

Überwachung: Kongresszentrum Luzern

Sicherheits-Monitoring

Das neue Kultur- und Kongresszentrum in Luzern ist bekannt für die hervorragende Akustik des Konzertsaals. Höchst bemerkenswert ist aber auch das Äussere des Gebäudes mit dem 45 Meter weit ausladenden Dach, das bis über den See reicht. Die elegante und auch kühne Dachkonstruktion scheint schwerelos über dem Eingang zu schweben. Bei der Tragkonstruktion des Daches hat man Neuland betreten. An der Dachkante ist das Dach nur noch wenige Zentimeter dick. Ein besonderes Problem stellen die Windeinwirkungen und die daraus resultierende Ermüdungsbeanspruchung der kritischen Verbindungen dar. Deshalb wurde ein Überwachungssystem installiert, mit dem die Sicherheit des Daches kontinuierlich überwacht werden kann.



Kongresszentrum mit verkleidetem Dach

Von Dr. Martin Wieland und Dr. Willy Wüthrich

Das Kultur- und Kongresszentrum Luzern (KKL) liegt direkt am Vierwaldstättersee. Das vom französischen Stararchitekten Jean Nouvel entworfene Gebäude weist eine Grundfläche von 112,7×107,2 Metern auf. Darin untergebracht sind der Konzertsaal, kleinere Säle, das Museum, ein Restaurant und diverse Dienstleistungsräume. Ein aussergewöhnliches Element ist das den ganzen Gebäudekomplex überdeckende und weit auskragende Dach. Der maximale stützenlose, freie Überhang der nord-östlichen Dachecke beträgt 44,8 Meter. Im

Bereich der Auskragung besteht das Dach aus einem Trägerrost mit Vollwandträgern aus Stahl. Die obere Dachhaut ist ein grossflächiges Kupferblech, das auf Sperrholzplatten befestigt ist. Die Wind- und Schneekräfte waren für die Bemessung der Tragkonstruktion des Daches massgebend. Dabei spielten die zulässigen Durchbiegungen und die Schwingungsanfälligkeit des Daches eine zentrale Rolle.

Das KKL wurde im September 1999 mit dem europäischen Stahlbaupreis ausgezeichnet, und im Zusammenhang mit dem Zehn-Jahr-Jubiläum der Zeitschrift «Structural Engineering International» der

Internationalen Vereinigung für Brücken- und Hochbau (IVBH), wurde das KKL als eine der weltweit zehn massgebenden Ingenieurbauten der Welt gewählt.

Windbeanspruchung

Aufgrund der grossen Dachauskragung und der damit verbundenen Unsicherheiten über das Tragverhalten des Daches unter Winter-, Gewitter- und Föhnstürmen wurden im Grenzschichtkanal des Boundary Layer Wind Tunnel Laboratory der Universität von West

Lesen Sie weiter auf Seite 2

Ontario in Kanada verschiedene Windkanalversuche an einem Modell 1:200 des KKL durchgeführt.

Mit den im Windkanal gemessenen Windkräften wurden die Beanspruchung und die Deformationen der Dachkonstruktion ermittelt. Die windbedingten Durchbiegungen in der kritischen Dachecke betragen infolge des Normwindes (Norm SIA 160, 1989), abhängig von der Windrichtung, maximal 19 Zentimeter nach oben und 16 Zentimeter nach unten. Da die tiefste Eigenfrequenz des Daches bei 1,3 Hertz liegt und die dominanten Böenfrequenzen unter 0,1 Hertz liegen, ist das Verhalten des Daches unter Wind primär quasistatischer Natur.

Da bei der Auslegung der Tragkonstruktion wegen der Durchbiegungen und Schwingungen die Steifigkeit massgebend war und der Stahl nur teilweise ausgenützt war, konnten bei den Anschlüssen und Knoten (geschweisste Knoten wurden in der Werkstatt gefertigt, und geschraubte Kopfplattenstösse wurden auf der Baustelle verwendet) höhere Spannungen akzeptiert werden als im Grundmaterial der Träger. Aufgrund der geringen Ermüdungsfestigkeit von geschraubten Zugverbindungen und geschweissten Knoten von 36 N/mm² und aufgrund der im Vergleich zum Grundmaterial erhöhten Spannungen in diesen Elementen musste auch die Ermü-

dungssicherheit dieser Verbindungen und Knoten geprüft werden, da die Windkräfte eine oszillierende Natur aufweisen.

