

Zeitschrift: Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural

Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

Band: 81 (1983)

Heft: 8

Artikel: Fortschritte in der Erkundung und Bewirtschaftung des Grundwassers

Autor: Trüeb, E.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-231649>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 16.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Fortschritte in der Erkundung und Bewirtschaftung des Grundwassers

E. Trüeb

Die Forschungsarbeiten des Nationalen Forschungsprogramms sind Ende 1982 abgeschlossen worden. Über einzelne Aspekte hat der Nationalfonds bereits im Laufe der Arbeiten orientiert. Er ist nun in der Lage, eine Synthese der wesentlichen Ergebnisse nach dem Abschluss der Untersuchungen vorzulegen. Die Beschränkung auf das Teilprogramm «Grundwasser» ist bewusst vorgenommen worden, um die Präsentation nicht zu sehr zu überladen.

Le Fonds national a déjà rendu publics, au fur et à mesure de l'avancement des travaux de recherche, certains aspects du programme national. L'achèvement des études à la fin de 1982 a permis la synthèse des principaux résultats. Pour ne pas en surcharger la présentation, un seul des deux thèmes sera traité d'abord, celui concernant les ressources en eaux souterraines.

Sagemumwobenes Grundwasser

Was unsichtbar, dem Auge entzogen, tief im Erdinnern dahinfließt, ist von vielen Geheimnissen umgeben. Kein Wunder, dass Quellen und unterirdische Wasserläufe im Sagenschatz der Völker einen breiten Raum einnehmen. Auch heute noch bestehen bei manchen Leuten an Mystik grenzende Vorstellungen über Fliessweg und Herkunft des Grundwassers. Dies nicht ganz zu Unrecht, denn selbst nach abgeschlossenem Forschungsprogramm sind nicht alle Fragen bis ins letzte Detail geklärt.

Bei den beschränkt zur Verfügung stehenden Mitteln gebietet die Abwägung von Kosten und Nutzen, sich auf das Wesentliche zu beschränken und auf nur Wünschbares zu verzichten, denn die Nationalen Forschungsprogramme sind auf die Bedürfnisse der Praxis auszurichten. Der erfahrene Grundwasser-Ingenieur weiss, dass bei der Heterogenität der schweizerischen Grundwasserleiter und den mannigfachen und komplexen Wechselbeziehungen zwischen dem Oberflächenwasser und dem Grundwasser überschaubare Modelle mehr bringen als sophistische Ansätze ohne eindeutige Parameteridentifikation. Hauptgrundlage bleibt indessen nach wie vor der zuverlässige Einblick in den Speisungsmechanismus und die damit gekoppelten Variationen von Menge und Beschaffenheit des Grundwassers. Zur Erleichterung des Überblickes über diese komplexen Verhältnisse leistet die Gliederung der Grundwassertypen nach der Herkunft des Wassers gute Dienste.

Typologie der Grundwasservorkommen

Zur Charakterisierung des Grundwassers nach den Mechanismen seiner Speisung dient die Unterteilung in

- «echtes» Grundwasser
- natürlicherweise durch Versickerung von Bach- oder Flusswasser gespeistes Grundwasser
- Uferfiltrat und
- künstlich angereichertes Grundwasser.

Die folgenden Ausführungen beschränken sich weitgehend auf das sogenannte Lockergesteinsgrundwasser, das heisst, auf dasjenige, das zum Beispiel in Sanden und Kiesen langsam dahinfließt, weil dieses für die Wasserversorgung unseres Landes von überragender Bedeutung ist. Das Karst- und Kluftgrundwasser, das in Lösungshohlgängen und Klüften der Festgesteine zirkuliert, war Gegenstand des Projektes von Prof. Dr. A. Burger von der Universität Neuenburg. Darauf wird in dieser kurzen Übersicht nicht eingetreten, weil das Karstgrundwasser für die Trinkwasserversorgung unseres Landes von untergeordneter Bedeutung ist.

