

Kragkuppelbauten im Puschlav: Untersuchung eines altertümlichen Haustyps

Autor(en): **Speich, Klaus**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **106 (1988)**

Heft 45

PDF erstellt am: **24.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-85841>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Kragkuppelbauten im Puschlav

Untersuchung eines altertümlichen Haustyps

Eine Besonderheit der ländlichen Hausformen im Puschlav sind altertümliche Rundbauten aus Trockenmauerwerk, die sowohl im Talgrund, auf den Maiensässen, wie auf den Alpen in vielfältigen Nutzungen vorkommen; charakteristisch für die Region ist aber die Verwendung als Kühlkeller für Milch. Eine interdisziplinäre Untersuchung mit Architekturstudenten der Ingenieurschule Windisch ist den Hypothesen über die kulturgeschichtliche Herkunft des Bautyps und seine Beziehungen zu anderen Rückzugsregionen dieser Konstruktionsform nachgegangen. Sodann wurde mit Hilfe der letzten noch lebenden Zeugen der inzwischen abgebrochenen Überlieferung das ehemalige Wissen um die Bedingungen von Situation, Material und Handwerkstechnik beim Bau eines solchen traditionellen «Cròt» aufgezeichnet.

Das Puschlav ist die einzige Kulturlandschaft der Schweiz, in der unter den traditionellen ländlichen Hausfor-

VON KLAUS SPEICH,
WINDISCH

men auch Rundbauten aus Trockenmauerwerk vorkommen, die mit Kragkuppeln in der Technik des «falschen Gewölbes» überdacht sind. Diesem altertümlich anmutenden Typus der anonymen Architektur, der auch in anderen Teilen Europas – vor allem im mittelmeerischen Bereich – regionenweise verbreitet ist, galt im Herbst 1986 die Arbeitswoche einer Klasse von Architekturstudenten der Ingenieurschule HTL Brugg-Windisch.

Das Thema, das in einigen Aspekten im Winter 1986/87 durch Semesterarbeiten noch vertieft wurde, bot Gelegenheit zu einer fächerübergreifenden Untersuchung, die unter der Leitung von vier Dozenten, nämlich des Bildhauers und Designers Eduard Lienhard (Gestaltungslehre), des Architekten Luca Maraini (Entwurf und Konstruktion), des Physikers Dr. Jürg Nänni (Physik; Mathematik) und des Kunsthistorikers Dr. Klaus Speich (Bau- und Kunstgeschichte; Deutsch) durchgeführt, ausgewertet und dargestellt werden konnte.

Auf der Höhe des Lago di Poschiavo wurde an beiden Talflanken auf der terrassenartigen Geländestufe von ca. 1400 bis 1500 m ü.M. – das entspricht an der südlichen Abdachung der Alpen der viehwirtschaftlichen Nutzungsstufe der Maiensäss – eine exemplarische Gruppe der Steinbauten vermessen, zeichnerisch festgehalten und mit bauphysikalischen Daten erfasst. Allerdings kommen die Kragkuppelhäuser, die im regionalen Dialekt «Cròt» genannt werden (das entspricht dem Wort

«Grotto» in der Tessiner Mundart), sowohl auf dem Talgrund wie auch auf den eigentlichen Alpen – die oberste Sömmerungsstufe erreicht hier Höhen von etwa 2000 bis 2100 m ü.M. – ebenfalls vor.

Sie erfüllen die *vielfältigsten Nutzungen*: als Unterkünfte für längere Perioden, als temporäre Schutzhütten für Mensch und Tier, als separate Küchenhäuser bei Alphütten oder Gehöften, als Vorratskeller oder als Schweineställe (zuweilen unter die Zufahrtsrampe zu einem Ökonomiegebäude geduckt); vielen Touristen sind ausserdem die Weinkellergewölbe auf Alp Sassal Mason am Berninapass bekannt. Die häufigste Funktion jedoch und die für das Puschlav typische, die sonst in keinem anderen Verbreitungsgebiet von mörtellosen Stein-Rundbauten in Europa vorkommt, ist die Verwendung als Kühlkeller für Milch und Milchprodukte. Es lässt sich freilich nicht leugnen, dass die Kuppelhäuser heute nur noch sporadisch wirklich milchwirtschaftlich genutzt werden. Viele sind umfunktioniert zu gewöhnlichen Kellern und Abstellräumen, noch mehr aber sind dem Zerfall preisgegeben. Die Aufgabe erscheint deshalb dringlich, möglichst noch während der achtziger Jahre in Absprache mit der Bündner Denkmalpflege einen vollständigen Kataster aller Denkmäler und Ruinenstellen aufzunehmen, bevor zuviele dieser wichtigen Zeugen für die Kulturgeschichte der Südschweiz unwiederbringlich verschwunden sind.

Hypothesen zum kulturgeschichtlichen Ursprung

Die kulturgeschichtlichen und kulturgeographischen Zusammenhänge der Puschlaver «Cròt» mit anderen Rundbautypen in Europa sind nämlich immer noch weitgehend ungeklärt. In der

meist volkskundlichen Literatur, welche die Kragkuppelhäuser behandelt, wird diese Frage im allgemeinen nur gestreift. Immerhin lassen sich im wesentlichen *vier Hypothesen* namhaft machen, die von den Studenten in Semesterarbeiten verfolgt und mit Bildnachweisverzeichnissen dokumentiert wurden.

Die erste Theorie greift bis in die Vorgeschichte zurück: Danach wären die Puschlaver «Cròt» der überlebende Rest einer prähistorischen Bauweise, die auf die Illyrier, ein weitgehend unbekanntes Volk indogermanischer Sprache in den Ostalpen und im Balkanraum, zurückgeht. Andere Rückzugsgebiete der gleichen Kultur befanden sich in Istrien und Dalmatien, wo ebenfalls ein Rundbau, die «Casita», vorkommt (in diesem Fall mit kegelförmiger Kragkonstruktion). Nach der gleichen Hypothese wären auch die berühmten «Trulli» in Apulien, jene bienenkorbförmigen Kuppelhäuser, die zu ganzen Gehöften und Ortschaften kombiniert werden können, Zeugnisse für ein über die Adria nach Italien ausgreifendes westliches Grenzgebiet der illyrischen Kultur.

Viele Forscher wollen in den Rätern einen Stamm der verschollenen Illyrier erkennen. Deshalb gehört auch die folgende Überlegung, die sich mit Gegebenheiten der Archäologie in Graubünden auseinandersetzt, in den grösseren Zusammenhang der Illyrier-Hypothese: Die Puschlaver «Cròt» könnten späteste Spuren einer eisenzeitlichen rätisch-tyrrhenischen Zivilisation sein, die unter dem fernen Einfluss einer Hochkultur in der Ägäis stand (oder – anders gesagt – ein nördlichster Ausläufer der mykenischen Kultur war). Den näheren Zusammenhang bildete ein uralter Saumweg, der von der Adria her über die Val Camonica, das Veltlin, die Hochstrasse des Puschlav und die Bernina ins heutige Bünden führte. Zu den archäologischen Denkmälern dieser rätischen Kultur sollen eisenzeitliche Kragkuppel-Vorratskeller in Crestaulta, zwei durch Steinlawinen umgestürzte Kragkuppelhäuser am Tomül-Pass und ein um 1500 v. Chr. zu datierendes Kragkuppelgrab in Domath (Schams) gehören.

