antriebssysteme und Treibstoffe

Wie funktionieren Motoren? Welche Treibstoffe gibt es? Was sind ihre Vor- und Nachteile?
www.simplyscience.ch (AHA/Dossiers)

Biotreibstoffe – Chancen und Grenzen

Informationsbroschüre der SATW
www.satw.ch (Publikationen/Schriften)

Erdölknappheit und Mobilität in der Schweiz

Informationsbroschüre der SATW
www.satw.ch (Publikationen/Schriften)

Durchmesserlinie

Alles rund um den Bau des zweiten unterirdischen Durchgangsbahnhofs im Hauptbahnhof Zürich
www.durchmesserlinie.ch

Mobilität und Verkehr in der Schweiz

Statistische Informationen
www.bfs.admin.ch (Themen/Mobilität und Verkehr)

Ausstellungen

Strassenverkehrshalle

Neue zweigeschossige Halle im Verkehrshaus der Schweiz: Schaulager, interaktives Autotheater, Themeninseln zu Sicherheit, Nutzverkehr, Berufswelt Auto und Visionen im Wandel, zudem Verkehrsgarten und Strassenbauarena.
www.verkehrshaus.ch

Ecocar-Expos

Energie-effiziente Fahrzeuge besichtigen und Probe fahren, teilweise mit Sonderschauen zur Elektromobilität: 12. Sept. Glarus, 13. Sept. Bern, 17.–19. Sept. Winterthur, 19. Sept. Fällanden, 26. Sept. Horgen, 27. Sept. und 8.–11. Nov. Zürich
www.e-mobile.ch (Veranstaltungen)

Impressum

SATW Technoscope 2/09, September 2009
www.satw.ch/technoscope

Konzept und Redaktion: Dr. Béatrice Miller
Redaktionelle Mitarbeit: Beatrice Huber
Bilder: Franz Meier, EMPA, Aare Seeland mobil, MLO SA / Maurice Schobinger, Beatrice Huber, Formula Hybrid Team ETH Zürich, Verkehrshaus

Gratisabonnement und Nachbestellungen

SATW, Seidengasse 16, CH-8001 Zürich
E-Mail redaktion.technoscope@satw.ch
Tel +41 (0)44 226 50 11

Technoscope 3/09 erscheint im Dezember 2009 zum Thema «Kostbare Rohstoffe».