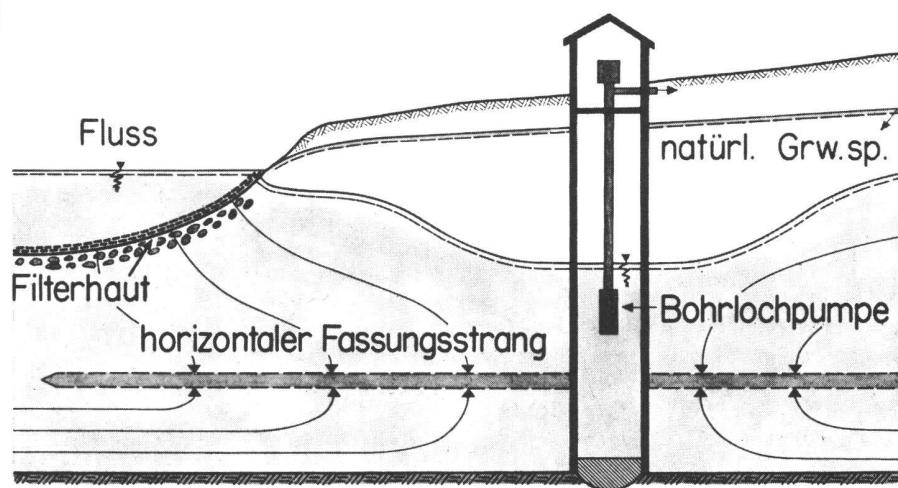
Unter sog. «echtem» Grundwasser versteht man solches, das ausschliesslich

durch *direkte Versickerung* des Niederschlages gebildet wird. Dabei kommt der Filterwirkung der humosen Bodenkörnung überragende Bedeutung zu. Mit fortschreitender Versiegelung der Landschaft durch Strassen, Vorplätze, Dachflächen usw. wird die Bildung von «echtem» Grundwasser immer mehr beeinträchtigt.

Damit auf die Dauer Grundwasserleiter *natürlicherweise* aus Bächen und Flüssen gespeist werden, müssen zwei Voraussetzungen erfüllt sein. Flusswasser kann nur dann in den Grundwasserleiter versickern, wenn durch die örtlichen hydrologischen Verhältnisse vorgegeben ein Gefälle zum Grundwasser vorhanden ist. Darüber hinaus muss die Flusssohle durchlässig bleiben, was nur dann gewährleistet ist, wenn bei Hochwasser Geschiebetrieb auftritt und dadurch immer wieder eine selbsttätige «Filterwäsche» ausgelöst wird, was bei aufgestauten Flüssen oft nur noch bedingt der Fall ist.

Unter *Uferfiltrat* versteht man den Oberflächenwasseranteil, der durch die gezielte Absenkung des Grundwasserspiegels in Flussnähe durch die künstlich angefachte Ufer- und Sohlenpassage erzeugt wird, wie dies mit der untenstehenden Abbildung verdeutlicht wird.

Zur *künstlichen Anreicherung* des Grundwassers wird Wasser aus Seen und Flüssen meist über offene Becken in den Grundwasserleiter versickert. Wo das dazu erforderliche Gelände fehlt, kann das Wasser auch über Schluckbrunnen, Sickerleitungen undgl. in den Grundwasserleiter eingespeist werden.



Schematische Darstellung der Gewinnung von Uferfiltrat

Allerdings muss es vorher bis beinahe zur Trinkwassergüte aufbereitet werden. Einen Sonderfall der künstlichen Anreicherung stellt die Untergrundspeicherung von Trinkwasser dar.

Relevanz des Grundwassers für die Wasserversorgung der Schweiz

Zählt man das Quellwasser hinzu, das in hydrogeologischem Sinne nichts anderes ist als mit freiem Gefälle zutage tretendes Grundwasser, so ist das Grundwasser mit 83% an der Wassergewinnung der Schweizer Wasserwerke beteiligt. Der Anteil des aufbereiteten Seewassers beträgt somit nur 17% und wird hauptsächlich in den grossen Städten wie etwa in Genf, Lausanne, Neuenburg, St. Gallen und Zürich verwendet. Es gibt aber auch grosse Städte, die ausschliesslich mit Grundwasser versorgt werden, wie zum Beispiel Basel, Bern und Winterthur. Damit wird die überragende Bedeutung, die dem Grundwasser für die Wasserversorgung unseres Landes zukommt, offensichtlich. Darüber hinaus ist der entscheidende Beitrag zu beachten, den das Grundwasser zur Notstandwasserversorgung leistet.