Eine zweite Theorie sucht den Zusammenhang im Mittelalter: Die Rundlinge in Trockenmauer-Bauweise wären demnach eine Hinterlassenschaft der Sarazenen (Araber), die im 9. und 10. Jahrhundert neben anderen Alpenpässen wohl tatsächlich auch die Bernina

kontrolliert haben. Die Behauptung, Kragkuppelhäuser liessen sich heute lediglich in europäischen Regionen feststellen, die länger oder kürzer arabisch besiedelt oder beherrscht waren, bestätigt sich zunächst im Hinblick auf das ehemals maurische Spanien (von Navarra und Katalonien im Norden bis nach Andalusien im Süden sowie im Westen bis in die Estremadura); sie bestätigt sich in der mittelmeeerischen Inselwelt von den Balearen über Sardinien bis zu den Liparischen Inseln; in Frankreich lässt sich die Provence mit den «Borie»-Bauten, in Italien Apulien mit den «Trulli» in die Sarazenen-Hypothese einfügen. Für die französische Landschaft Guyenne sowie für Istrien und Dalmatien in Jugoslawien stimmt sie freilich nicht. Man darf aber erwähnen, dass am Thema interessierte Leute im Puschlav selber mit Vorliebe über den sarazenischen Ursprung der Bauweise spekulieren und meist noch die alte Verbreitung des Anbaus von Buchweizen (italienisch «grano saraceno») in der Talschaft als Beleg dafür anführen.

Es gibt allerdings noch eine andere mündliche Tradition im Puschlav, nach der früher Mönche (also vermutlich Eremiten) die «Cròt» als Zellen bewohnt hätten. Die dritte, eher unwahrscheinliche Hypothese stellt deshalb eine Beziehung her zum «Clochàn», einem irischen Typ von rundem Einraum mit trocken gemauerter Kragkuppel, der dem «Cròt» genau gleicht. Auch diese britische Hausform ist übrigens ausserhalb jeder möglichen sarazenischen Einflussphäre entstanden und reicht nach Annahme englischer Forscher in den Anfängen zurück bis in die Neusteinzeit. In frühmittelalterlichen Klöstern Irlands wurde sie als Mönchsbehausung verwendet. Iroschottische Wandermönche unter Columban sind jedoch an der Wende zum 7. Jahrhundert durch Graubünden nach Oberitalien gelangt und haben das Kloster Bobbio gegründet. Ganz undenkbar ist es also nicht, dass in den südlichen Alpentälern Einsiedlerzellen in dieser Bauweise auf sie zurückgehen.

Neben diesen weit gespannten Perspektiven nimmt sich die vierte Hypothese schliesslich ernüchternd aus, wonach die «Cròt» nicht weiter als bis ins 19. Jahrhundert zurückreichen und anfänglich von Bergamasker Hirten und Knechten stammen sollen (die nachweislich die touristisch bekannte Anlage von Sassal Mason und ein heute verschwundenes Fischerhaus am Lago Bianco um 1870 erbaut haben). In der Tat hat die Untersuchung der allerdings nicht repräsentativen Gruppe von Bauten im Herbst 1986 die eine oder andere

eingemeisselte Jahrzahl, aber nirgends einen eindeutigen Beweis für eine Datierung vor 1800 erbracht.

Andererseits bietet die Bauweise (wie Archäologen auch in anderen Regionen mit Trockenmauerhäusern bedauernd festgestellt haben) kaum eine Möglichkeit, etwa mit naturwissenschaftlichen Methoden zu einer Altersbestimmung zu kommen. Denkbar ist, dass mindestens die als ausgesprochene Kühlkeller verwendeten Kuppelbauten in ihrer spezifischen Ausbildung erst im Zuge der sich wandelnden Anforderungen der Alpwirtschaft im 19. Jahrhundert entwickelt wurden. Damit ist aber noch nicht erklärt, warum nur gerade im Puschlav die Raumform des Rundlings gewählt wurde, während in der italienischen Nachbarschaft, die den bergamaskischen Wanderhirten ebenfalls offensteht, ein anderer Bautyp genau die gleiche Funktion erfüllt: Der «Scele» – so heisst der Milchkühlkeller im Veltlin und vor allem in der Val Poschiavina, dem italienischen Paralleltal zum Puschlav – ist ein Trockenmauer-Rechteckbau mit flachem Satteldach, dessen Steinplatten auf hölzernen Längsbalken aufliegen. Man trifft ihn vereinzelt auch im Puschlav: er soll hier auf italienische Wanderarbeiter in der Zelt vor dem ersten Weltkrieg zurückgehen.

Um aber wirklich Klarheit zu schaffen über die Herkunft und Entwicklung des «Cròt», bedarf es künftig einer interdisziplinären Arbeit, zu der neben der weiteren Vertiefung volkscundlicher Untersuchungen sowohl die Feldforschung des Archäologen wie die Archivrecherchen des Historikers beitragen müssen.

Raumgestalt, Konstruktion und Statik

Wenn also der geschichtliche Beginn für die Bautradition der Puschlaver Kragkuppelbauten vorläufig noch nicht eindeutig erfasst werden kann, so lässt sich doch das Ende dieser Tradition registrieren: Die letzten noch lebenden Steinarbeiter, die sich bis gegen die Mitte unseres Jahrhunderts gelegentlich als Stör-Handwerker für den Bau neuer «Cròt» verdient haben, sind über achtzigjährig: die Windischer Architektur-Studenten konnten sie ausführlich über ihre Arbeit befragen. Zwar wurde noch 1972 auf Munt da Campasc ein Nachzüglerwerk errichtet, aber von einem Berufsfremden, der die Regeln der Tradition nicht kannte. Diese Regeln betrafen aber weniger die Dimensionen und die Gestalt von Grundriss und Aufriss. In dieser Hinsicht herrschte grosse Freiheit: Es gibt



Bild 1. «Cròt» auf dem Maiensäss Suasar Daint (Gemeinde Poschiavo)

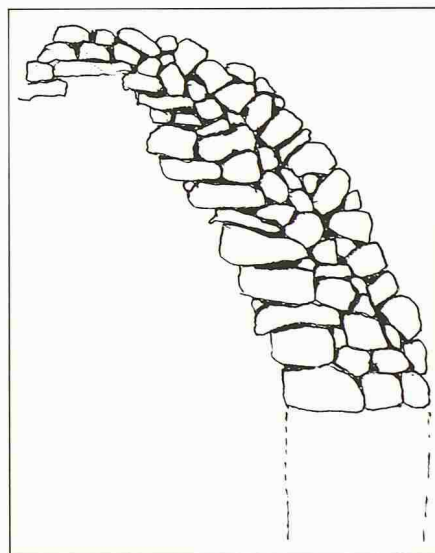


Bild 2. Schnitt durch das Trockenmauerwerk eines Puschlaver Kragkuppelbaus mit seinem dreischichtigen Aufbau: innen die Plattenstruktur des eigentlichen «falschen Gewölbes», dann die beschwerende und füllende Geröll-Schicht, die ihrerseits ummantelt wird vom groben Brocken-Gefüge der «Camicia»

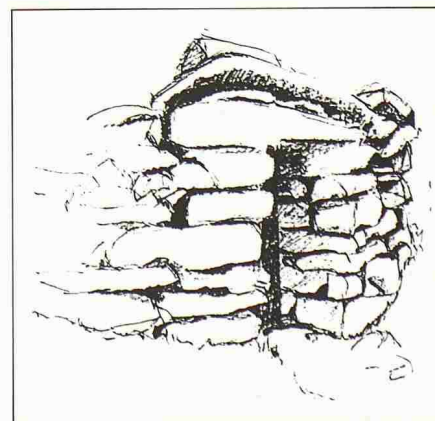


Bild 3. Ausbildung von Gewände und Sturz am Eingang eines «Cròt» mit Hilfe vorgefundener Gneis-Trümmerplatten

«Cròt», die sich derart in eine Geröllhalde schmiegen, dass sie wie eine zufällige Häufung von Felstrümmern wirken; andere befinden sich apsisartig an eine Sennhütte angebaut. Unter den Freistehenden gibt es halbkugelige, eiförmige, zwiebelartig geschweifte oder flachbogig abgeplattete Baukörper über kreisrunder, elliptischer oder andeutungsweise eckiger Grundfläche. Wichtig war aber immer die Einhaltung gewisser konstruktiver Prinzipien, welche die physikalischen Prozesse überhaupt erst ermöglichen, die zur Kühlwirkung der Puschlaver Milchkäuser führen (auf diese besondere Funktion hat sich das Interesse in den weiteren Untersuchungen konzentriert).

Grundbedingung für den Bau eines «Cròt» ist das ausreichende Vorkommen von Gneis und Granit, eventuell auch von Serpentin im nahen Umfeld des künftigen Standorts, Gesteinsarten, deren Porosität die Aufnahme von viel Wasser ermöglicht und die ausserdem – wenn sie durch natürliche Verwitterungsvorgänge von Wänden und Blöcken losgesprengt werden – in flächig begrenzten Platten brechen. Wichtig ist aber, dass die Steine oberhalb des vorgesehenen Bauplatzes liegen, so dass sie, am Fundort zunächst gereinigt und bearbeitet, grundsätzlich nur hangabwärts, und zwar über Holzrollen transportiert werden können. Die Bearbeitung beseitigt nur grösste Unregelmässigkeiten (Vorsprünge) der Plattenflächen, um ein Wackeln der Steine zu verhindern; benötigt werden nur einfachste Werkzeuge: Fäustling, Spitzseisen und Richthammer. Mit Hilfe von geneigten Holzbrücken wird das Material zuletzt zum definitiven Standort auf dem entstehenden Mauerwerk verschoben. Weil dieses aber zusammen mit dem Gewölbe am Ende Massen von 200 bis 500 t ergeben kann, muss die Tragfähigkeit des Fundaments z.B. durch eine Felsplatte im gewachsenen Boden gewährleistet sein. Weniger wichtig ist, dass an der vorgesehenen Stelle eine Quelle entspringt, denn man kann leicht nachträglich ein Wiesenbächlein hinleiten. Das Trockenmauerwerk, das je nach Grösse des Bauwerks einen inneren Raumdurchmesser von 2 bis 4 m umringt, kann am Fuss eine Mächtigkeit von 2 m erreichen und besteht eigentlich aus drei Mänteln.

Die Platten der innersten Schicht erhalten mit ihren Lagerflächen eine leise Neigung nach aussen, sodass kein Wasser aus der Wand ins Rauminnere sickern kann. Die Stossfugen werden lagenweise versetzt angeordnet. Meist steigt der Steinverband der inneren Hülle bis etwa zur Höhe von 1,5 m fast senkrecht auf; ein enger Einlass für den

Zugang, an dem nachher eine Holztür angeschlagen wird, bleibt ausgespart: oft müssen zu dieser Stelle von aussen einige Stufen eingetieft werden. Ein besonders mächtiges Fundstück wird knapp über Mannshöhe als monolithischer Sturz quer in die Steinordnung eingefügt, die im weiteren Ausbau nach oben Lage um Lage etwas weiter nach innen vorkragt, bis die Steine sich schliesslich nahezu berühren und von einer grösseren Platte überlagert und beschwert werden.

Dieser ganze Aufbau des «falschen Gewölbes» erfolgt ohne Lehrgerüst und Stützen. Die Konstruktion ist in jedem Augenblick selbsttragend, auch wenn man die Kuppelplatten bis fast zum labilen Gleichgewichtszustand auskragen lässt. Aussen werden sie durch Geröllsteine beschwert, die zusammen mit weiterem Gestein bis hinunter zu Schottergrösse, das sich in die unregelmässigen Hohlräume verteilt, die zweite Schicht der Wanddicke bilden. Aussen folgt die dritte Hülle – die Handwerker nennen sie «camicia» – aus meist annähernd trapezförmigen Gesteinsbrocken von manchmal beträchtlichen Dimensionen, die einem «Cròt» den Ausdruck eines prähistorischen Megalithbaus verleihen können. Ihre Lagerfugen weisen radial nach innen, sodass Schmelz- und Regenwasser gelenkt einsickern und die drei Steinschichten durchfeuchten kann. Dieser Umstand ist für die Kühlvorgänge ebenso wichtig wie das fein verzweigte und räumlich vernetzte Fugensystem insgesamt. Die 2 m dicke Hülle eines Puschlaver «Cròt» weist einen mittleren k-Wert von rund $0.5 \text{ W/m}^2\text{K}$ auf – er lässt sich also mit einer neueren Hausaussenwand vergleichen.

Varianten des Kühlsystems

Unter den Kragkuppelbauten, die als Kühlhäuser verwendet werden, kann man im wesentlichen drei Varianten von natürlichen Kühlsystemen unterscheiden (die allerdings zuweilen auch in Kombination genutzt werden).