Unter den im Windkanal ermittelten fiktiven Windkräften (diese enthalten Beiträge aus allen möglichen Windrichtungen) und unter Verwendung der Häufigkeitsverteilung der Anzahl Windzyklen gemäss Eurocode 1 hätten die am höchsten beanspruchten Knoten und Verbindungen nur eine beschränkte Ermüdungslebensdauer. Um hier genauere Auskunft zu erhalten, wurde entschieden, ein Überwachungssystem der Dachkonstruktion zu installieren, mit dem Aussagen über die Ermüdungssicherheit der Dachkonstruktion gemacht werden können. Normalerweise wird bei Hochbauten Ermüdung infolge Wind nicht berücksichtigt.

Instrumentierung der Tragkonstruktion des Daches

Das Messsystem für die Dachkonstruktion des KKL wurde im Sommer 1998 installiert und läuft seitdem permanent. Das Messsystem besteht aus folgenden Sensoren (Fig. 1):

- (I) neun Dehnmessstreifen (DMS), mit denen die Spannungen in den Flanschen in den Hauptträgern der Dachkonstruktion erfasst werden;
- (II) zwei Beschleunigungssensoren (Vertikalkomponente), die an der nordöstlichen Dachecke und in der Mitte des nördlichen Dachrandes in der Entwässerungsrinne befestigt sind;

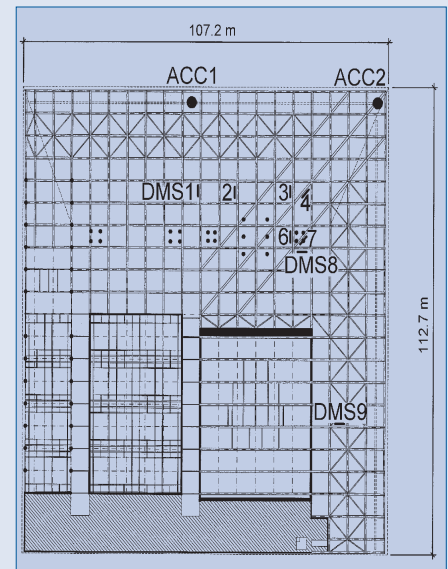


Fig. 1: Layout des Dachüberwachungssystems (ACC: Beschleunigungssensor; DMS: Dehnmessstreifen).

- (III) einem Thermometer, das die Ausstemperatur misst;
- (IV) einem auf einem drei Meter hohen Mast auf dem Dach montierten Anemometer, mit dem die Windgeschwindigkeit sowie die Windrichtung gemessen werden.

In Echtzeit werden unter anderem kontinuierlich kumulative Spannungshistogramme mit dem Rainflow-Zählverfahren berechnet (Fig. 2).

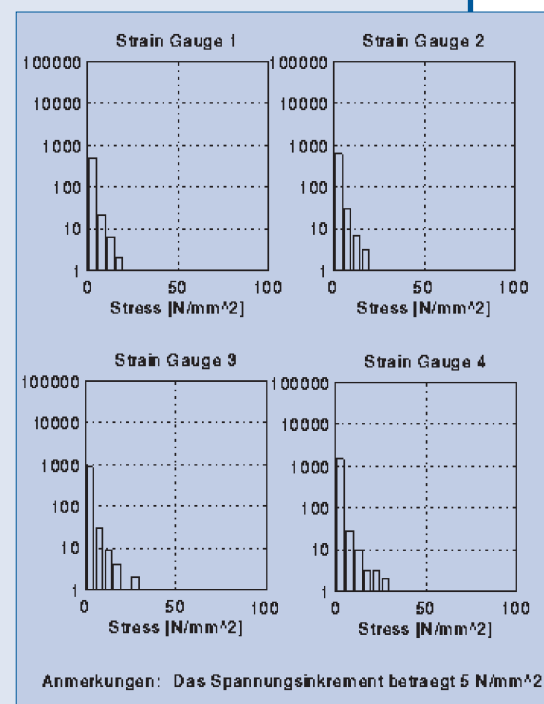


Fig. 2: Spannungshistogramme in den ersten vier DMS-Messpunkten.