Forschungsergebnisse in quantitativer Hinsicht

Will man die Ergiebigkeit eines Grundwasservorkommens quantifizieren, um z. B. beurteilen zu können, wie viel Wasser man auf die Dauer daraus zur Wasserversorgung entnehmen darf, ohne nachteilige Auswirkungen auf die ökologischen Verhältnisse, wie untragbare Spiegelsenkungen oder Trockenlegung von Grundwasserbächen (Giesen) usw. zu verursachen, ist die genaue Kenntnis aller Zu- und Wegflüsse sowie der Speisung durch Versickerung von Niederschlag und Infiltration aus Bächen und Flüssen unerlässlich. Die Gesamtschau dieser komplexen Wechselwirkungen nennt man Bilanzierung eines Grundwasservorkommens.

Eine solche Bilanzierung wird durch die besonderen hydrogeologischen Verhältnisse unseres Landes wesentlich erschwert. Diese sind gekennzeichnet durch die extreme Heterogenität und Anisotropie unserer Lockergesteinsgrundwasserleiter. Unter Heterogenität versteht man die ungleichartige Zusammensetzung des porösen Lockergesteins. Meist ist in unserem Land eine Wechsellagerung von Kies, Sand, Silt und Ton festzustellen, wobei eine mehr oder weniger horizontale Lagerung vorherrscht. Ein besonderes Merkmal ist, dass präferentielle Fliesswege auftreten. In Adern grobkörniger Sedimente findet die Strömung Bereiche geringeren Widerstandes, weshalb dort das Wasser bevorzugt transportiert wird. Anisotrop ist ein Körper dann, wenn er

in verschiedener Richtung verschiedene physikalische Eigenschaften aufweist. Vornehmlich bedingt durch den heterogenen Aufbau ist die Durchlässigkeit unserer Grundwasserleiter in horizontaler Richtung etwa 100 bis 1000mal grösser als in vertikaler Richtung. Strömungen quer zur Schichtung verursachen deshalb viel grössere Druckverluste. Darauf sind u. a. die zusätzlichen Druckverluste zurückzuführen, die im Infiltrationsbereich auftreten. Insbesondere ist die in Exfiltrationsbereichen festgestellte sog. Hangquelle die Folge der durch Umlenkung der Strombahnen verursachten zusätzlichen Druckverluste.

In dieser Hinsicht hat das Nationale Forschungsprogramm einen entscheidenden Durchbruch gebracht. Mittels besonders schlanker, für kleinkalibrige Aufschlussbohrungen geeigneter Strömungsmesser ist es gelungen, die bei Pumpbetrieb auftretende Variation des Volumenstromes über das Bohrprofil genau aufzuzeichnen und daraus die Verteilung der Durchlässigkeit abzuleiten. Dabei wurde auch festgestellt, dass in den Beobachtungsrohren meist auch eine Strömung vorherrscht, ohne Pumpbetrieb. Der in den einzelnen Schichtpaketen ungleiche Druck führt zu einer Ausgleichsströmung. In Infiltrationsbereichen ist diese meist abwärts, in Exfiltrationsbereichen meist aufwärts gerichtet. Es sind aber auch Fälle bekannt, in denen die Strömung z. B. im untern Teil des Profils aufwärts und im obern Teil abwärts gerichtet ist, um in einer besonders gut durchlässigen Schicht wegzufliessen, d. h. den Weg des geringsten Widerstandes einzuschlagen. Zur Überprüfung der Druckverhältnisse dienen äussere Manometerleitungen. Für die Vielzahl bereits bestehender Aufschlussbohrungen wurde ein Verfahren zur besseren Ermittlung der Durchlässigkeit mittels innerer Manometerleitungen entwickelt. Die mit den Strömungsmessungen gewonnenen Erkenntnisse zeigen aber auch, dass dem Ausbau der Beobachtungsbrunnen viel mehr Beachtung geschenkt werden muss als bisher. So liefert z. B. die kontinuierliche Temperaturmessung mit dem Elektrothermometer zur Erfassung der Temperaturverteilung über das Bohrprofil nur dann korrekte Resultate, wenn sie von oben nach unten in Vollrohren geringen Durchmessers durchgeführt wird, es sei denn, es stünden eingesandete Sensoren zur Verfügung.