Ein erster Typ von «Cròt» ist am Fuss von grobblockigen Geröllhalden anzutreffen. Bei ihm erfolgt die Kühlung durch kalte Fallwinde, die unter der Deckschicht von Felstrümmern zu Tal strömen und sich beim Durchfliessen von Feuchtigkeitszonen sättigen. Das bedeutet, dass die Luft zusätzlich abgekühlt und angereichert wird mit Wassermolekülen, die leichter sind als Stickstoff und Sauerstoff. Die gesättigte Luft steigt infolge ihres Auftriebs sowie infolge des am Fuss des Kluftsystems herrschenden Überdrucks durch die

Geröllschichten hoch ins Innere des «Cròt», bewirkt dort die Kühlung und verlässt schliesslich den Raum durch das Fugennetz des Trockenmauerwerks.

Die Ausnützung dieses Effekts kommt im Alpenraum nicht nur im Puschlav vor. So beschreibt die Bauernhausforschung einen Typ von Milchkeller im Kanton Uri, den «Nytler», der ähnliche topographische Gegebenheiten, nämlich sogenannte «Windlöcher», benötigte: es gibt für ihn schon aus dem Jahr 1661 einen schriftlichen Beleg, und bis etwa 1950 wurde das System für Kühlhäuser von Gastbetrieben am Seelisbergersee noch verwendet, wobei zusätzlich im Winter gesägte Eisblöcke eingelagert wurden.

Das Einfüllen von Eis und Schnee, deren Reste zuweilen bis nach dem Alpbetrieb für das Raumklima noch wirksam bleiben, ist aber ebenfalls charakteristisch für einen zweiten Typ von «Cròt» im Puschlav, von dessen Existenz man aus der Literatur Kenntnis hat. Er wurde in unserem Fall nicht in die Untersuchung einbezogen. Parallelentwicklungen dazu an der südlichen Alpenabdachung dürften die «Giazzer» im Gebiet des Monte Generoso (TI) sein, tief in den Boden eingesenkte zylindrische Trockenmauerbauten, in denen eine Schneeschicht, mit Buchenlaub bedeckt, sommersüber für konstante, niedrige Lagertemperaturen sorgt. Diese Bauten gleichen ihrerseits verblüffend den runden Kühlkellern in den Lessinischen Alpen nördlich von Verona, aus denen früher im Sommer Eis in die Gaststätten der Stadt geliefert wurde.

Im folgenden soll jedoch vor allem die dritte, häufigste Variante der natürlichen Kühlsysteme im Puschlav betrachtet werden, bei der Quellwasser oder ein Bachrinnal ins Rauminnere geleitet wird und teilweise versickert. Auf den ersten Blick scheint auch diese Nutzungsart eine direkte Parallele zu haben im «Bachnytler» des Urnerlands (charakteristisch vor allem im Schächental). Doch erfolgt dort die Kühlung fast ausschliesslich durch Ausnützen der niedrigen Wassertemperatur. Diese Möglichkeit gibt es zwar im Puschlav auch, so bezeichnenderweise im 1907 erbauten (also späten), den Touristen bekannten Bau auf Alp Selva; doch genügt vor allem bei Sommertemperaturen in der südexponierten Talschaft am Rand des mediterranen Klimagebiets dieser Kühleffekt bei weitem nicht. Es müssen noch geschickt ausgenützte Verdunstungsvorgänge mitspielen, die neben dem offenen Spiegel und der Sickerfeuchtigkeit auch die Wirkung des von Schneeschmelz- und Regenwasser

durchnässten Steinmaterials mit seiner Kapillarität sowie das Luftströmungslabyrinth in den Stoss- und Lagerfugen der Konstruktion miteinbeziehen, um in optimalem Zusammenspiel aller Bedingungen eine genügende Kühlleistung zu erzielen.

Zur Bauphysik des Kühleffekts

Das Verständnis des Kühleffekts soll am Beispiel des wassergekühlten «Cròt» gewonnen werden. Die Energiebilanzen sind Bestimmungsgleichungen für die Innenluft- und die Kühlwassertemperatur in Abhängigkeit der Betriebsparameter und der Klimadaten. Die Bilder 4 und 5 zeigen die sich ergänzenden idealisierten Teilsysteme im Innern des «Cròt». Die Verdampfungs-Kühlleistung

$$(1) K_w = A \cdot (25 + 19v) \cdot \left(\frac{f_s \cdot T_i}{\varrho_a \cdot T_a} - \frac{f_a}{\varrho_a} \right) \cdot \frac{2488}{3,6}$$

ist proportional zur Wasseroberfläche A und zur Differenz zwischen Sättigungsfeuchte f_s und der absoluten Feuchte f_i innen. Die Umrechnung der Luftdichte ϱ_i im «Cròt» und der Grösse f_i auf Aussenklimadaten erfolgt mit der idealen Gasgleichung:

$$(2) \frac{1}{\varrho_i} \cdot (f_s - f_i) = \left(\frac{f_s \cdot T_i}{\varrho_a \cdot T_a} - \frac{f_a \cdot T_a}{\varrho_a \cdot T_i} \right)$$

T_i und T_a sind die absoluten Lufttemperaturen innen und aussen. Der Proportionalitätsfaktor $(25 + 19v)$ ist in guter Näherung linear in der Geschwindigkeit v der an der Wasseroberfläche vorbeistreichenden Luft. Mit der Wärmeabgabe des Luftkörpers an das Kühlwasser

$$(3) \alpha_i \cdot (T_i - T_w)$$

[α_i ist die Wärmeübergangszahl], der Energieabgabe des mit einer Zuflussrate Z ins System fliessenden Quellwassers

$$(4) Z \cdot 4,187 \cdot 10^6 \cdot (T_Q - T_w)$$

und der Annahme, dass das versickern- de Kühlwasser Energieströme vom Untergrund weitgehend unterbindet, lautet die stationäre Energiebilanz für das Kühlwasser

$$(5) A \cdot (25 + 19v) \cdot \left(\frac{f_s \cdot T_i}{\varrho_a \cdot T_a} - \frac{f_a}{\varrho_a} \right) \cdot \frac{2488}{3,6} = Z \cdot 4,187 \cdot 10^6 \cdot (T_Q - T_w) + A \cdot \alpha_i \cdot (T_i - T_w) \quad \text{I}$$

Die analoge Bilanz für den Innenluftkörper ist

$$(6) A \cdot \alpha_i \cdot (T_i - T_w) = 2\pi r^2 \cdot k \cdot (T_a - T_i) \quad \text{II}$$

wobei vereinfachend angenommen wird, dass die durch das verzweigte Fugensystem eindringende Luft bereits beim Eintritt ins System die mittlere Temperatur T_i hat und mit derselben Temperatur den Kühlraum wieder verlässt. Durch Auflösen von Gleichung II nach T_i Einsetzen in Gleichung I und Auflösen nach T_w entstehen zwei gekoppelte Gleichungen, deren Lösung sich iterativ mit Hilfe von Taschenrechnern gewinnen lässt [Man beachte dabei die Temperaturabhängigkeit $f_s = f_s(T_i)$ der Sättigungsfeuchte].

Als Ausgangsbasis zur Optimierung des Kühleffekts sollen Betriebsdaten dienen, die an einem Sommertag an einem typischen «Cròt» gemessen wurden:

Aussenlufttemperatur	T_a	20 °C
Quellwassertemperatur	TQ	10 °C
Quellwasserzuflussmenge	Z	1–6 l/min
Wasseroberfläche im «Cròt»-Innern	A	6–12 m ²
Wärmeübergangszahl zwischen Wasser und Luft	α_i	6 W/m ² K
Windgeschwindigkeit im «Cròt»-Innern	v	0,1 m/s
Luftdichte aussen		1,18 kg/m ³
Relative Feuchte aussen		40%
Absolute Feuchte aussen	f_a	6,928/10 ³ kg/m ³
Mittlerer Innenradius	r	2 m
Mittlerer k-Wert der «Cròt»-Hülle	k	0,5 W/m ² K
Maximale Feuchte innen	f_s	9,41/10 ³ kg/m ³

(in Abhängigkeit von T_i) (für $T_i = 10$ °C)

Werden A, r, Z und v bei konstant gehaltenen übrigen Grössen variiert, so entstehen die Temperaturverläufe von Bild 6. Die Interpretation der Kurven führt zu folgenden Schlüssen: Erwartungsgemäss soll, wie die mit ① markierten Kurven zeigen, die freie Wasseroberfläche A möglichst gross sein, um die Kühlleistung zu verbessern. Aus praktischen Gründen kann aber A den Wert der Bodenfläche πr^2 nicht übersteigen. Der Innenradius r soll gemäss Bild 6 ebenfalls so gross wie möglich gewählt werden. Aus bautechnischen Gründen muss jedoch die Grössenordnung $r = 2$ m als obere Grenze betrachtet werden. Der Wasserzufluss Z hingegen soll möglichst gedrosselt bleiben, um nicht zuviel Kühlleistung für die Quellwasserabkühlung zu verschwenden [vgl. ③]; andererseits muss man den Verdunstungsprozess grossflächig mit minimaler Wasserzufuhr in Gang halten (in den folgenden Rechenbeispielen mit $Z = 1,5$ l/min). Die Windgeschwindigkeit v über der Kühlfläche beeinflusst den Kühleffekt kaum [vgl. ④].

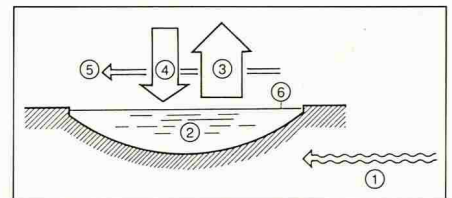


Bild 4. System Kühlwasser [1: Quellwassertemperatur TQ. - 2: Kühlwassertemperatur T_w . - 3: Verdampfungs-Kühlleistung K_w . - 4: Wärmeabgabe des Luftkörpers an das Kühlwasser. - 5: Luftgeschwindigkeit v. - 6: Wasseroberfläche A]

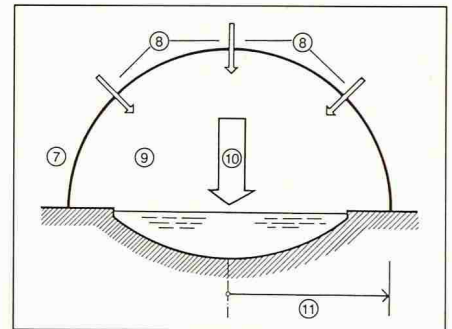


Bild 5. System Innenluftkörper [7: Aussenlufttemperatur T_a . - 8: Wärmefluss durch «Cròt»-Hülle. - 9: Innenlufttemperatur T_i . - 10: Wärmefluss zwischen Luftkörper und Kühlwasser (identisch mit 4). - 11: Halbkugelradius r]

Wird der «Cròt» optimal betrieben ($r = 2$, $A = 4 \cdot \pi$, $Z = 1,5$ und $v = 0,3$), so haben Innenluft- und Kühlwassertemperatur bei $T_a = 20$ °C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 40% die stationären Werte 9,3 °C und 7,5 °C (in guter Übereinstimmung mit Messwerten).

Für die Lagerung von Milch sind aber bekanntlich Kühltemperaturen zwischen 3 °C und 5 °C erforderlich; somit ist das Kühlwasser zu warm, es sei denn, das in den «Cròt» fliessende Quellwasser sei bereits um einige Grade kälter als 10 °C (was im Puschlav übrigens an einigen Standorten vorkommt).

Durch Variation der Klimadaten aus der Messstation Robbia (1078 m ü.M.) kann die Funktionstüchtigkeit eines Kühlkellers an diesem Standort vom Frühjahr bis zum Herbst überprüft werden. Mittels Umrechnung der Werte für höher oder tiefer liegende benachbarte Standorte soll ausserdem der Einfluss der Höhenlage abgeklärt werden (Die Lufttemperaturen sinken in trockenen adiabatischen Verhältnissen bekanntlich etwa um 1 °C pro 100 m Höhenanstieg, die relativen Feuchtigkeiten nehmen entsprechend zu). Die Quelltemperatur wird für die folgende Untersuchung auf 8 °C gesenkt und damit den speziellen Gegebenheiten im Puschlav besser angepasst. Alle übrigen bereits optimierten Parameter bleiben konstant.

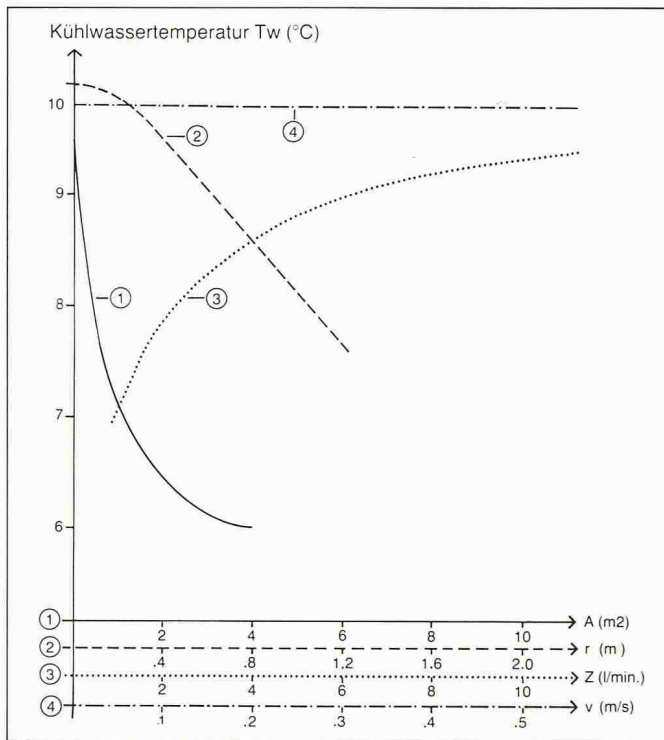
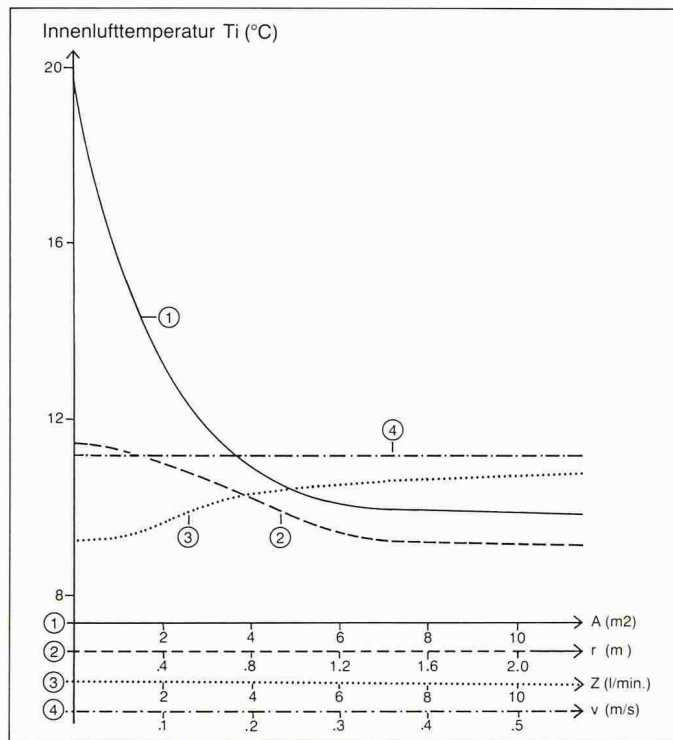


Bild 6. Innenluft- und Kühlwassertemperatur in Abhängigkeit von Geometrie, Wasserzufluss und Windgeschwindigkeit [Variable Parameter: 1: Wasseroberfläche A (m^2). - 2: Innenradius r (m). - 3: Quellwasserzufluss Z (l/min.). - 4: Windgeschwindigkeit v (m/s). - Konstante Parameter: 2,3,4: $A = 2 \cdot 2 \cdot \pi$. - 1,3,4: $r = 2$. - 1,2,4: $Z = 1.5$. - 1,2,3: $v = 0.1$]

Die Temperaturkurven von Bild 7 verlaufen annähernd linear mit der relativen Feuchte der Aussenluft. Jedem Monat der für die Milchwirtschaft interessanten Periode sind zwei Innentemperaturkurven, eine Kurve der mittleren Aussenlufttemperatur und eine mit einem Stern markierte mittlere relative Feuchte zugeordnet. Man beachte, dass sich einzelne sehr warme Tage wegen

der grossen Beharrung des Baukörpers auf die Klimadaten im Innern kaum auswirken. Aus diesem Grunde sind die Monatsmittelwerte die geeigneten Randbedingungen des Problems. Bild 7 enthüllt, dass das betrachtete Kühlsystem (angeschlossen an eine Quelle mit $TQ = 8^\circ C$) am besagten Standort nur im Frühjahr zur Aufbewahrung von Milch taugt. Die Aussenluft müsste

sehr viel weniger Wasserdampf enthalten, um einen längeren befriedigenden Betrieb zu gewährleisten.

Die Verlagerung des «Crôt»-Standortes in höhere Regionen begünstigt den Betrieb (vgl. Bild 8), obwohl die Luftfeuchtigkeit dabei weiter ansteigt. Der Einfluss der sinkenden Aussenlufttemperatur ist somit dominant. Auch bei höher gelegenen «Crôt» ist die Quell-

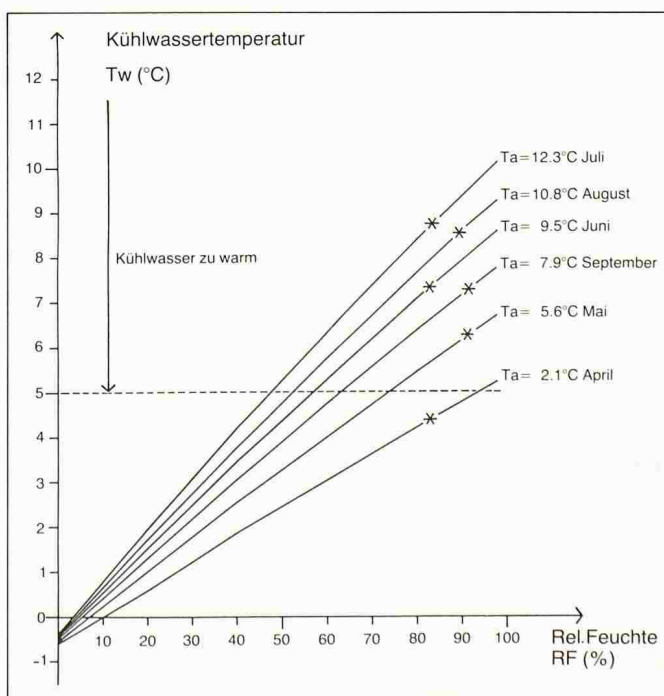
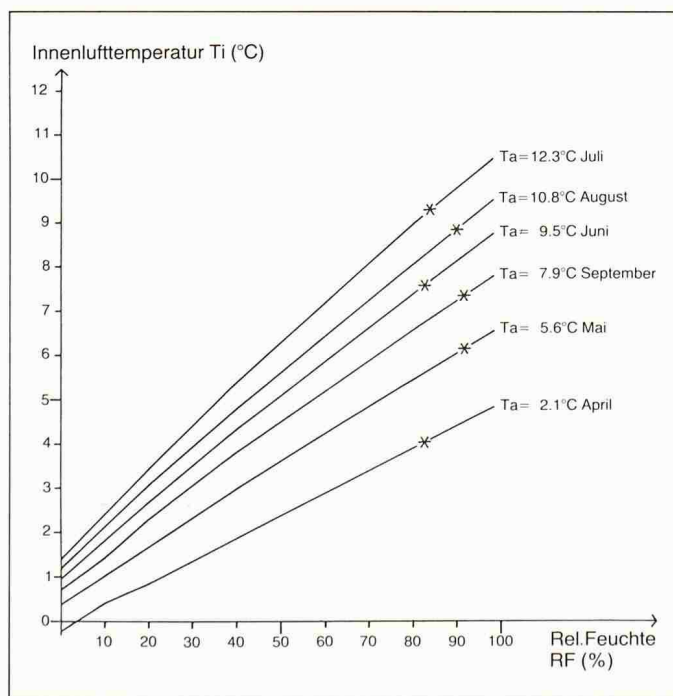


Bild 7. Innenluft- und Kühlwassertemperatur in Abhängigkeit der relativen Feuchte der Aussenluft (mit Monatsmittelwerten der Lufttemperaturen von Robbia als Kurvenparameter)

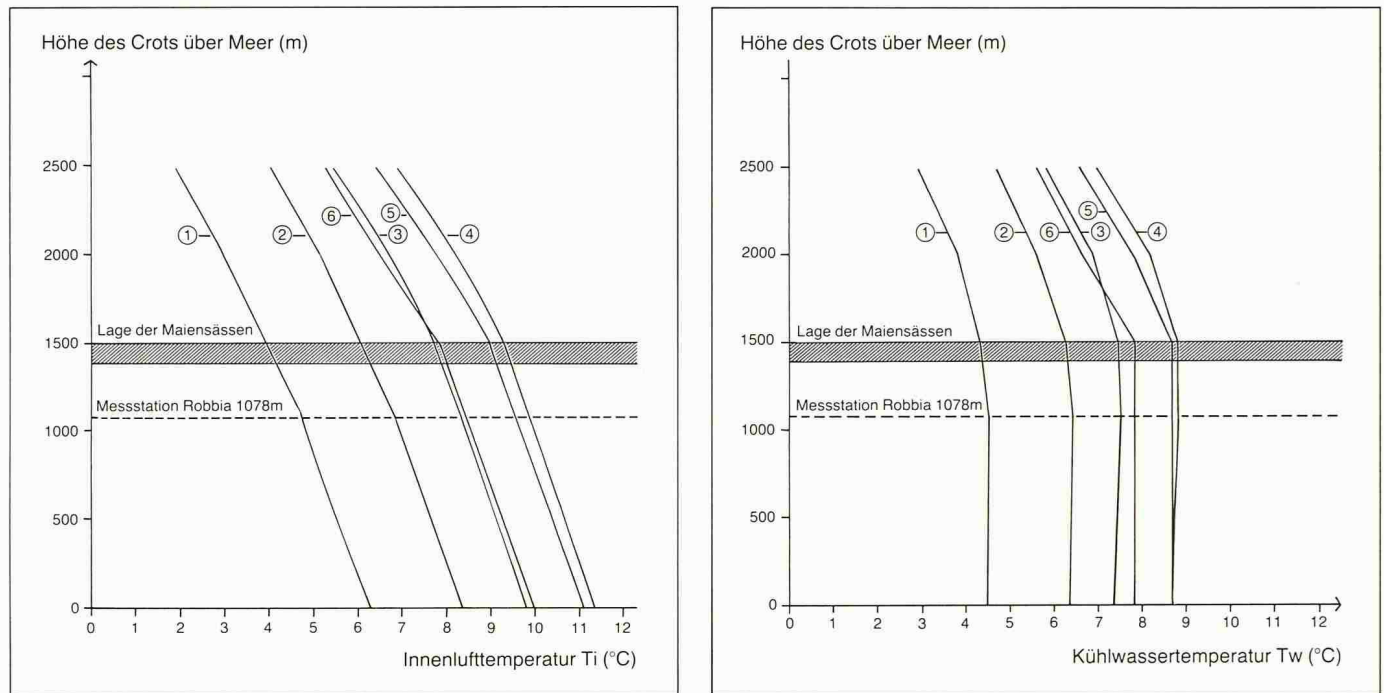


Bild 8. Einfluss der Standorthöhe auf die Innenluft- und die Kühlwassertemperatur [1: April. 2: Mai. 3: Juni. 4: Juli. 5: August. 6: September]

wassertemperatur für die Qualität des Kühleffekts ausschlaggebend. Bild 8 zeigt weiter eine auffallende Konstanz der Kühlwassertemperatur bei Standortverlagerungen in tiefere Regionen. Der «Cròt» funktioniert dort ebenfalls nur unbefriedigend, falls nicht das Aussenklima wesentlich trockener ist.

Wirtschaftsgeschichtliche Deutung

Es zeigt sich somit, dass der Puschlaver Kühl-«Cròt» in bauphysikalischer Hinsicht offenbar als eine sehr empfindliche, wenig betriebssichere und von speziellen Bedingungen an Ort abhängige Einrichtung bezeichnet werden muss. Sie genügt bei den heutigen Klimaverhältnissen vor allem nach der Schneeschmelze während einiger Wochen den strengen Anforderungen der Milchwirtschaft. An besonders günstigen Standorten kann die Ausnützungszeit durch Kaltwasser- und Kaltluftaustritte verlängert werden. Immerhin ermöglichen die geologischen Eigenheiten des Puschlavs (strukturell inhomogene Gneisschichten mit Klufterscheinungen und senkrecht gestellten Schichtkeilen) ein relativ häufiges Vorkommen solcher günstiger topographischer Gegebenheiten.

Dass aber doch eine Reihe ganz besonderer natürlicher Rahmenbedingungen erfüllt sein müssen, damit ein Trockenmauer-Rundling als Kühlhaus tauglich ist, lässt es als sehr unwahrscheinlich

annehmen, dass die «Cròt»-Bauten in dieser speziellen Nutzung aus einer anderen Region – etwa aus wärmeren Klimazonen – als ein fertig entwickeltes System importiert wurden (sei es im Zuge von Wanderbewegungen der Bevölkerung oder auch nur durch Weitergabe des technischen Wissens). Vielmehr scheint es sich um eine lokale Weiterentwicklung der (wohl in längerer Tradition vorkommenden) Schutzhütten-, Küchen- und Stallbauten zu handeln, veranlasst durch wirtschaftliche Zwänge, die ein Bedürfnis nach Kühlkellern schufen. Für diese Hypothese spricht auch der Umstand, dass offensichtlich bis zuletzt der Kühleffekt der «Cròt» von den Steinwerkern eher empirisch als mit theoretischem Wissen gesucht wurde: Viele Bauten sind nicht optimal ausgelegt: sie zeigen Konstruktionsfehler wie fehlende «Camicia», dünne Giebelplatten ohne Wärmeschutz, ungeeignete Fundamente, ungeeignete Fugensysteme und falsch bemessene Wasserversorgung.

Zu bedenken ist jedoch, dass nach den jüngsten Ergebnissen der Klimageschichte unseres Landes seit der Zeit, aus der die ältesten eingemeisselten Jahreszahlen der Puschlaver «Cròt» stammen, eine eigentliche Klimaverschiebung eingetreten ist. In der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts lagen die gesamtschweizerischen Jahresmitteltemperaturen um 0,6 °C und mehr unter den Mittelwerten des 20. Jahrhunderts, und insbesondere die Sommer waren häufig kaum wärmer als in der

unmittelbaren Gegenwart ein schöner Mai. Auch die Niederschläge fielen von 1800 bis 1860 um 5% geringer aus als von 1900 bis 1960. Das kühlere und trockenere Klima bewirkte natürlich, dass sehr viel weniger heikle Bedingungen erfüllt sein mussten, damit ein «Cròt» durchaus noch als Kühlkeller tauglich war: der Spielraum dieser «Toleranzen» wird noch einmal erweitert, wenn man sich die wesentlich wärmeresistente Rohmilch (mit anderen Keimarten und Säurebakterien als in der modernen Molkereiwirtschaft) in Erinnerung ruft, die im 19. Jahrhundert verarbeitet wurde.

Nun war aber das 19. Jahrhundert eine Ära tiefgreifenden wirtschaftlichen und soziologischen Umbruchs für die Puschlaver Bauern, von denen die meisten bis dahin seit Menschengedenken als selbständige nomadisierende Viehzüchter Selbstversorger gelebt hatten. Dieser archaisch anmutende Individualismus wich im letzten Jahrhundert einer genossenschaftlichen Ordnung. Die Maiensässen und Alpen wurden nun – wie in anderen alpinen Regionen schon seit Jahrhunderten – mehr und mehr von Sennen mit dem Vieh der Talbauern bestossen, mit Herden ausserdem, in denen Tiere mit höherer Milchleistung an die Stelle der genügsamen einheimischen Rasse getreten waren, denn der messbare Ertrag der Sömmernung bestand für den Besitzer in Käseläuben. Die neue Bedeutung der Käseproduktion, dadurch die Notwendigkeit längerer Lagerung von

Bildnachweis

Bild 1, Foto: *Luca Maraini*, dipl. Arch. ETH/BSA/SIA. Bilder 2-8, Zeichnungen und Diagramme: *Sabine Scheurer*, stud. Arch. HTL

mehr Milch – aus diesen wirtschaftlichen Gegebenheiten entstand offenbar

der Zwang, der letztlich die Weiterentwicklung des Puschlaver Kragkuppelhauses zum Kühl-«Cröt» zur Folge hatte. Diese Annahme findet übrigens eine verblüffende Parallele in der Feststellung, dass auch die Milchkeller auf den Maiensässen des Schächentals, insbesondere die Einrichtung der wasserdurchflossenen «Bachnytlar», ein Ergebnis von Umwälzungen in der Milch-

wirtschaft (Übergang zur Produktion von Magerkäse, entsprechend längere Lagerung der abgerahmten Milch) im Laufe des 19. Jahrhunderts waren.

Adresse des Verfassers: Prof. Dr. *Klaus Speich*, Höhere Technische Lehranstalt, HTL, Klosterzelgstr., 5200 Windisch.

Instandsetzung und Unterhalt von Bauten aus Beton und Stahlbeton

Das Institut für Baustofflehre und Materialprüfung an der Universität Innsbruck veranstaltete gemeinsam mit dem Österreichischen Betonverein am 14. und 15. Januar 1988 eine internationale Fachtagung über «Instandsetzung und Erhaltung von Bauten aus Beton und Stahlbeton», zu der über 350 Fachleute aus Deutschland, Österreich und der Schweiz nach Innsbruck-Igls kamen. In 20 Fachvorträgen mit anschließender offener Aussprache wurden Erfahrungen und Forschungsergebnisse ausgetauscht und zur Lösung anfallender Probleme beigetragen, wie z.B. Korrosionsschutz von Stahl in Beton, Instandsetzung mit Fertigmörteln im Spritzverfahren, Sanierung von Spannbetonbauten, grossflächige Beschichtungssysteme (Dichtungsschlämmen), Fugen- und Rissanierung, Qualitätssicherung, Verfahrens- und Kostenvergleiche.

Dr. W. Lukas, Universität Innsbruck, weist auf den wachsenden Erhaltungsbedarf bei Betonbauten und die Informationsflut über Schadensursachen, -erfassung und -sanierung hin. Falsche Material- und Verfahrenswahl kann die Sanierung der Sanierung zur Folge haben.

Korrosion von Stahl in Beton

R. Springenschmid und *A. Volkwein*, TU München, zeigen in ihrem Vortrag über elektrochemische Grundlagen für das Rosten von Stahl in Beton die sich daraus ergebenden Folgerungen für die Instandsetzung von Stahlbeton- und Spannbetonbauwerken, und *D. Jungwirth*, München, fordert aus der Sicht der Ausführenden robuste Erhaltungssysteme, die klaren Anforderungen (Tab. 1) genügen und die durch eindeutige Nachweise zu belegen sind [1].

Nach *P. Schiessl*, TU Aachen, erreicht man die Sanierung von Korrosionsschäden der Bewehrung von Stahlbetonbauteilen je nach Ursache des Rostens [2, 3] durch Repassivierung der Stahloberfläche und durch dauerhafte

Realkalisierung der Umgebung der Bewehrung. Unterbinden des elektrolytischen Prozesses durch Absenken des Wassergehaltes im Beton und Verhindern der anodischen Eisenauflösung durch Beschichten der Stahloberfläche, wo durch Beton der Korrosionsschutz nicht gewährleistet werden kann, oder durch kathodischen Korrosionsschutz [4]; für diese drei Sanierungsmassnahmen sind unterschiedliche Anforderungen an den Betonausbruch, die Vorbehandlung der Stahloberfläche, die Eigenschaften der Sanierungsmörtel und Betonschutzmassnahmen zu stellen.

Bei Chlorideinwirkung unterscheidet *G. Hartl*, Wien, bei Stahlbeton Chloridgehalte an der Bewehrungsoberfläche von unter 1% der Zementmasse und darüber sowie ohne und mit Korrosion

– bei Spannbeton unter 0,2% und darüber – und schlägt Instandsetzungsmassnahmen für Mindestanforderungen und Optimallösungen vor.

Sanierung mit Spritzmörtel und Spritzbeton

Nach *W. Kusterle*, Universität Innsbruck, kann man frostaussatzgeschädigte Betonflächen mit rein zementgebundenem Spritzmörtel/-beton dauerhaft sanieren (Entfernen des Betons nur an Rissen und korrosionsbedingten Abplatzungen und Verzicht auf besonderen Korrosionsschutz der Stahleinlagen), wenn die Instandsetzung grossflächig ausgeführt wird [26]; vorausgesetzt wird eine gute Nachbehandlung des Spritzmörtels/-betons (Fertigprodukte) und die Möglichkeit zum Vergrössern der Betondeckung der Bewehrung.

W. Rosa, Nürnberg, befasst sich mit dem Erkennen und Abstellen der Ursachen von Betonschäden und deren Sanierung mit Spritzbeton [7-10], der kostenintensivsten aber langlebigsten Instandsetzungsart. Eingegangen wird auf den Einfluss von Verkehrserschütterungen auf die Spritzbetonqualität bei Brückensanierungen [11], die Modifizierung des Spritzbetons mit Kunststoffdispersionen, den kathodischen Schutz von chloridgeschädigtem und versuchsweise auch von karbonatisiertem Beton und Leichtbeton.

F. Petscharnig, Klein St. Paul, Österreich, schlägt für die Betonsanierung fabrikmässig hergestellte, in Säcken, Containern oder Silofahrzeugen angelieferte Fertigmörtel/-betone mit Gewährleistung zugesicherter Eigenschaf-