Editorial

Sicherheit ist, rückblickend auf die fatalen Ereignisse des vergangenen Herbstes, ein Thema von Kontroversen: Auf der einen Seite die Behauptung, dass wirklich alles Erdenkliche für die Sicherheit getan wird, und auf der anderen Seite, wie die Realität in jüngster Vergangenheit eindrücklich bewiesen hat, dass sie keineswegs gewährleistet ist oder werden kann.

Verdeutlichen wir es am Beispiel eines Bauwerkes; sei es ein architektonisches Meisterwerk mit einem riesigen, schwebenden Dach oder aber ein nicht endend wollendes Hochhaus inmitten der Geschäftswelt einer Weltstadt. Einerseits beschäftigt sich der Sicherheits-Ingenieur durch einen wissenschaftlichen Seiltanz mit den Gefahren unserer

natürlichen Umwelt (Wind, Regen, Schnee, Blitzschlag und sogar Erdbeben) und macht sie sogar beherrschbar.

Gegenüber jedoch lauern Gefahren aufgrund menschlichen Fehlverhaltens oder aber absichtlicher Untaten (Sabotage, Anschlag). Auf der spontanen Suche nach Massnahmen gelangt man jedoch schnell an die Grenze des Machbaren und in deren Folge auf die Bestätigung der These, dass es die absolute Sicherheit nicht gibt. Dennoch werden wir Sicherheits-Ingenieure nichts unversucht lassen, motiviert durch die schrecklichen Ereignisse, durch neue Ideen und Tatbeweise den Weg nach noch mehr Sicherheit fortzusetzen.

Rolf Walther

Ereignisaufzeichnungen

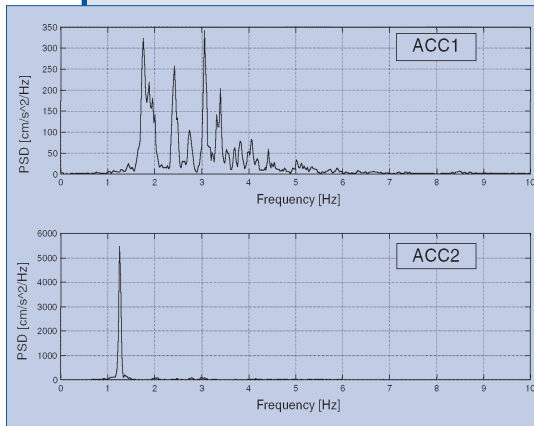


Fig. 3: Spektren der Beschleunigungsaufzeichnungen: Dachvibrationen während einer starken Böe am Dachrand und in der nordöstlichen Dachecke.

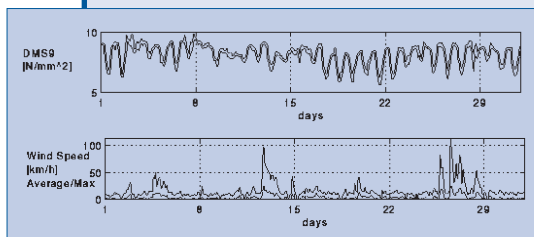


Fig. 4: Monatsaufzeichnung: Spannungszeitverlauf mit ausgeprägten täglichen Temperaturschwankungen (Temperaturspannungen sind grösser als diejenigen aus Wind, oben) und Maximalwerte der Windgeschwindigkeit im Dezember 1999 (die verschiedenen Sturmspitzen Mitte und Ende Dezember sind klar feststellbar, unten).

Wenn die Windgeschwindigkeit den Wert von 80 km/h übersteigt, wird ein Ereignis mit einer Dauer von 300 s registriert. Zudem wird ein Ereignis registriert, wenn die Beschleunigungen und die Spannungen vorgegebene Grenzwerte überschreiten. Dabei werden sämtliche oben angegebenen Messparameter erfasst. Am 26. Dezember 1999 wurde während des Sturms «Lothar» eine maximale Windgeschwindigkeit von 112,8 km/h registriert (Fig. 3). Im Jahr 2000 gab es nur ein Ereignis, dabei wurde bei einem Gewittersturm am 3. Juli eine maximale Windgeschwindigkeit von 110,4 km/h registriert. Im Jahr 2001 gab es am 22. März zwei Ereignisse mit einer maximalen Windgeschwindigkeit von 83 und 85 km/h.