Eine zuverlässige Bilanzierung setzt u. a. die Quantifizierung der Infiltration und Exfiltration voraus. Mit dem Tauchstab ist es gelungen, im Infiltrationsbereich, wo die Wassermengen oft so gering sind, dass sie mit den konventionellen Messflügeln nicht mehr erfasst werden

können, den Nachweis zu erbringen, dass die Infiltrationsmenge bei perkolativer Infiltration vor allem durch die benetzte Fläche bestimmt wird und damit in der Grössenordnung der Leistung offener Langsandsfilter liegt. Aber auch im Exfiltrationsbereich leistet der Tauchstab gute Dienste, weil damit mit weniger Aufwand an Personal und technischen Hilfseinrichtungen rascher gemessen werden kann als mit dem Messflügel.

Eine wesentliche Bilanzierungsgrösse bildet der Versickerungsanteil des gefallenen Niederschlages. Dieser wird massgeblich beeinflusst von der Dauer und Intensität des Niederschlagsereignisses, dem Verdunstungsverlust, dem Wassergehalt der Humusdecke und dem Verzögerungsfaktor bei grösserem Flurabstand. Im Testgebiet Emmental wurde zur Ermittlung der einzelnen Einflussgrössen ein leicht praktikables Kaskadenmodell entwickelt.

Die eigentliche Bilanzierung eines Grundwasservorkommens, d. h. der Input- und Outputgrössen, wird mit mathematischen Modellen vorgenommen. Zur erforderlichen Iteration dienen Rechenanlagen. Als Input sind zu betrachten:

- unterirdischer Zufluss
- unterirdische Speichervariation
- Sickerwasseranteil des Niederschlages
- randliche Zuflüsse
- Speisung durch Infiltration aus Bächen und Flüssen.

Der Output ist gegeben durch:

- unterirdischen Wegfluss
- Entnahme zur Grundwassernutzung
- Exfiltration in Bäche und Flüsse.

Dank der engen Zusammenarbeit der Forscherteams und des laufenden Erfahrungsaustausches ist es nicht nur gelungen, die für die Grundwassergebiete an der Arve bei Genf, des Unteren Emmentals bei Burgdorf und des Vedeggio bei Lugano aufgestellten mathematischen Modelle zuverlässig zu eichen. Darüber hinaus zeigte sich auch, dass es zu rascheren Parameteridentifikationen sinnvoll ist, die von den einzelnen Teams verwendeten Verfahren zu kombinieren. Mit der Untersuchung von Grundwasserproben auf ihren Gehalt an Umweltisotopen konnte der Beweis erbracht werden, dass auch die klassischen Tracer wie Temperatur, Wasserhärte, Chloridgehalt usw. bei fachgerechter Interpretation dazu geeignet sind, randliche Zuflüsse sowie Infiltrationen und Exfiltrationen zu erkennen und zum Teil sogar zu quantifizieren. Doch bleibt unbestritten, dass instationär geeichte Grundwassermodelle das beste Prognoseinstrument bilden, um Eingriffe in ein Grundwasservorkommen und Nutzungskonzepte zuverlässig vorherzusagen.