Über die Autoren

Dr. Martin Wieland und Dr. Willy Wüthrich sind Ingenieure bei der Elektrowatt-Ekono AG, Hardturmstrasse 161, CH-8037 Zürich, Schweiz

Bei den Ereignisaufzeichnungen wird jeweils das Spektrum der Beschleunigungszeitverläufe ermittelt. Bei einer Datenlänge von 300 s und einer Messfrequenz von 50 Hertz lassen sich die Eigenfrequenzen des Daches mit grosser Genauigkeit ermitteln. Die tiefste Eigenfrequenz des Daches liegt bei 1,27 Hertz (Fig. 3 und 4). Dieser Wert stimmt relativ gut mit dem theoretisch ermittelten Wert von 1,3 Hertz überein. Änderungen in den Eigenfrequenzen des Daches können aus den Ereignisaufzeichnungen ermittelt werden. Ein allfälliger Abfall der massgebenden Eigenfrequenzen des Daches wäre ein Indikator für ein strukturelles Problem des Daches. Bisher wurden keine derartigen Änderungen festgestellt.

Daueraufzeichnungen

Alle zwei Stunden werden aus einem Datenfile die Maximal-, Minimal- und Mittelwerte ermittelt, die dann für jeden Monat separat dargestellt werden (Fig. 4). Bei den Monatsaufzeichnungen werden jeweils die kumulativen Spannungshistogramme bestimmt, wobei sämtliche Spannungszyklen seit dem 3. September 1998 gezählt wurden. Während eines Sturms nimmt die Anzahl der grossen Spannungsamplituden zu. Da die täglichen Temperaturschwankungen ebenfalls grössere Spannungsamplituden verursachen, werden die Spannungshistogramme im Bereich der grossen Spannungsamplituden durch die täglichen Temperaturschwankungen dominiert. Die Dehnungen und Beschleunigungen werden 50-mal pro Sekunde abgelesen. Das Messsystem ist deshalb permanent stark beansprucht. Die vom Messsystem generierten Ereignis- und Daueraufzeichnungen sind auf folgender Internetadresse abrufbar: http://www.geosig.ch/KKL_Measurement/KKL_Haupt_Event.htm

Alarmierung

Wenn die Windgeschwindigkeit den Wert von 100 km/h übersteigt, die vertikale Maximalbeschleunigung 0.1 g erreicht und die Spannungsänderungen den Wert von 100 N/mm² übersteigen, wird ein Alarm ausgelöst. Je nach Alarm sind verschiedene Massnahmen einzuleiten.

Ausserordentliche Ereignisse

Sturm «Lothar» vom 25. bis 27. Dezember 1999: Insgesamt wurden während dieser Periode zwölf Ereignisse mit einer Windgeschwindigkeit von >80 km/h registriert, je ein Ereignis am 25. und 27. und zehn Ereignisse am 26. Dezember. Die

S S I - Mitgliedsfirmen stellen sich vor:

RM Risk Management AG

RM Risk Management AG – Security & Risk Consultants – ist ein führendes, unabhängiges Beratungsunternehmen im Bereich der Unternehmenssicherheit. RM bietet den Unternehmen nicht nur die Möglichkeit, unternehmensweite Security- und Risk Management-Lösungen pragmatisch und professionell zu konzipieren und umzusetzen, sondern auch die gesamten Geschäfts- und Produktionsprozesse inkl. Infrastruktur auf Gefährdungspotenziale hin untersuchen zu lassen. Führende Unternehmen aus Finanz, Telekommunikation und Industrie, zahlreiche Dienstleistungsunternehmen und öffentliche Verwaltungen nehmen RM Beratungsleistungen, insbesondere bei komplexen Fragestellungen, in Anspruch. RM ist ein nach ISO 9001:2000 zertifiziertes Unternehmen und Partner von RMS(E) Risk Management Services (Europe) S.A. in Luxembourg.

RM ist in folgenden Fachbereichen tätig:

- IT Risk Management, u.a. IT Security Policy and Standards, IT Project Risk Management etc.
- Business Process Risk Management, u.a. Business Contingency Planning, Disaster Recovery Planning, Business Process Reengineering, Security & Risk Management Review etc.
- Facility Risk Management, u.a. Risk Coaching für Bauherren und Investoren, Risk Engineering/Sicherheitsplanung, Betriebs- und Schutzkonzepte etc.
- Financial Risk Management u.a. Alternative Risk Transfer (ART), Corporate Risk Adjustment to Capital (CRAC), Due Dilligence Review etc.
- Human Resources Risk Management, u.a. Förderung des Risikobewusstseins, Risk Brainstorming Workshop, Ausbildung/Training/Tests etc.