Forschungsergebnisse in qualitativer Hinsicht

Beinahe alle ergiebigen Grundwasservorkommen im Lockergestein unserer fluvioglazial geformten Täler werden vorwiegend mit Wasser gespeist, das natürlicherweise aus Bächen und Flüssen versickert. Damit wird der Zusammenhang zwischen Oberflächenwasser und Grundwasser in gutemässiger Hinsicht offensichtlich. Nicht zuletzt deshalb messen die Grundwassernutzer einem intensiv betriebenen Gewässerschutz höchste Priorität zu. Darüber hinaus müssen sie wissen, in welchem Masse bei der Ufer- und Sohlenpassage sowie bei der Untergrundpassage unerwünschte Wasserinhaltsstoffe eliminiert werden.

Die von der Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG) an der Glatt oberhalb von Glattfelden durchgeführ-

ten Feldversuche zeigen, dass die grösste Reinigungswirkung der biologisch aktiven Flusssohle zukommt. Die Adsorptionswirkung an den durchströmten Untergrund wird durch dessen Gehalt an organischem Kohlenstoff verbessert und steigt mit zunehmender Fettlöslichkeit einer bestimmten Substanz an. Während selbst einige chlorierte Kohlenwasserstoffe noch im Untergrund biologisch abgebaut werden, wurden vor allem die bei der chemischen Reinigung und der Metallentfettung verwendeten Lösungsmittel als biologisch kaum abbaubar und auch als schlecht an das Bodenkorn absorbierbar erkannt.

Damit sind die Grundlagen gegeben, um zu beurteilen, wo die Aufsicht zu beginnen hat, bis die Umstellung auf Lösungsmittel vollzogen ist, die besser eliminierbar und damit weniger gewässergefährlich sind.

Am Subprogramm «Grundwasserdargebot des Nationalen Forschungsprogrammes «Grundlegende Probleme des schweiz. Wasserhaushaltes» waren die folgenden Projekte beteiligt:

Dr. G. Beatrizotti, Bellinzona, Optimierung der Grundwasserbewirtschaftung anhand des inversen Grundwassermodells VEDEGGIO

Dr. R. Blau, WEA Bern, Grundwasserdargebot EMMENTAL, Bilanzierung und Durchlässigkeitsermittlung

Bonnard et Gardel, Lausanne, Simulation numérique d'une nappe souterraine, appliquée à la nappe de l'ARVE

Prof. Dr. A. Burger, Universität Neuchâtel, structure et hydrodynamiques des aquifères karstiques

EAWAG Dübendorf, Elimination von Wasserinhaltsstoffen beim Infiltrationsprozess

Prof. Dr. H. Oeschger, Universität Bern, Isotopenstudien im Jurakarst und im Grundwasservorkommen der Arve.

Adresse des Verfassers:

Prof. E. Trüeb

Institut für Hydromechanik

ETH-Hönggerberg, CH-8093 Zürich

SIA-FKV/SIA-GRG

Fachgruppe der Kultur- und Vermessungsingenieure
Groupe spécialisée des ingénieurs du génie rural et des ingénieurs-géomètres

Protokoll der Generalversammlung vom 18. September 1982 im Hotel Krone, Lenzburg

Anwesend:

Vom Vorstand: Herren P. Blum, Präsident, R. Arioli, F. Bernhard, R. Capezzoli, W. Flury, J. P. Meyer, P. Regamey, H. R. Strasser, W. Wilhelm.

Von der Fachgruppe: 54 Mitglieder

Entschuldigt: 22 Mitglieder

Protokoll: F. Bernhard

Stimmzähler: Alfred Bruni, Peter Bühler

Der Präsident eröffnet die Generalversammlung und begrüsst namentlich die Herren

– Professoren Chaperon, Gagg, Regamey, Weidmann

– M. Besse, Präsident der Meliorationsamtsstellenkonferenz

– F. Helbling, Chef des EMA

– E. Strebler, Ehrenmitglied

Ein spezieller Dank geht an Kurt Brunner, Chef des Meliorationsamtes des Kantons Aargau, an die Herren Referenten und an alle Beteiligten für die riesige Organisationsarbeit der Tagung vom Donnerstag und Freitag.