Adresse: RM Risk Management AG
Security and Risk Consultants
Blümlisalpstrasse 56
CH-8006 Zürich
Tel. 01 360 40 40
Fax 01 360 40 00
E-Mail: rm@rmrisk.ch
www.rmrisk.ch

Kontakt: Herr Uwe Müller-Gauss
E-Mail: uwe.mueller@rmrisk.ch

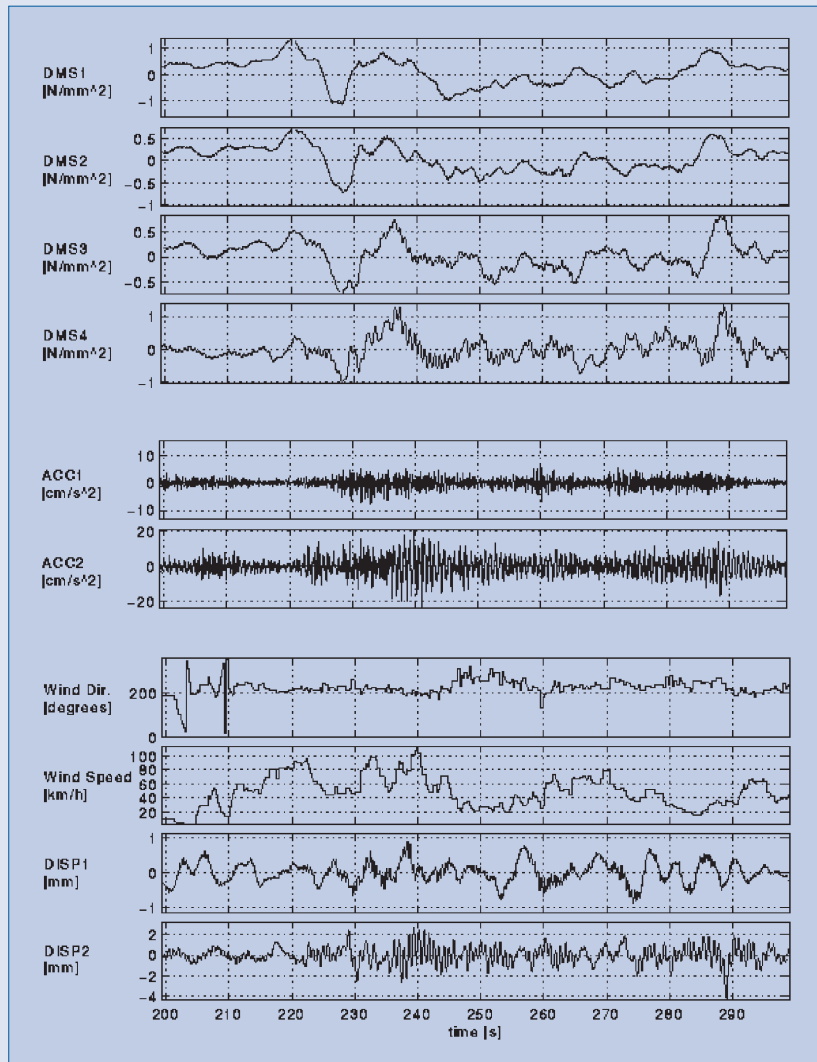


Fig. 5: Ereignisaufzeichnung: Zeitverlauf der Spannungen, Beschleunigungen, Windrichtung und Geschwindigkeit sowie dynamische Durchbiegungen des Dachrandes während des Sturms «Lothar» vom 26. Dezember 1999.

maximale Windgeschwindigkeit lag bei 112,8 km/h (Fig. 5). Die maximalen Spannungsamplituden, welche für die Ermüdung massgebend sind, lagen bei 5 bis 9 MPa. Diese Werte betragen 10 bis 20 Prozent der maximalen Spannungsamplituden, die aufgrund der Windkanalversuche erwartet werden.

Die Gründe für die geringen Spannungsamplituden liegen einerseits in der maximalen Windgeschwindigkeit von 112,8 km/h, die etwa $\frac{3}{4}$ der Bemessungswindgeschwindigkeit von 144 km/h betrug und andererseits in der Windrichtung des am ungünstigsten wirkenden Windes sowie in der Bestimmung der maximalen Windbelastung aus den Windkanalversuchen. Obwohl es sich bei Lothar vom statistischen Standpunkt aus um ein Jahrhundertereignis handelte, lagen die Beanspruchungen in der Dachkonstruktion unter derjenigen des 30-jährigen Bemessungswindes.

Schneefälle vom 9. Februar 1999: Die massiven Schneefälle vom 9. Februar 1999 haben zu einer maximalen Durchbiegung des Dachrandes von ca. 60 mm

geführt. Gleichzeitig nahmen mit zunehmender Schneelast auch die Spannungen in den 9 DMS-Messpunkten zu (Fig. 6). Aufgrund geodätischer Durchbiegungsmessungen konnte mit dem Finite-Element-Modell des Daches die Schneelast bestimmt werden, die diese Durchbiegungen verursacht. Gleichzeitig wurde auch die Schneelast des Daches gemessen. Die Kontrollberechnung zeigte eine befriedigende Übereinstimmung zwischen Rechnung und Messung.

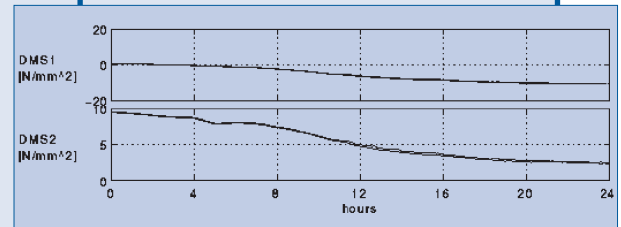


Fig. 6: Extremer Schneefall vom 9. Februar 1999: Zeitverlauf der Spannungen (Spannungen nehmen kontinuierlich mit zunehmender Schneehöhe zu).

Fazit

Das Dach hat die Jahrhundertsschneefälle Anfang Februar 1999 und auch den Jahrhundertsturm «Lothar» vom 25. bis 27. Dezember 1999 ausgezeichnet überstanden. Aufgrund der vorliegenden Messungen besteht keine Ermüdungsgefährdung der Dachkonstruktion, da die windinduzierten maximalen Spannungen beträchtlich unter denjenigen liegen, die aufgrund der Windkanalversuche für den 30-jährigen Bemessungswind prognostiziert wurden.

SSI-Tagung

Die Leitung der SSI-Tagung «Tüengineering» wird die Thematik in ihren Kernelementen durch kompetente Fachreferenten darstellen: Wie können Mängel, betriebliche Störungen und deren Kostenfolgen vermieden werden? Wie können Fehlplanungen ausgeschlossen werden? Dabei werden technische Anforderungen an Türelemente definiert, aber auch die Grenzen einer «multifunktionalen» Türe aufgezeigt: Was ist möglich und sinnvoll? Was bietet der Markt an Lösungen bis hin zu Spezialtüren an, welche Normen und Richtlinien sind zu beachten? Es geht aber nicht nur um technische Machbarkeit und Schnittstellen zu Zutrittskontrollsystemen; die Sicht und Erfahrungen von Anwendern sind von hohem praktischem Wert, auch was betriebliche Aspekte angeht. Die Tagung findet am 5. Juni 2002 im Hotel Marriott in Zürich statt. Infos: MediaSec AG, 8127 Forch, Telefon 043 366 20 20, Telefax 043 366 20 30.

I M P R E S S U M

Herausgeber: Schweizerische Vereinigung unabhängiger Sicherheitsingenieure und -berater
Güstrasse 46, CH-8700 Küsnacht
Telefon 01 910 73 06, Fax 01 910 73 96

Erscheinungsweise: Drei Ausgaben pro Jahr

Mitarbeiter dieser Ausgabe: Rolf Walther
Dr. Martin Wieland
Elektrowatt-Ekono AG
8037 Zürich

Dr. Willy Wüthrich
Elektrowatt-Ekono AG
8037 Zürich

Layout, Satz und Lithos: buag Grafisches Unternehmen AG,
CH-5400 Baden-Dättwil

Druck: buag Grafisches Unternehmen AG,
CH-5400 Baden-Dättwil