Da keine Abänderungswünsche vorgebracht werden, präsentiert sich die Tagesordnung wie folgt:

Traktanden

1. Protokoll der GV vom 15.8.1981 in Montreux

2. Jahresbericht des Präsidenten

3. Jahresrechnung 1981

4. Tätigkeitsprogramm 1983

5. Voranschlag 1983 und Festlegung der Jahresbeiträge

6. Wahlen

7. Kurzorientierung über den Stand der Arbeit in unseren Arbeitsgruppen

8. Varia

1. Das *Protokoll* der GV vom 15.8.1981 in Montreux wird einstimmig genehmigt und dem Protokollführer J. P. Meyer bestens verdankt.

2. Der *Jahresbericht des Präsidenten* ist allen Mitgliedern zusammen mit der Einladung zugegangen.

Der Präsident gibt dazu seine Erläuterungen und streicht einige Punkte speziell heraus:

– Nach aussen ist die Fachgruppe im vergangenen Jahr nicht stark in Erscheinung getreten, dafür waren die internen Aktivitäten im Vorstand und in den Arbeitsgruppen umso intensiver. Noch nie mussten so viele Stellungnahmen abgegeben werden. Der Vorstand wird vermehrt auf die Mithilfe der Vereinsmitglieder angewiesen sein.

– Unsere Fachgruppe sollte die Public Relations etwas aktivieren. Dazu steht natürlich die Propaganda der Mitglieder als wirkungsvollstes Mittel zur Verfügung. Aber auch die Zeitschrift VPK und die Tagespresse sollten vermehrt eingesetzt werden.

– Im vergangenen Jahr waren 19 Eintritte und 3 Austritte zu verzeichnen. Leider musste auch der Tod unseres langjährigen Mitgliedes Armando Hofmann, Andelfingen, zur Kenntnis genommen werden. Die Versammlung erhebt sich kurz zu seinen Ehren.

Der Präsident dankt den Vorstandsmitgliedern für die geleistete Arbeit. Der Jahresbericht wird ohne Diskussion mit Applaus genehmigt.

3. Renato Capezzoli präsentiert die *Jahresrechnung 1981*, die sogar noch etwas besser als im Voranschlag ausfällt. Die Mehrausgaben bei Position 300, Büromaterial, die auf die Mitgliederverzeichnisse zurückzuführen sind, konnten bei der Position 303, Spesen, wettgemacht werden. Es wird keine Diskussion verlangt. Wegen Abwesenheit beider Rechnungsrevisoren wird der Revisorenbericht vom Rechnungsführer selber verlesen. Die Jahresrechnung wird einstimmig genehmigt.

4. Der aus dem Vorstand ausscheidende Walter Flury gibt als «Dienstältester» einen *Rückblick auf das letzte Jahrzehnt*:

– Das Arbeitsvolumen im Vorstand hat sich in den vergangenen 10 Jahren etwa verdreifacht. Damit der Präsident nicht allzusehr überlastet wurde, ist im Vorstand das Ressortprinzip eingeführt worden; auch sind für Einzelfragen vermehrt Mitglieder zur Unterstützung beigezogen worden.

– 1974 ist als Leitthema für das kommende Jahrzehnt «Grundsatzfragen des Meliorationswesens» festgelegt worden. Mehr oder weniger konsequent sind dann alle Vorträge und Tagungen auf dieses Leitthema ausgerichtet gewesen. An diesem Grundsatz sollte auch in Zukunft festgehalten werden.

– Es ist grosser Wert auf Koordinationsbestrebungen und Kooperation mit verwandten Berufsgruppen, beruflichen Vereinigungen und Amtsstellen gelegt worden, immer im Bestreben, unser Arbeitsfeld zu sichern und auszubauen.

– Ein zentrales Anliegen war immer wieder die Weiterbildung der Mitglieder. Jeder Kulturingenieur sollte jährlich 10 Tage dafür verwenden können, denn Stillstand bedeutet hier Untergang.

Für das Jahr 1983 sind folgende *Aktivitäten* vorgesehen: