

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 96 (1978)
Heft: 49

Vereinsnachrichten

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: 10.01.2026

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

Grundwasseranreicherung

Bericht der SIA-Kommission für Wasserwissenschaft-Wassertechnik

I.

Die Entwicklung der menschlichen Aktivitäten und der industriellen Technik verursachen eine beunruhigende Bedrohung unserer vitalen Elemente: Wasser und Luft. Sie führen gleichzeitig zu einer Zunahme des Bedarfs an Trink- und Brauchwasser, der heute nicht mehr überall und zu allen Zeiten mit den natürlichen Wasservorkommen der Region gedeckt werden kann.

Bis in die heutige Zeit hatte die Schweiz, das «Wasserschloss Europas», keine grossen Probleme in der Wasserbeschaffung. Bei der Verwendung von Oberflächenwasser tauchten aber im Zusammenhang mit der wachsenden Verschmutzung Schwierigkeiten auf, welche die Aufbereitung solchen Wassers vermehrt heikel und aufwendig gestalten. Das Grundwasser hingegen stellt auch heute noch eine relativ gut geschützte Reserve dar. Unabhängig von den mehr oder weniger günstigen klimatischen Bedingungen verursachen die menschlichen Aktivitäten einerseits eine ständige Verminderung der natürlichen Neubildung von Grundwasser und andererseits eine vermehrte Nutzung desselben. Zu diesem quantitativen Gesichtspunkt gesellt sich der noch schwerwiegendere qualitative. Von den Verschmutzungsstoffen in Oberflächenwasser werden im Untergrund giftige (toxische) und andere Suspensionen sowie krankmachende (pathogene) Keime im allgemeinen leicht ausgeschieden. Gelöste Stoffe, vor allem aus Industrie und Landwirtschaft, die im Abwasser, in der Atmosphäre oder in Ablagerungen vorkommen, können für das Grundwasser hingegen eine Gefahr darstellen.

Die künstliche Grundwasser-Anreicherung d.h. die künstliche Neubildung von Grundwasser aus Oberflächenwasser, bietet eine Möglichkeit für den Schutz und die Aufrechterhaltung

der Grundwasserreserven in qualitativer und quantitativer Hinsicht, vorausgesetzt, alle Massnahmen werden ergriffen, um eine Einleitung von gefährlichen Stoffen in das Grundwasser zu vermeiden.

Die Technik der künstlichen Grundwasser-Anreicherung wird in der Schweiz immer häufiger angewandt. Sie befindet sich in einer ständigen Entwicklung, um den quantitativen und qualitativen Zielen möglichst ökonomisch näherzukommen. Diese Gründe haben unsere Arbeitsgruppe veranlasst, Erfahrungen in der Anreicherungstechnik zusammenzutragen und in dieser Publikation darzustellen.

Bedürfnisfragen und Bemessungsgrundlagen

In den meisten Fällen wird eine künstliche Grundwasseranreicherung der Sicherung der Verbraucherbedürfnisse zu dienen haben. Massgebend für ihre Disposition und Ausbaugrösse sind demnach, neben den natürlichen Verhältnissen im Anreicherungsgebiet, die Verbrauchsgewohnheiten der zu versorgenden Bevölkerung und Industrie. Die Bedürfnisse dieser Gruppen sollten getrennt ermittelt werden. Zur Bestimmung der notwendigen Infiltrationsleistung Q_I einer Anreicherungsanlage muss zunächst das Defizit bestimmt werden, das durch die Nutzung des Grundwasserleiters verursacht wird.

Aus den Bezeichnungen in Bild 1 ergibt sich die Fehlmenge Q_D aus der Beziehung

$$Q_D = Q_Z - Q_A - Q_E$$

wobei Q_Z der Zufluss ($Q_Z = Q_{Z1}$ (Fluss) + Q_{Z2} (Regen) +

Q_{Z3} (Quelle, Hangwasser) + Q_{Z4} (Zufluss von Grundwasserstrom)),

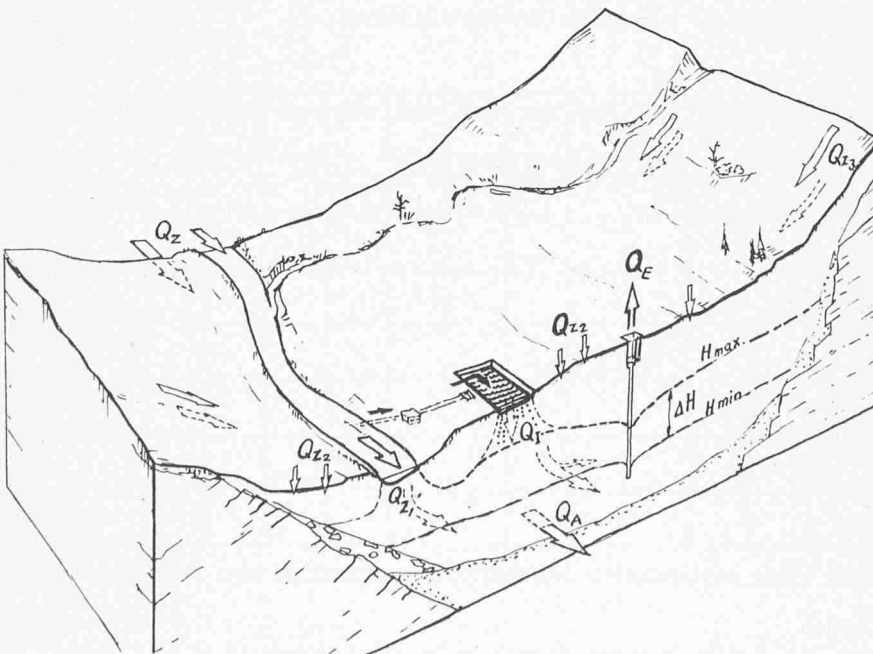


Bild 1. Schematische Darstellung der Bewirtschaftung eines Grundwasserleiters mit Anreicherung

Q_A der Abfluss (kann auch Null sein) und Q_E die erwünschte Entnahme je Zeiteinheit sind. Q_D kann positive oder negative Werte annehmen. Q_Z und Q_A schwanken mit der Zeit etwa parallel.

Man kann deshalb $Q_Z - Q_A = Q_G$ setzen, so dass $Q_D = Q_G - Q_E$ wird (siehe Bild 2),

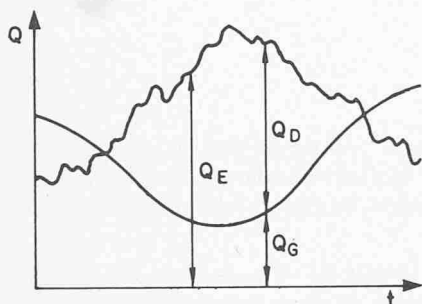
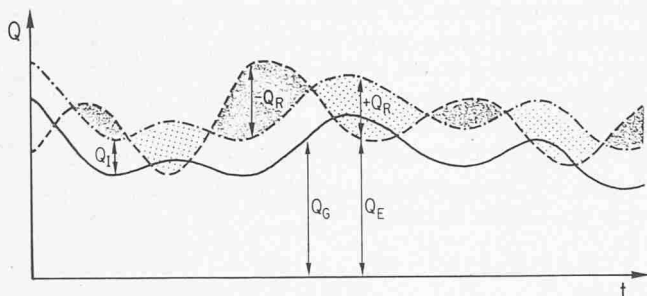


Bild 2. Schwankungen im Grundwasserdargebot

wobei Q_G das natürliche Grundwasserdargebot ist. Die täglichen Schwankungen der Entnahme Q_E brauchen in solchen Betrachtungen nicht weiter berücksichtigt zu werden.

Sowohl die Infiltrationsleistung Q_I als auch die Infiltrationsdauer können aus der gegenseitigen Lage der Kurven Q_G und Q_E bestimmt werden. Die nötige Infiltrationsleistung Q_I lässt sich in der Form

$$Q_I = Q_E - Q_G \pm Q_R \text{ ausdrücken.}$$



■ Zehrung des Ausgleichsvolumens im Grundwasserleiter
 ■ Füllung

Bild 3. Perioden der Füllung und Zehrung des Grundwasservorkommens

Die Neubildung beziehungsweise Zehrung $\pm Q_R$ muss bei der Ermittlung der Infiltrationsrate Q_I berücksichtigt werden.

In Bild 3 ist die obige Bilanzgleichung dargestellt für den Fall einer kontinuierlichen Infiltrationsrate Q_I . Es ist dabei zu bemerken, dass das natürliche Grundwasserdargebot Q_G durch Entnahme und Anreicherung beeinflusst werden kann. Aus Bild 3 erkennt man Perioden der Füllung und Zehrung des Grundwasservorkommens. Angestrebt wird ein Ausgleich der beiden Volumina, die durch die schraffierten Flächen angegeben werden. Aus derselben Abbildung können die notwendigen Ausgleichsvolumen bestimmt werden, die sich auch aus der Darstellung der Grundwasser-Ganglinien ermitteln lassen. Es ist nicht notwendig, Anreicherungsanlagen auf den Scheitelwert der Fehlmenge Q_D zu bemessen, da zur Deckung der Spitzen die Speicherkapazität des Grundwasser-Leiters ausgenützt werden kann. Ein solcher Betrieb ist aber nur dann möglich, wenn das notwendige Speichervolumen im Grundwasser-Leiter vorhanden ist. Wenn die Füllungsvolumen wesentlich grösser sind als die Zehrungsvolumen, ist zu untersuchen, ob ein intermittierender Betrieb zu bevorzugen ist. Ebenso kann das Fehlen eines genügenden Speichervolumens zur Notwendigkeit eines intermittierenden Betriebs führen.

Aus dem Vorstehenden ergibt sich, dass zur Abklärung der Bedürfnisfrage unbedingt gute Unterlagen vorhanden sein müssen über:

- die unterirdische Geometrie und die Art der Auffüllung des vorgesehenen Anreicherungs- und Fassungsgebietes;
- die Verbrauchsgewohnheiten der zu bedienenden Bevölkerung und Industrie (langjährige Messreihen);
- langjährige Messreihen über die Schwankungen des Grundwasserstandes und der Grundwasserqualität;
- langjährige Messreihen über die Abflussmenge und Qualität des zur Anreicherung vorgesehenen Oberflächenwassers.

Hinweise für Planung, Bau und Betrieb Gebräuchliche Verfahren

Überblick

Um die natürliche Feldergiebigkeit durch künstliche Neubildung von Grundwasser zu vergrössern, wurden verschiedene Anreicherungssysteme entwickelt. Alle haben zum Ziel, einen hohen Wirkungsgrad möglichst andauernd aufrecht zu erhalten, d.h. Oberflächenwasser bei gleichbleibender Reinigungskraft des Untergrundes in grossen Mengen langfristig versickern zu lassen.

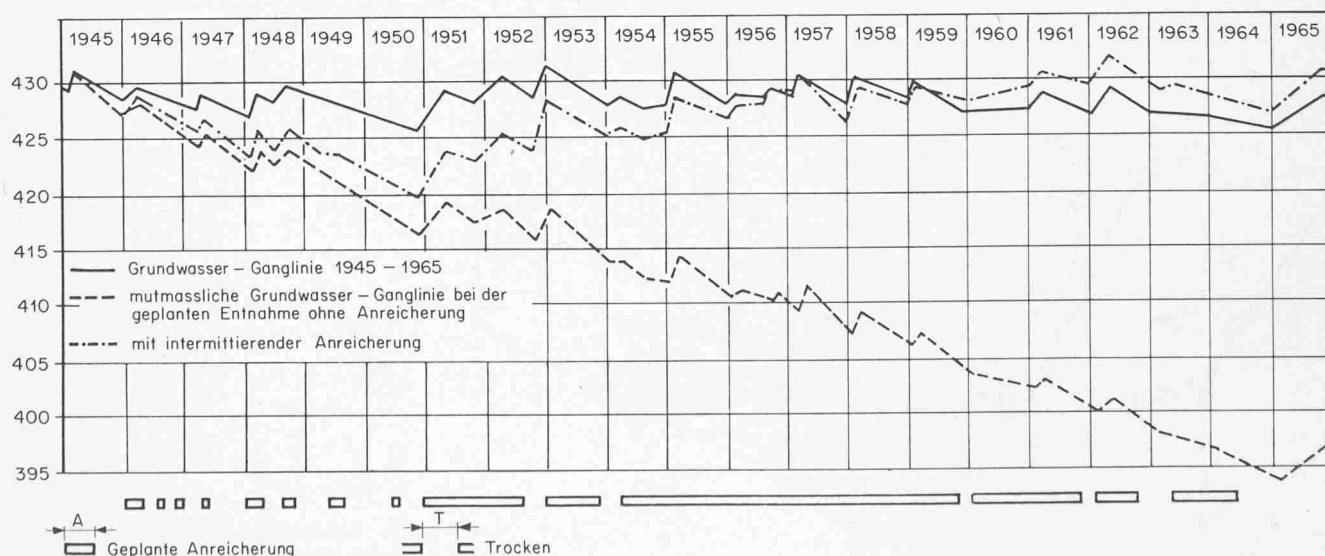


Bild 4. Intermittierender Betrieb. Bewirtschaftung des Grundwasservorkommens im Dünnern-Gäu (Kt. Solothurn)

Grundsätzlich lassen sich die gebräuchlichen Anreicherungs-systeme aufgrund der Lage und *Ausbildung der Infiltrationsoberfläche* gliedern (Tab. 1). Die Anforderungen an die Umweltbedingungen und hydrogeologischen Verhältnisse sowie die Infiltrationswasserqualität sind für die verschiedenen Verfahren unterschiedlich (Tabelle 2). Die Verfahren der Gruppen B und C können bei bedeckten und unbedeckten Grundwasserleitern angewandt werden. Voraussetzung im ersten Fall ist, dass die Infiltrationsanlage die Deckschicht durchstösst.

Charakteristik

Überflutung

System: Land- oder forstwirtschaftlich genutztes Gebiet wird periodisch überflutet; Versickerung durch intakte Humusdecke.

Vorteile: Keine besondere Versickerungsanlage; keine hohe Anforderungen an das Infiltrationswasser; gute Filtration.

Nachteile: Grosser Landbedarf; Wässerung nur in Intervallen (Durchlüftung zur Erhaltung der Bodenflora und -fauna).

Beregnung

System: Verteilung des Infiltrationswassers erfolgt mittels einer Beregnungsanlage.

Vorteile: Kleine Anlagekosten, keine hohen Anforderungen an das Rohwasser; intensive Rohwasserbelüftung; gute Filtration.

Nachteile: Grosser Landbedarf, intermittierender Betrieb, kleine Leistung.

Versickerungsbecken (Bild 5)

System: Becken mit kontinuierlicher Rohwasserbeschickung. Einleitungsgeschwindigkeit so, dass kein Aufwirbeln der Sedimente stattfindet. Je nach Ausbildung des Beckenbodens wird zwischen Sandbecken (künstliche Langsamfilter) und Pflanzenbecken unterschieden. Versickerungsbecken werden je nach Ausbildung mit oder ohne Überstau gefahren.

Vorteile: Grosse Leistung, meist mittlere Infiltrationswasserqualität genügend.

Nachteile: Platzbedarf, Reinigungsarbeiten.

Versickerungsgräben (Bild 6)

System: Ähnlich wie Versickerungsbecken; meist punktförmige Beschickung mit entsprechend erheblicher Strömungsgeschwindigkeit im Graben.

Vorteile: Mässige bis grosse Leistung; mittlere Rohwasser-güte genügend.

Nachteile: Platzbedarf, Reinigungsarbeiten.

Sickerrohre/-Galerien (Bild 7)

System: Unterirdisch verlegte begehbare oder nicht begehbare Rohre bzw. Galerien mit durchlässiger Wandung.

Vorteile: Keine Oberflächenverunreinigung; Bodennutzung möglich, keine Verkrautung.

Nachteile: Hohe Anlagekosten; schwebstoffreies Wasser; umständliche Reinigungsarbeiten.

Versickerungsbrunnen (Bild 8)

System: Brunnenkonstruktion wie vertikaler Entnahmeh-brunnen, aber nicht bis zum Grundwasserspiegel reichend.

Tabelle 1. Gliederung der Anreicherungs-systeme

Künstliche Grundwasser-anreicherungs-systeme		
A	B	C
Infiltration durch natürliche Erdober-fläche	Infiltration in wasserungesättigte Zone	Infiltration in wassergesättigte Zone
Überflutung Beregnung	Versickerungsbecken Versickerungsgräben Sickerrohre und -galerien Versickerungsbrunnen	Schluckbrunnen, Schächte; seltener: Ufer-infiltration, Sicker- rohre und -galerien, Versickerungsgräben, Versickerungsbecken

Tabelle 2. Hauptmerkmale der verschiedenen Anreicherungsver-fahren

Gruppe	A	B	C
Umweltbedin-gung	Wald oder Grünzone	meist Wald oder Grünzone	im Normalfall nur Schutzzone not-wendig
hydrogeologische Verhältnisse (Sickerstrecke)	Humusdecke gute Vertikal-durchlässigkeit	gute Vertikal-durchlässigkeit genügender Abstand zum Grundwasser-spiegel	horizontale und/oder vertikale Durchlässigkeit massgebend
Infiltrations-wasserqualität	geringe	mittlere/hohe	hohe/mittlere (systemabhängig), insbesondere hoher Sauerstoff-gehalt und geringe Sauerstoffzehrung



Bild 5. Versickerungsbecken



Bild 6. Versickerungsgräben

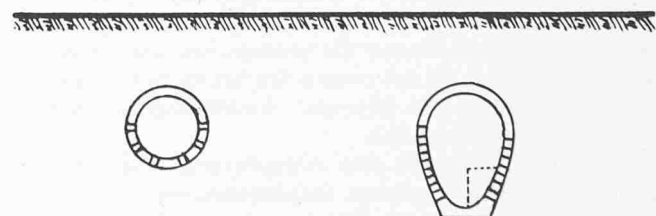


Bild 7. Sickerrohre bzw. Galerien

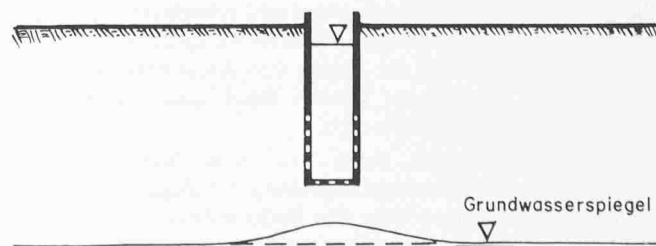


Bild 8. Versickerungsbrunnen

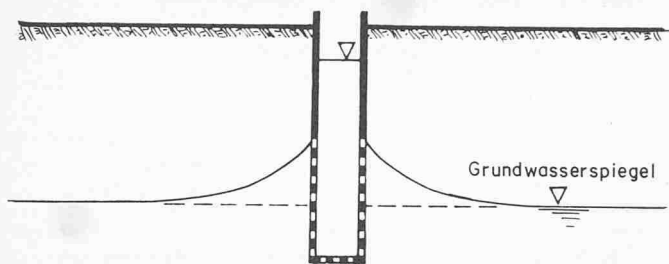


Bild 9. Schluckbrunnen

Vorteile: Minimaler Landbedarf; Anreicherung möglich, wo eine hohe vertikale Durchlässigkeit nicht gewährleistet ist (Schichtungen) oder erst in grösserer Tiefe vorkommt.

Nachteile: Da keine Rückspülung möglich, praktisch schwebstofffreies Wasser notwendig. Beschränkte Durchlüftung.

Schluckbrunnen (Bild 9)

System: Wie Infiltrationsbrunnen, aber bis möglichst auf die undurchlässige Sohle des Grundwasserleiters reichend.

Vorteile: Ähnlich wie Versickerungsbrunnen, jedoch Rückspülung möglich. Übliches Anreicherungsverfahren in gut durchlässigem Festgestein.

Nachteile: Keine Durchlüftung, schwebstofffreies Wasser notwendig, bei Festgestein sehr hohe Anforderung an die Infiltrationswasserqualität.

Uferinfiltration

System: Erhöhung der Infiltration von Oberflächengewässern, deren Bett in gutdurchlässigem Kies liegt, durch Grundwasserabsenkung in Ufernähe. Durch Aufrauung des Gewässerbetts kann die Anreicherung noch intensiviert werden.

Vorteile: Grundwasserabsenkung mittels gewöhnlicher Entnahmehäuser; geringer Landbedarf und keine grösseren Anlagen notwendig; im allgemeinen grosse bis sehr grosse Leistung möglich.

Nachteile: Das Rohwasser sollte von ausreichender Güte sein; wenn dies nicht der Fall ist, müssten zusätzliche Aufbereitungsmassnahmen getroffen werden.

Hydrogeologie

Voruntersuchungen

Die Planung einer Anreicherungsanlage erfordert eingehende und umfangreiche hydrogeologische Vorarbeiten. In einer ersten Phase müssen die geologischen und hydrologischen Grundlagen an den potentiellen Standorten zusammengetragen werden. Die folgenden Ausführungen gelten für *Lockergesteinsablagerungen*.

Die Realisierbarkeit einer Anreicherungsanlage ist massgeblich von den geologischen Verhältnissen des Untergrundes abhängig. In einer ersten Phase werden bereits vorhandene geologische Dokumente ausgewertet. Sie liefern Hinweise für die geologische Geländeaufnahme und erleichtern das Ansetzen von allfällig notwendigen weiteren Aufschlüssen.

Die folgenden für die Anlage von Anreicherungsanlagen notwendigen Grundlagen können durch *geologische* Untersuchungen beigebracht werden:

- Genese des Gebietes, unter besonderer Berücksichtigung der für die Anreicherung vorgesehenen Ablagerungen,
- Detaillierte Angaben über den Bodenaufbau (Hinweise auf Inhomogenitäten im Aufbau, Störungszonen des Stauers usw.),

- Weitere notwendige Bodenkennwerte wie Kornzusammensetzung, Porosität, Klüftung des Felsuntergrundes,
- Ausdehnung (horizontal wie vertikal) des vorhandenen Speicherraumes,
- Geometrie des Grundwasserstauers (der undurchlässigen Schicht),
- Dichtigkeit der allfällig bereits vorhandenen oder durch die Anreicherung entstehenden Ausflüsse des Speichers, wenn möglich mit Mengenangaben,
- Detaillierte Angaben über die Deckschicht wie Zusammensetzung, Mächtigkeit, Durchlässigkeit, Wasserhaltevermögen usw.

Vom *hydrologischen* Standpunkt aus ist die Kenntnis folgender Grössen notwendig:

- Langjährige Grundwasserbilanz,
- Vorhandene Grundwasserreserven,
- Wassermenge, die zur Speicherung im Untergrund verfügbar bzw. notwendig ist.

Neben den geologischen Untersuchungen sind Erhebungen über die *Nutzung des Gebietes* (Landwirtschaft, Forstwirtschaft usw.) und die *Erstellung eines Katasters möglicher Gefahrenherde* notwendig. Tabelle 3 gibt Auskunft über das allgemeine Vorgehen für die hydrogeologischen Untersuchungen bei der Planung von Grundwasser-Anreicherungsanlagen. Die auszuführenden Arbeiten müssen von Fall zu Fall den lokalen Gegebenheiten angepasst werden.

Wahl und Planung einer Anlage

Für die Wahl und die Planung einer Grundwasser-Anreicherungsanlage sind umfangreiche Voruntersuchungen nötig. Die einzelnen Untersuchungen werden zweckmässigerweise parallel zueinander durchgeführt. Sie sollen laufend aufeinander abgestimmt und variiert oder aufgrund von Zwischenresultaten geändert werden.

Aus dem Bedürfnis zur Verbesserung bestehender Grundwasser-Verhältnisse durch künstliche Anreicherung ist die *Menge des zu versickernden Wassers* zu bestimmen. Je nach dem Zweck der geplanten Aufstockung des Grundwassers sind die entsprechenden Randbedingungen zu berücksichtigen. Bei der Festlegung der Versickerungsmenge müssen *eventuelle Verluste berücksichtigt* werden (seitliches Umströmen der Fassungsanlagen, Rückfluss in den Vorfluter, Absinken in tiefere Bodenschichten, Verluste in der Anreicherungsanlage durch besondere klimatische Bedingungen, u.a.).

Die Standortfrage ist in Abhängigkeit der Anreicherungsmenge zu klären, und zwar für die Entnahmestelle des Rohwassers und für die Versickerungsstelle. Je nach den Möglichkeiten, die sich aus den entsprechenden Untersuchungen ergeben, können die beiden Standorte mehr oder weniger weit voneinander entfernt sein. Bei der Entnahmestelle soll die zur Versickerung benötigte Wassermenge zu jener Zeit zur Verfügung stehen, zu der die Anreicherung betrieben werden soll oder muss. Bei Entnahme aus Flüssen sollte in der Regel die Wasserfassung so ausgelegt werden, dass die Entnahmemenge an mindestens 300 Tagen des Jahres vorhanden ist. Die Auslegung der Entnahme hat dabei auf eine annehmbare Restwasserführung Rücksicht zu nehmen.

Die engere Standortwahl und die konstruktive Ausbildung des Entnahmebauwerks soll so erfolgen, dass das entnommene Wasser möglichst *feststoffarm* ist. Bei der baulichen Gestaltung der Entnahmestelle ist auf eine weitgehende Anpassung an die Landschaft zu achten. Für die Bestimmung des Standortes müssen vor allem die Ergebnisse aus den hydrogeologischen Untersuchungen interpretiert und unter Umständen durch zusätzliche Untersuchungen oder Versuche ergänzt werden.

Grundsätzlich sind für eine Versickerung *Bodenschichten* notwendig, die

- eine ausreichende Durchlässigkeit aufweisen,
- eine Mächtigkeit haben, welche die Aufnahme und Ableitung des versickerten Wassers ermöglichen,
- so gelagert sind, dass das Fließen des angereicherten Grundwassers in eine gewünschte oder nützliche Richtung erfolgen oder gelenkt werden kann,
- eine genügende Verweilzeit des versickerten Wassers im Boden gewährleisten,
- durch ihre petrographischen Eigenschaften keine nachteiligen qualitativen Beeinträchtigungen des versickerten Wassers bewirken,
- von unkontrollierten Fremdzufüssen und Deponien unbeeinflusst sind.

Bei der Wahl des Anreicherungsverfahrens muss grundsätzlich darauf geachtet werden, dass die Eingabe tatsächlich in jene Bodenschichten erfolgt, die für die Weiterleitung bzw. Wiedergewinnung vorgesehen und geeignet sind. Die Bemessung der Versickerungsanlagen selbst erfolgt nach den Berechnungsverfahren der Geohydraulik. Die hierfür notwendigen Kennwerte und Randbedingungen sollen aus den hydrogeologischen Voruntersuchungen bekannt sein. Sie werden zweckmässigerweise durch Testanlagen überprüft.

Hydraulik

Die hydraulischen Verhältnisse im Untergrund eines Gebietes, in dem eine Anreicherung von Grundwasser vorgesehen ist, hängen ab von

- der Beschaffenheit des Untergrundes,
- den natürlichen Grundwasser-Zu- und -Abflüssen, sowie deren zeitlicher und räumlicher Verteilung,
- den Infiltrationsmengen, sowie deren zeitlicher Verteilung,
- den Infiltrationsorten, sowie der Art der Infiltration,
- den Entnahmemengen, sowie deren zeitlicher Verteilung,
- den Entnahmeorten, sowie der Art der Entnahme.

Ein wesentlicher Punkt bei der Beurteilung der hydraulischen Verhältnisse im Anreicherungsgebiet ist die Frage, ob die *Infiltration direkt* oder *perkolativ* erfolgt. Direkte Infiltration kommt immer vor, wenn das Wasser unter den Grundwasserspiegel oder im gespannten Grundwasserleiter mit Überdruck eingeleitet wird (z.B. durch Schluckbrunnen). Die Frage ist hingegen offen, wenn die Versickerung in der Nähe der Terrain-Oberfläche erfolgt, bei mehr oder weniger tiefliegendem Grundwasserspiegel. Insbesondere stellt sich diese Frage bei Versickerungsbecken. Diese werden meistens mit einem Feinsand-Filter an der Sohle ausgeführt. Die Infiltrationsrate durch einen solchen Filter lässt sich wie folgt berechnen (Bild 10):

$$q_F = k_F \cdot \frac{H + d - h}{d}$$

Die Druckhöhe h auf die untere Seite des Sandfilters kann positiv, null oder negativ sein, entsprechend den Infiltrationszuständen. Die Durchlässigkeit k_F des Filters wird im allgemeinen durch den biologischen Rasen mit der Zeit reduziert. Unter einem solchen Filter ist die Strömung bei perkolativer und freier Infiltration mit Ausnahme der Randzonen vertikal nach unten gerichtet und das hydraulische Gefälle gleich 1. Diese Annahme gilt für Gräben nicht. Die Infiltrationsrate im Boden unter dem Filter ist demnach:

$$q_B = k_{r,B}(s) \cdot k_B$$

Für die Berechnung der Infiltrationsrate ist die Grösse der

Tabelle 3. Schematisches Vorgehen zur Erarbeitung von geologischen und hydrologischen Arbeitsgrundlagen für die Planung von Grundwasser-Anreicherungsanlagen

Problemstellung	Vorgehen	Arbeitsgrundlagen
hydrogeologische Übersicht und Nutzungskataster	Unterlagenstudium geohydrologische Felddaten (z.B. Kartierung) Aufnahme von bestehenden Wasserfassungen, möglichen Gefahrenherden wie Kiesgruben, Steinbrüche, Deponien, Abwasserkanäle, Grundwasser gefährdende Industrien	hydrogeologische Grundlagenkarten Kataster der bestehenden Fassungen Kataster der Gefahrenherde
Genese und Schichtaufbau des Untergrundes Geometrie des Grundwassergebietes	Geophysik (Elektrik und Seismik), Rammsondierungen, Schlitz-, Bohrungen, Bohrlochgeophysik	Bodenprofile geohydrologische Schnitte Isohypsenkarte für Stauer Flurabstandskarten Karten Mächtigkeit Grundwasserträger
hydrogeologische Eigenschaften von Deckschicht Grundwasserleiter (wassergesättigte und teilgesättigte Zone) Grundwasserstauer	Piezometernetz Pumpversuch/ Einfüllversuch Sickerversuche Markerversuche (Tracer) Kornverteilungsanalysen und spezielle Laborversuche	hydrogeologische Daten (Fließrichtung, Gefälle, Fließgeschwindigkeit des Grundwassers, Speicherkoeffizient, Durchlässigkeitsbeiwerte, Transmissivität, wirksame Porosität) Grundwasser-Isohypsenpläne
Wasserbilanz (Niederschläge – Vorfluter – Grundwasser)	Ermittlung von Einzugsgebiet Niederschlagsmenge Abfluss Vorfluter Grundwasserneubildung (inkl. Infiltration) Quell- und Grundwasseraustritte (inkl. Exfiltration) unterirdischer Abfluss Grundwasserentnahmen	Darstellung der hydrometrischen Messwerte als Ganglinien, Dauerkurven, Summenlinien, zeitliche und räumliche Verteilung des Niederschlages Grundwasserregime
Schutzzonen-ausscheidung	aufgrund von hydrogeologischen Grundlagen und eidg. und kant. Vorschriften	Schutzzonenplan, Nutzungsbeschränkungskatalog
Wasserqualität (Roh- und Grundwasser; s. Kap. «Wassergüte»)	chem.-bakt. Analysen, Schwebstofffracht, Temperatur	zeitliche Verteilung von Konzentrationen und Frachten, Grundwasserqualitätskarten

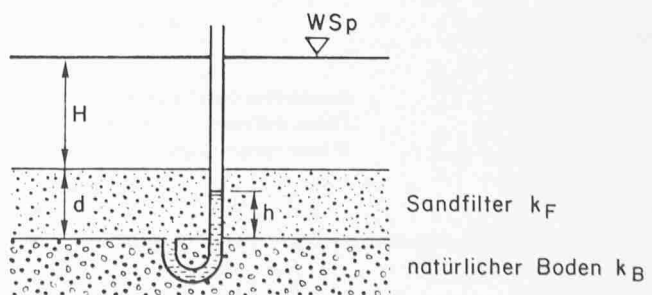


Bild 10 Infiltrationsrate in einem Versickerungsbecken

relativen Durchlässigkeit $k_{r,B}(s)$ notwendig. Sie kann näherungsweise wie folgt geschätzt werden:

$$k_{r,B} = \frac{s - s_r}{1 - s_r}$$

wobei s die Sättigung und s_r die Residualsättigung sind. s_r liegt meistens zwischen 0,1 und 0,2.

Aus Kontinuitätsgründen muss $q_F = q_B$ sein. Daraus ergeben sich folgende Kriterien:

$$\begin{aligned} q_F < k_B & \quad \text{perkolative Infiltration} \\ q_F = k_B & \quad \text{direkte Infiltration, frei} \\ q_F > k_B & \quad \text{direkte Infiltration, zurückgestaut} \end{aligned}$$

Für die Anwendung dieser Kriterien empfiehlt sich, mit dem Fall der direkten freien Infiltration zu beginnen. In diesem Fall wird $q_B = k_B$ und der Boden ist gesättigt. Der Druck h auf der unteren Seite des Sandfilters ist angenähert null und

$$q_F = k_F \frac{H + d}{d} = q_B$$

Bei perkolativer Infiltration ist der Boden unter dem Sandfilter nicht gesättigt, $k_{r,B}(s)$ ist kleiner als 1, und der Druck h gleich dem Kapillardruck h_c bei der entsprechenden Sättigung s , so dass:

$$q_F = k_F \frac{H + d + h_c}{d} = k_{r,B}(s) \cdot k_B$$

Mit Hilfe der durch Messungen bestimmten oder geschätzten Beziehung $k_{r,B}(s)$ lässt sich mit obenstehender Formel auf iterativem Weg q_F bestimmen.

Bei rückgestauter Infiltration ist eine Berechnung der Infiltrationsrate mit der angegebenen Methode nicht möglich, weil die Strömung unterhalb der Filterschicht weder vertikal nach unten gerichtet ist, noch ein hydraulisches Gefälle von eins aufweist.

Als Hilfsmittel zur Beurteilung der hydraulischen Verhältnisse stehen verschiedene Simulationsmethoden zur Verfügung. Tabelle 4 zeigt die häufigsten Methoden und deren hauptsächlichste Anwendungsmöglichkeit. Ihre Verwendung richtet sich nach den spezifischen Verhältnissen.

Grundgleichungen (Anhang zu Tab. 4)

Darcy allg. für gesättigten Bereich

$$q_x = -k_x \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial x}$$

$$q_y = -k_y \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial y}$$

$$q_z = -k_z \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial z}$$

$$\varphi = z + \frac{p}{\rho \cdot g}$$

Kontinuität für gesättigten Bereich

$$\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} = 0$$

Annahme von Dupuit

$$q_x = -k_x \cdot \frac{\partial H}{\partial x}$$

$$q_y = -k_y \cdot \frac{\partial H}{\partial y}$$

anwendbar bei etwa horizontaler
Fließrichtung und kleiner
Wasserspiegelneigung

Boussinesq

(Bewegung der freien Oberfläche bei Vernachlässigung des ungesättigten Bereiches)

$$\frac{\partial H}{\partial t} \cdot n = -q_x \cdot \frac{\partial H}{\partial x} - q_y \cdot \frac{\partial H}{\partial y} + q_z$$

Darcy allg. für ungesättigten Bereich

$$q = -k \cdot k_r \cdot \text{grad } \varphi$$

Kontinuität für ungesättigten Bereich

$$-n \cdot \frac{\partial s}{\partial t} = \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z}$$

x, y, z = Ortskoordinaten

H = Lage des Grundwasserspiegels über dem horizontal angenommenen Stauer

n = Porosität

Für weitere Ableitungen und Anwendungen ist auf die einschlägige Literatur hingewiesen.

Wassergüte

Rohwasser und Vorbehandlung

Allgemeines. Durch technische Massnahmen sollen bei künstlicher Grundwasseranreicherung günstige Voraussetzungen geschaffen werden, um die natürliche Reinigungswirkung des Bodens optimal auszunützen. Die Qualitätsschwankungen des Oberflächenwassers und die nach Art, Dauer und Menge variierenden Fremdeinflüsse auf das Rohwasser bedingen im allgemeinen die Einhaltung bestimmter Grenzwerte für die Inhaltsstoffe im Rohwasser und seine *Vorreinigung*. Ein weiterer Grund für eine Vorreinigung ist die meist dauernde und quantitativ hohe Belastung der Sickerfläche durch eine künstliche Versickerung, die ohne Vorreinigung eine rasche Leistungsminderung zur Folge hätte. Bei der künstlichen Grundwasserversickerung fehlt eine auf natürliche Weise stattfindende Reinigung der Sickerfläche, wie sie in natürlichen Flüssen bei Hochwasser immer wieder stattfindet. Örtliche Veränderungen der Strömungsverhältnisse im Grundwasser können unter Umständen zum Fernhalten von ungeeignetem Grundwasser von Fassungszone beitragen.

Aufgabe der Vorbehandlung. Das zu versickernde und später wieder zu gewinnende Wasser soll durch die Vorreinigung soweit behandelt werden, dass das Wasser nach der Untergrundpassage möglichst ohne weitere Aufbereitung zum vorgesehenen Zweck verwendet werden kann. Dabei darf der Grundwasserleiter keine Verschlechterung der Durchlässigkeit oder sonstige Beeinträchtigung erfahren, die mit der Zeit die Leistungsfähigkeit im weitesten Sinne herabsetzt.

Die *Vorbehandlungsanlagen* sind grundsätzlich auf folgende Punkte auszurichten:

- Wasserinhaltsstoffe im Rohwasser (Art, Menge, Konzentrationsschwankungen),
- Infiltrationsweise: Störungen bei der Infiltrationsanlage müssen vermieden werden. Die ablaufenden chemischen und biochemischen Vorgänge in den Vorbehandlungsstufen sind zu berücksichtigen,
- Wechselwirkung bei der Mischung des infiltrierten Wassers mit dem Grundwasser in der Untergrundpassage bzw. bei der Entnahme,
- Erwartete Reinigungswirkung bei der Untergrundpassage,
- Gewährleistung der Dauerbelastbarkeit des Untergrundes. Es darf keine Verschlechterung der Reinigungswirkung und der Durchlässigkeit im Laufe der Jahre oder Jahrzehnte eintreten.

Die Belastungsgrenzen des Rohwassers und seine Vorbehandlung. In Tabelle 5 sind die wichtigsten Qualitätsparameter und ihre Auswirkungen angegeben. Sie dürfen nicht unabhängig voneinander betrachtet werden, da die Möglichkeit einer gegenseitigen Beeinflussung besteht. Die aufgeführten Auswirkungen können auch bei kleineren Konzentrationen auftreten.

Tabelle 4. Hilfsmittel zur Beurteilung hydraulischer Verhältnisse. Simulationsmethoden.

METHODEN		NÄHERE BEZEICHNUNG	GRUND- GLEICHUNGEN	GEOMETRIE DER STRÖMUNG					RANDBEDIN- GUNGEN				GW- LEITER		STRÖ- MUNG	
			gesättigter Strömungsbereich, Darcy allg., Kontinuität gesättigter Strömungsbereich, Dupuit, Kontinuität ungesättigter Strömungsbe- reich, Darcy allg., Kontinuität Boussinesq	2-dimensional vertikal	2-dimensional rotationssymmetrisch	2-dimensional horizontal	3-dimensional	einfache Geometrie (Spezialfälle) Ausdehnung unbegrenzt	einfache Randbedingungen (Spezialfälle) Annahme einer konstanten Grundwassertiefe Grundwasser gespannt Grundwasser mit freiem Spiegel	homogen gebietsweise homogen	stationär instationär					
<i>Analytische Lösungsverfahren</i>		Potentialströmung, horizontal	•		•			•	•	•	•	•	•	•	•	
		Potentialströmung, vertikal	•	•				•	•		•	•	•	•	•	
		vertikal integriert, stationär		•	•	•		•	•		•	•		•	•	
		vertikal integriert, instationär		•		•		•	•		•	•			•	
		stationäre Ström- ung, gesättigt	•		•	•	•	•			•	•	•	•	•	
		instationäre Ström- ung, gesättigt	•		•	•	•	•			•	•	•		•	
		Berücksichtigung des ungesättigten Bereiches	•		•	•		•			•	•	•	•	•	
		nur ungesättigter Bereich			•	•		•			•	•	•	•	•	
		vertikal integriert, stationär		•	•	•					•	•	•	•	•	
vertikal integriert, instationär		•		•					•	•	•		•			
<i>Graphische Methode</i>			•	•					•		•		•			
<i>Analogiemethoden</i>	<i>Elektrische Analogie</i>	Schichtwiderstand, horizontal	•			•			•	•	•	•	•	•		
		Schichtwiderstand, vertikal	•	•						•	•	•	•	•		
		RC-Netzwerk, horizontal	•			•			•	•	•	•	•	•		
		RC-Netzwerk, vertikal	•	•						•	•	•	•	•		
		Elektrolyt-Trog	•			•			•	•	•	•	•	•		
	<i>Hydraulische Analogie</i>	Hele-Shaw, horizontal	•	•	•					•	•	•	•	•		
		Hele-Shaw, vertikal	•				•			•		•	•	•		
<i>Deformations- analogie</i>	Membran	•			•			•	•	•	•	•	•			

Vorreinigungssysteme. Feste Stoffe werden in geeigneten Anlagen ausgeschieden, gelöste entweder in feste Stoffe überführt, und ebenfalls ausgeschieden oder in unschädliche gelöste Stoffe umgewandelt.

Die wichtigsten Vorreinigungssysteme sind:

- *Ölabscheider:* Abscheidung schwimmender Flüssigkeiten bzw. Mineralöle.
- *Becken an der Wasserfassung:* Zurückhalten von groben Verunreinigungen.
- *Sandfang:* Abscheidung von leicht absetzbaren Stoffen.
- *Absetzbecken:* Abscheiden von sich langsam absetzenden Verunreinigungen.

– *Siebanlagen:* Zurückhalten aller festen Stoffe, die gleich gross oder grösser als die Maschenweite des Siebes sind; kleinste Maschenweite für Rohwasser aus Flüssen und Seen etwa 20–30 µm.

– *Kiesfilter* (Grobkies): Abscheiden relativ feiner fester Stoffe bei geringer Durchströmungsgeschwindigkeit und teilweiser biologischer Abbau gelöster oder feinsten Schwebstoffe organischer Herkunft.

– *Sandfilter* (Schnellfilter): Zurückhalten von praktisch allen festen Teilen, geringe biologische Wirkung.

– *Sandfilter* (Langsamfilter): Zurückhalten von allen festen Teilen, biologischer Abbau organischer Verunreinigungen, Elimination von Bakterien.

Tabelle 5. Rohwasserqualität / Art der Vorbehandlung

Inhaltsstoffe Parameter	Grenzwerte	Unerwünschte Auswirkungen	Aufbereitungstechnik vor Untergrundpassage
1. Organische Inhaltsstoffe			
1.1 Summenparameter			
1.1.1 suspendierte organische Stoffe		<ul style="list-style-type: none"> - Störungen beim Infiltrationsbetrieb und in den Bodenschichten - O₂-Zehrung-Reduktionsvorgänge (Störung des biochemischen Gleichgewichtes durch hohen Nährstoffgehalt) - Geruch- und Geschmacksstoffe 	<ul style="list-style-type: none"> - Flockung, Koagulation, Sedimentation - Filtration <ul style="list-style-type: none"> - Rechen - Mikrosiebe - Grobkiesfilter (zum Teil biol.) - Schnellfilter - Langsamfilter (zum Teil biol.) - durch Absorptionsmittel - Sauerstoffanreicherung - Biol. Abbau Pflanzen (Aufenthalt in Becken, natürlichen und künstlichen Tropfkörpern) - Voroxidation
1.1.2 gelöster organischer Kohlenstoff (DOC)		vgl. 1.1.1	
1.1.3 Chem. Sauerstoffbedarf (COD)		vgl. 1.1.1	
1.1.4 Biochem. Sauerstoffbedarf (BSB ₅)		vgl. 1.1.1	
1.2 Gruppenparameter			
1.2.1 gesamte Kohlenwasserstoffe	Siehe W 151 der DVGW, Verordnung über Abwasser-einleitungen des schweiz. Bundesrates, Kantonale Verordnungen, Schweiz. Lebensmittelbuch sowie Technische Regeln, Arbeitsblatt W 151, Juli 1975	<ul style="list-style-type: none"> - Geruch- und Geschmacksstoffe, Schaumbildung - toxische Wirkung 	Möglichst von der Anlage fernhalten
2. Anorganische Inhaltsstoffe			
2.1 Summenparameter			
2.1.1 Gesamtgehalt an gelösten Stoffen		<ul style="list-style-type: none"> - Störungen beim Infiltrationsbetrieb - Probleme bei der Mischung mit dem Grundwasser (z. B. u. a. Kalk-Kohlensäuregleichgewicht gestört) 	<ul style="list-style-type: none"> - Neutralisation, Flockung, Fällung, Flotation, evtl. Ionenaustauscher oder Spezialfilter
2.1.2 suspendierte anorganische Stoffe		<ul style="list-style-type: none"> - Störungen beim Infiltrationsbetrieb 	<ul style="list-style-type: none"> - Flockung, Fällung, Sedimentation, Nachflockung, Filtration
2.2 Anorganische Einzelsubstanzen (Metalle)		<ul style="list-style-type: none"> - Störungen beim Infiltrationsbetrieb - zum Teil toxische Wirkung 	vgl. 2.1.1
3. Allgemeine Güteermkmale			
3.1 elektrische Leitfähigkeit			
3.2 Sauerstoffdefizit		<ul style="list-style-type: none"> vgl. 2.1.1 - anaerobe Verhältnisse im Untergrund (höhere Konzentration an Eisen und Mangan, Geruchs- und Geschmacksbelastung, Wiederauflösung abgelagerter Schwermetallverbindungen) - Korrosionsgefahr für Leitungsnetze 	<ul style="list-style-type: none"> vgl. 2.1.1 - Sauerstoffanreicherung (z.B. Kaskaden, Versprühen des Wassers), biol. leicht abbaubare Verbindungen vor Versickerung weitgehend eliminieren (vgl. 1)
3.3 Färbung		<ul style="list-style-type: none"> - unästhetisch 	<ul style="list-style-type: none"> - Filtration durch Adsorptionsmittel
3.4 Geruchs- und Geschmacksstoffe			

Die hygienischen Gesichtspunkte (speziell die Elimination von Bakterien und Viren) blieben hier unberücksichtigt.

- *Mehrschichtfilter*: Wie Schnellfilter, jedoch mit grösserem Durchsatz je m² Filterfläche.
- *Aktivkohle*: Elimination von Geruch und Geschmack sowie Adsorption von gelösten Substanzen.
- *Tropfkörper*: Biologischer Abbau organischer und teilweise auch gelöster Stoffe und Rückführung in feste Form, teilweise Rückhalt von Bakterien.
- *Belebtschlamm-Verfahren*: Analog Tropfkörper (in der Wasseraufbereitung, jedoch kaum verwendet).
- *Versickern durch Humusböden*: Biologischer Abbau organischer Stoffe, Rückhalt fester Stoffe und der Bakterien.
- *Uferinfiltration*: Wirkung ähnlich einem Langsamfilter, wobei die Qualitätsveränderung sehr unterschiedlich sein kann.

Sauerstoff-Anreicherung

- Kaskaden: Zum Ausgleich kleinerer Sauerstoff-Defizite
- Verregnen: Zum Ausgleich grösserer Sauerstoff-Defizite
- Zwangsbelüftung: Sehr wirksame Sauerstoffanreicherung

Wahl der Vorreinigungssysteme. Je nach der Qualität des Rohwassers, der beabsichtigten Verwendung des angereicherten Grundwassers und der Dauer der Untergrundpassage müssen mehrere Vorreinigungsstufen kombiniert werden. Bei der *Art* der Vorreinigung ist zu beachten:

- Wasserbedarf und Verwendungszweck des wiedergewonnenen Wassers
- Anlagekosten
- Landbedarf
- Betriebskosten
- Art der Reinigung bzw. Regenerierung
- Betriebssicherheit
- Reserve-Elemente

Tabelle 6 gibt einen Hinweis über diese Faktoren.

Bei der Wahl ist ferner zu beachten, ob ohne Schaden für die Entnahme des angereicherten Grundwassers die Anreicherung für kürzere Zeit unterbrochen werden kann, z.B. bei Belastungsspitzen des Vorfluters, bei Reinigungsarbeiten oder zur Behebung von Störungen.

Bei grösseren Transportdistanzen zwischen Rohwasserentnahme und Versickerungsort empfiehlt es sich, die Vor-

reinigung am Entnahmeort durchzuführen, da bei geringer Transportleistung grössere Ablagerungen im Transportsystem entstehen können.

Die künstliche Grundwasseranreicherung weist noch einige *offene Fragen* auf. Die folgende Aufzählung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit:

- Überwachung des Rohwassers;
- Elimination bestimmter Einzelsubstanzen mit vertretbarem Aufwand;
- Wirkung einzelner Inhaltsstoffe bei gleichzeitigem Vorhandensein gewisser anderer Inhaltsstoffe;
- Auswirkungen grösserer Wasserentzüge aus Flüssen bei Niedrigwasserführung;
- Wirkung bestimmter Pflanzen bezüglich einer Verminderung der Schadstoffe;
- Aufbau der Filter für bestimmte Rohwasser;
- Reinigungswirkung der Untergrundpassage (senkrecht und waagrecht);
- Die Mischung verschiedener Grundwasser im Boden, die von verschiedenen Quellen stammen und sich in ihrem Chemismus unterscheiden.

Planung einer Anlage

Rohwasser. Auf die chemischen und physikalischen Eigenschaften des für eine Grundwasser-Anreicherungsanlage zu verwendenden Rohwassers wird hier nicht eingegangen, sondern auf den Abschnitt «Rohwasser und Vorbehandlung» verwiesen.

Das Rohwasser kann aus einem stehenden oder einem fliessenden Gewässer entnommen werden.

Rohwasser aus einem See

- Vorteile:**
- Bei Fassung in richtiger Tiefe wenig absetzbare Stoffe; Absetzeinrichtungen in der Vorreinigung können entfallen.
 - Relativ tiefe und konstante Temperatur, auch im Sommer.
 - Maximale Wassermenge, auf die die Anreicherungsanlage ausgelegt ist, steht meistens zur Verfügung.
 - Einfache Bauwerke für die Wasserfassung.
- Nachteile:**
- Oft erhebliches Sauerstoffdefizit erfordert entsprechende Sauerstoffanreicherung in der Vorreinigung.
 - Evtl. Auftreten von Konzentrationen unerwünschter gelöster Stoffe (Metalle, Phosphate, usw.), die unter Umständen eine Eignung als Rohwasser überhaupt in Frage stellen können.
 - Bei Seen mit starkem Algenbefall kann die Stilllegung der Anlage in der Periode des Absterbens der Algen erforderlich werden, da die Vorreinigung zu stark belastet werden kann.
 - Empfindlichkeit auf Unfälle.

Rohwasser aus einem fliessenden Gewässer

- Vorteile:**
- Meist genügend hoher Sauerstoffgehalt.
 - Grosse Schadstoff-Konzentrationen durch Unfälle sind auf relativ kurze Zeit beschränkt.
- Nachteile:**
- Bei kleineren Flüssen kann in Trockenperioden nicht immer die Ausbauwassermenge entnommen werden.
 - Ansteigende Wasserführung kann schnell einen grossen Gehalt an Schwebstoffen zur Folge haben.
 - Bei Flüssen mit Geschiebetransport komplizierte Fassungsbauwerke.
 - Saisonal stark schwankende Temperatur (warmes Wasser begünstigt das Algenwachstum).

Tabelle 6. Faktoren, die bei der Wahl des Vorreinigersystems zu berücksichtigen sind

	Anlagekosten	Betriebskosten	Landbedarf	Reserveeinheiten
Sandfang	gering	gering	klein	keine
Ölabscheider	mittel	gering	klein	keine
Absetzbecken	gering	gering	mittel	keine
Flockulationsbecken	mittel	mittel	klein	Reserveaggregate nötig
Siebanlage	mittel	mittel	klein	nötig
Kiesfilter	mittel	gering	gross	
Langsamfilter im Versickerungsbecken	gering	klein	mittel	
Langsamfilter überdacht	gross	gross	mittel	nötig
Schnellfilter	gross	gross	klein	nötig
Mehrschichtfilter	gross	gross	mittel	nötig
Versickern durch Humusböden	gering	gering	gross	nötig
Belüftungsbecken	gering	gross	mittel	nötig
Tropfkörper	mittel	mittel	mittel	

- In Frostperioden schnelle Vereisung der Versickerungsanlage.
- Durch die Wasserentnahme direkte Verletzung der Wasserrechte von Unterliegern möglich.
- In Perioden geringer Wasserführung kann besonders bei kleineren Flüssen das Rohwasser einen sehr hohen Gehalt an gelösten Stoffen und Keimen enthalten.

Überwachung des Rohwassers

Die Qualität des Rohwassers soll *ständig* überwacht werden. Dabei sind nach Möglichkeit alle Parameter zu kontrollieren, die einen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit der Vorreinigung und/oder auf die Qualität des zur Versickerung gelangenden Wassers haben. Im weiteren wird auf den Abschnitt «Betrieb» verwiesen.

Standort

Beziehung zur Umgebung

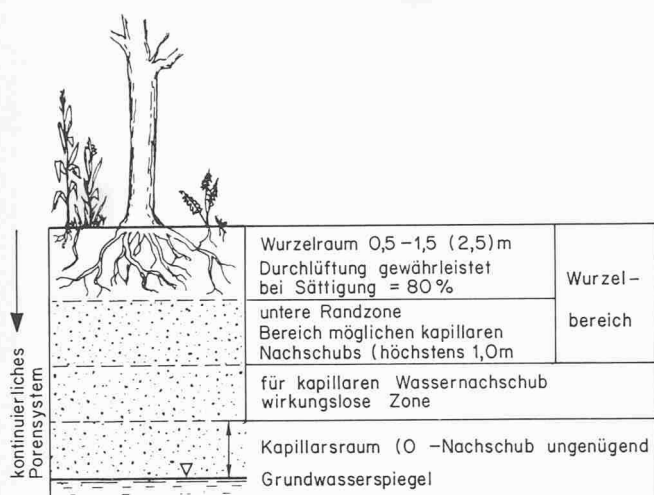
- Der Standort für eine künstliche Grundwasseranreicherung ist primär bestimmt durch:
- die geologisch-hydrologischen Voraussetzungen,
 - die Eignung des Oberflächenwassers für die künstliche Grundwasseranreicherung (qualitativ und quantitativ),
 - die raumplanerischen Gegebenheiten und Vorstellungen (Nutzungspläne, Rahmenpläne usw.),
 - die Anforderungen an die Wirtschaftlichkeit (Transportdistanz des Wassers, Mehrfachnutzung bestehender Anlagen der Wasserversorgung usw.).

Grundwasser-Anreicherungsanlagen sind vornehmlich regionale Anlagen und sollten deshalb *im Rahmen der Orts- und Regionalplanung* behandelt werden. Der Standort für ein Anreicherungssystem (Versickerung, Untergrundpassage und Entnahme) ist bekanntlich um so besser, je weniger zivilisatorischen Einflüssen und damit je weniger Gefahrenquellen die Anlage ausgesetzt ist. Grundwasser-Anreicherungsanlagen können unter Umständen in Naherholungszonen miteinbezogen werden.

Beziehung zu Land- und Forstwirtschaft

Damit Pflanzen gedeihen können, brauchen sie *im Wurzelraum ein genügendes Angebot von Wasser und Sauerstoff*. Infolge der meist einjährigen Verweildauer landwirtschaftlicher Pflanzenbestände auf einem Produktionsstandort, kann

Tabelle 7. Ökologische Beschreibung der Bodenverhältnisse



die Eignung solcher Bestände auf Änderungen im Wasserhaushalt in der Regel kurzfristig beurteilt werden. Dauerwiesen und ähnliche Bestände verhalten sich eher wie mehrjährige Pflanzenbestände. Mehrjährige Pflanzen, wie z.B. Bäume, sind in der Lage, sich innerhalb eines bestimmten Bereiches dem jeweiligen Wasser- und Luftaushalt im Boden anzupassen. Die Anpassung erfolgt kaum aktiv, sondern vielmehr durch ein Zurechtfinden mit den bestehenden Standortbedingungen. Dies hat zur Folge, dass eine drastische Standortveränderung durch Kränkeln oder Absterben einzelner Baumarten beantwortet wird, oder dass andere Baumarten unter Umständen sogar besser gedeihen können.

Folgende Unterlagen sind zur Beurteilung des Wasserhaushaltes auf das Verhalten der Vegetation notwendig (gilt grundsätzlich für land- und forstwirtschaftlich genutzte Standorte):

- Koten des Grundwasserspiegels zu verschiedenen Zeitpunkten vor dem Eingriff,
- Koten des Grundwasserspiegels nach der Veränderung (Schätzung oder aus Vorversuchen),
- Koten der Terrainoberfläche,
- Aufbau des Bodenprofils vom Grundwasserspiegel bis zur Bodenoberfläche (Porositätsverhältnisse), flächenmässige Erfassung. Diese Information kann z.B. beim Setzen der Piezometerrohre erhoben werden.
- An Bodenprofilen abgeschätzte Mächtigkeit des Wurzelraumes. Sie kann in der Regel nur angenähert bestimmt werden.

Anmerkung: Von Bedeutung für die Wurzeln ist nicht nur die Lage des Grundwasserspiegels, sondern auch seine zeitliche Veränderung. Kurzfristig (Tage) können durchaus Extremlagen überstanden werden unter der Voraussetzung, dass die Bodenmatrix nicht allein aus Kies oder größerem Material besteht.

Grundwasseranreicherung durch landwirtschaftlich genutzte Böden. Das Problem der periodischen Überflutung und somit Sättigung landwirtschaftlicher Böden zum Zwecke der Grundwasseranreicherung steht hier nicht zur Diskussion. Dagegen wird der Einfluss des Senkens bzw. des Anhebens von Wasserspiegeln auf landwirtschaftliche Bestände in den Tabellen 7 und 8 zusammen mit dem Einfluss auf forstliche Bestände dargestellt.

Grundwasseranreicherung durch Waldböden. Wenn immer möglich, soll von einer Überflutung von Waldböden zur Grundwasseranreicherung abgesehen werden. Es stehen sehr viele, auch dem Fachmann unbekannte bio-ökologische Reaktionen zur Diskussion. Diese können unerwartete Schäd-

den an Waldbeständen verursachen. Die Schadenermittlungen sind in der Regel mühsam und oft unangenehm. In jedem für schweizerische Verhältnisse in Frage kommenden Waldstandort besteht die Gefahr einer *Überdosierung der Wasserbeschickung*. Die bekannten Verhältnisse um Basel sind standörtliche Spezialfälle, die sich in der Schweiz nicht häufig wiederholen.

In Frage kommen grundsätzlich Waldstandorte im schweizerischen Mittelland, deren Böden einen sehr hohen und durch das ganze Bodenprofil vorhandenen *k*-Wert nach Darcy haben.

Auf solchen, in der Regel im Hauptwurzelraum als Folge der hohen Durchlässigkeit vielfach sauren Böden, befinden sich Wälder, die hauptsächlich aus folgenden Baumarten zusammengesetzt sind: Stieleiche, Traubeneiche, Buche, Föhre, Lärche, Linde, Hagebuche, Birke, Weymoutsföhre.

Der Wurzelraum dieser Baumarten wird unter natürlichen Bedingungen nicht durch das Grundwasser beeinflusst.

Bei künstlicher Überschwemmung solcher Wälder darf der Wurzelraum keinesfalls länger als $\frac{1}{2}$ -1 Tag mit Wasser gesättigt werden. Von den oben genannten Baumarten würden relativ am ehesten in der Vitalität zurückgehen: Buche, Lärche, Linde.

Die Wasseranreicherung könnte in Intervallen von 4 Wochen oder länger analog wiederholt werden.

Öko-physiologisch ist eine periodische Wasserbeschickung im Sommer/Herbst potentiell weniger schädigend als im Frühling (April/Mai).

Allgemein dürfen wir annehmen, dass sehr kurze, aber in kleinen Zeitabständen durchgeführte Überflutungen wahrscheinlich weniger schädlich sind als langandauernde Einzelbeschickungen nach längeren Unterbrüchen.

Wenn eine Beschickung von weniger als 24 Stunden Dauer sinnvoll ist, dann können namentlich in Trockenperioden etwa alle 8 bis 10 Tage neue Beschickungen vorgenommen werden. Ausnahme: Nassperioden.

Wird künstlich ein bestimmtes, ökologisch nicht schädliches Überflutungsregime einmal angewendet, dann sollte es beibehalten werden. Trifft das nicht zu, dann könnten während Trockenperioden die Bestände Schaden nehmen, weil ihr Wurzelraum, angepasst an die periodisch hohe Wassergabe, zu wenig tief in den Boden reicht.

Auf einem feinerdereichen, aber wenig Ton und Silt enthaltenden Schotterboden sind bei periodischer Bewässerung folgende Baumarten denkbar: Bergahorn, Ulme, Pappel-Sorten, Eschen, Traubeneichen.

Soll ein Waldbestand auf einem Boden künstlich begründet werden, der zur Grundwasseranreicherung tauglich ist, dann sind folgende Baumarten denkbar: Traubeneiche, Kirschbaum, Ulme, Föhre, Hagebuche, Birke. Nicht in Frage kommen: Buche, Lärche, Linde, Rottanne.

Neben den ökologischen Fragen, die es bei einem solchen Projekt zu behandeln gibt, sind ästhetische Momente in Betracht zu ziehen. Es ist unter speziellen Verhältnissen mit einer starken Aspektänderung der Waldboden-Oberfläche zu rechnen.

Gefahrenquellen

Naturereignisse:

- Hochwasserschäden an Anlageteilen,
- Frosteinwirkung, Vereisung von Anlageteilen,
- Folgeschäden von Naturereignissen (Auslaufen von Öl, Chemikalien usw.),
- sonstige Gefahren (höhere Gewalt, z.B. Erdbeben).

Zivilisatorische Einflüsse:

- Beeinträchtigung des Rohwassers durch Kommunal- und Industrie-Abwasser,
- Ablagerung von Abfällen,
- Ausstoss von Abgasen und Aerosolen,
- Unfälle bei Transport, Umschlag und Lagerung gefährlicher Stoffe,
- sonstige Gefahren (gewaltsame Eingriffe usw.).

Flächenbedarf und Schutzzonen

Der Flächenbedarf je Einheit der Infiltrationsmenge hängt ab von:

- der Qualität des Rohwassers,
- den hydrogeologischen Bedingungen sowie den topographischen Verhältnissen,
- der Infiltrationsart,
- den Qualitätsanforderungen an das zu gewinnende Grundwasser.

Die Bemessung der Schutzzonen richtet sich nach den gültigen eidgenössischen und kantonalen Richtlinien. Insbesondere ist zu beachten, dass durch die Hebung des Grundwasserspiegels gerollt die Gefährdung der Grundwasserqualität zunimmt.

Betrieb

Überwachung

Die qualitativen und quantitativen Forderungen an das genutzte Grundwasser verlangen bei künstlicher Grundwasseranreicherung eine entsprechende Überwachung. Der Zweck der Überwachung ist der Nachweis und die Gewährleistung des einwandfreien Ablaufs der Anreicherung. Die Überwachung erstreckt sich auf alle Anlageteile sowie auf die Umgebung, sofern sie für die Anlage von Bedeutung ist. Solche Untersuchungen sind auch notwendig für die Beurteilung der Folgen einer Anreicherung und der optimalen Betriebsweise. Die Erfassung von ausreichenden Betriebsdaten ist darüber hinaus Voraussetzung für die Erarbeitung besserer Grundlagen für die Projektierung von zukünftigen Anlagen.

Die Überwachung sollte umfassen:

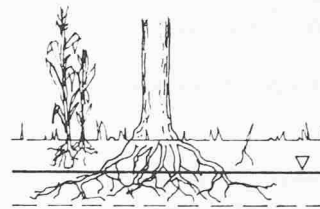
- periodische chemische, biologische, bakteriologische und physikalische Analysen von Roh-, Infiltrations- und Grundwasser sowie des gewonnenen Wassers.
- Untersuchungen über die Wirkungsweise von allfälligen Vorbehandlungs- und Aufbereitungsanlagen.
- kontinuierliche automatische Analyse von Roh- und Infiltrationswasser zur Bestimmung von Menge, Temperatur, Sauerstoffgehalt, Trübung, elektrischer Leitfähigkeit, pH, sowie bei Bedarf Hydrokarbonaten, Detergentien, Schwermetallen usw.

Erwünscht ist zusätzlich eine sofortige Feststellung toxischer Inhaltsstoffe. Resultate von chemisch-physikalischen Messmethoden stehen leider erst Stunden oder Tage nach der Probenahme zur Verfügung. Aus diesem Grund sollten Fischtests oder andere biologische Verfahren eingesetzt werden.

Steuerung

Die Steuerung dient der Regulierung der Durchlaufmenge durch die verschiedenen Teile der Anlage als auch der Aufbereitung des Rohwassers. Sie sollte ferner eine sofortige Ausschaltung der Grundwasseranreicherung bewirken, wenn die Wasserqualität den gestellten Anforderungen nicht genügt. Eine allfällige Dosierung von Chemikalien zur Aufbereitung kann mit ständig überwachten Parametern gekoppelt und gesteuert werden.

Tabelle 8. Mutmasslicher Einfluss der Veränderung des Grundwasserspiegels



Grundwasserspiegel (GWSP) befindet sich:

a. im Wurzelraum

b. in der unteren Randzone des Wurzelbereiches

c. tiefer als die untere Randzone des Wurzelbereiches

d. in grosser Tiefe

GWSp vor Absenkung in Lage:	Hebung des GWSp bis in Lage:	Senkung des GWSp bis in Lage:
a) forstlich: Bestand vermutlich Auenwald landwirtschaftlich nicht nutzbar		b) forstlich: Beeinträchtigung mit allmählicher Erholung möglich c) oder d) forstlich irreversible Schäden wahrscheinlich landwirtschaftlich: jetzt nutzbar
b)	a) forstlich und landwirtschaftlich: Schädigung möglich, hängt von vorhandenen Pflanzenarten ab	c) forstlich und landwirtschaftlich: Beeinträchtigung möglich, hängt von vorhandenen Pflanzen ab d) forstlich: irreversible Schäden wahrscheinlich, landwirtschaftlich: wie bei c), hängt zusätzlich von den Niederschlägen ab
c)	a) forstlich und landwirtschaftlich: irreversible Schäden wahrscheinlich b) forstlich und landwirtschaftlich: Begünstigung des Pflanzenwachstums möglich	d) forstlich und landwirtschaftlich: kein Zusammenhang mit dem Pflanzenwachstum (nachweisen)
d)	c) forstlich und landwirtschaftlich: keine Beeinflussung des Pflanzenwachstums b) oder a) forstlich und landwirtschaftlich: wie bei Ausgangslage c)	

Die Steuerung kann sowohl von Hand als auch automatisch erfolgen. Bei grösseren Anreicherungssystemen können Prozessrechner zur wasserwirtschaftlichen Steuerung und Regelung eingesetzt werden. Dies setzt eine entsprechende Erfassung der notwendigen Parameter voraus. Bei Gefährdung von aussen soll die Anlage an die örtliche Alarmorganisation angeschlossen werden.

Betrieb von Infiltrationsanlagen

Verstopfung des Infiltrationsbereiches. Auch aufbereitetes Infiltrationswasser kann bei längerdauernder Infiltration zu

Verstopfungserscheinungen führen. Die Prozesse, die solche Erscheinungen verursachen, sind:

- Schwebstoff-Ablagerungen und -Einlagerungen
- Verkrautung
- Kulturen von Kleinlebewesen (Algen, Bakterien usw.)
- chemische Ausfällungen
- Gaseinschlüsse

Zur Reduktion von Schwebstoffen im Infiltrationswasser können die Massnahmen gemäss Tabelle 5 eingesetzt werden. Chemische Ausfällungen können durch entsprechende Vorbehandlung verhindert werden. Zur Verhinderung der Verstopfung durch Lufteinschlüsse werden die Anlagen zweckmässigerweise langsam eingefahren.

Bei Untergrundversickerung mittels *Schluckbrunnen* oder *Sickergalerien* ist der Bereich um die Sickereinrichtung verstopfungsgefährdet. Wenn Reinigungsmöglichkeiten nicht in Betracht kommen, ist daher darauf zu achten, dass nur weitgehend vorgereinigtes Wasser infiltriert wird. Zur Vermeidung von Lufteinschlüssen sollte verhindert werden, dass in der Infiltrationsanlage Wasser-Luft-Gemische entstehen.

Beim Ausbringen des Infiltrationswassers über einer bewachsenen Humusschicht durch Beregnen oder Überflutung wird in der Regel die Verstopfung verhindert, sofern durch intermittierende Betriebsweise (Trockenlegung des Infiltrationsbereiches nach einigen Wochen Betriebsdauer in zyklischer Folge) die biologische Aktivität der Humusschicht erhalten bleibt. Bei tiefen Temperaturen muss bei solchen Anlagen mit der Vereisung des Infiltrationsbereiches gerechnet werden.

Bei Anreicherung mittels Becken, Teichen oder Gräben wirkt der oberste Durchflussbereich als Langsamfilter. Davon sind vor allem die obersten cm des Sickerbereiches verstopfungsgefährdet. Die hauptsächlichsten Gründe dafür liegen in *mechanischen Ab- und Einlagerungen* und in der *Massenentwicklung von Algenkulturen* und dergleichen.

Algen-Massenentwicklungen können neben der Beeinträchtigung der Versickerung auch vom gütgemässigen Gesichtspunkt her unerwünscht sein. Sie können eine Beeinträchtigung von Geruch und Geschmack im Filtrat, die Bildung von Phytotoxinen, d.h. von *giftigen Stoffwechselprodukten*, sowie eine *ausserordentliche Belastung des Sauerstoffgehaltes* im Grundwasser bei Absterben der Organismen innerhalb einer kurzen Zeitspanne bewirken. Die Massnahmen, die zur Verhinderung des Algenwachstums zur Ver-

fügung stehen, lassen sich in zwei Gruppen unterteilen, wenn man davon ausgeht, dass die Bekämpfung durch Zugabe von Chemikalien (Chlor, Kaliumpermanganat) wegen allfällig negativen Einflüssen auf die Biocönose ausser Betracht fällt:

1. Veränderung der Lebensbedingungen

- Herabsetzung des Phosphor-Gehaltes des Infiltrationswassers,
- Herabsetzung des CO₂-Gehaltes des Infiltrationswassers,
- Veränderung des pH-Wertes,
- Wasserbewegung,
- Verminderung der Belichtung durch künstliche Abdeckung oder durch schattenspendende Pflanzen.

2. Besondere Betriebsweise

- intermittierende Betriebsweise (erfordert ausreichende Kapazität an Infiltrationsflächen),
- nicht überstaute Betriebsweise,
- Algenentfernung (im schwimmenden Zustand z.B. mittels Schlamm-saugwagen oder Rechen, wenn Algen durch Wind dicht zusammengedrängt sind, oder «biologisch» mittels Einsatz von speziellen Fischen).

Reinigung des Infiltrationsbereiches. Die Reinigung des Infiltrationsbereiches kann notwendig werden

- zur Wiederherstellung der normalen Infiltrationsleistung
- zur Vermeidung der Beeinträchtigung der Wassergüte durch unerwünschte organische Abbauprozesse (Algenabbau, anaerober Abbau organischer Substanzen).

Die Massnahmen richten sich nach der Infiltrationsmethode.

Für die Reinigung von Untergrundversickerungsanlagen (Schluckbrunnen usw.) wird auf die Technik der Regenerierung von Filterbrunnen verwiesen.

Bei Anreicherung über Becken, Teiche oder Gräben genügt es in der Regel, die oberste verschlammte Schicht zu entfernen. Die Abschlämmung kann erfolgen durch:

- Trockenlegung des Beckens und Abschuppen der verschlammten Schicht von Hand oder maschinell mit eventuell anschliessendem Auflockern der Oberfläche. Der Einsatz von Maschinen hat so zu erfolgen, dass dadurch keine Verdichtung des Infiltrationsbereiches verursacht wird.
- Abschlämmung bei geflutetem Becken durch Spül- oder Absaugmaschinen.

(Fortsetzung und Schluss Heft 50)

Die Zukunft des Alpenraumes

Bericht über den Europakongress in Lugano

Moderne Kongresse muten wie der medizinische Check-up eines mehr oder weniger unheilbar Kranken an: Die Symptome sind zwar bekannt, die Therapien aber haben in den vergangenen Jahren wenig Linderung gebracht, zum Teil die Krankheit verstärkt. Nun werden neue und alte Kuren angepriesen. Der Unterschied zum medizinischen Konzil ist nur, dass Diagnosen, Prognosen und Therapien, selbst wenn sie widersprüchlich sind, einer breiten Öffentlichkeit vorgelegt werden.

Die Bedeutung des Alpenraumes ist nicht nur für seine 7,5 Millionen Bewohner, sondern auch für die 260 Millionen Menschen der sie umgebenden Länder unbestritten. Die Alpen als *Energie-lieferant*, als Verkehrshindernis und gleichzeitig als Verkehrsader, als wichtiges Wasserreservoir Europas, als Sport- und Erholungsgebiet und als Ausgleichszone für die Ballungsräume, alle diese Funktionen des Alpenraumes sind von grösster Wichtigkeit. Der stellvertretende Generalsekretär des Europarates, *Adinolfi*, sprach von einer *maximalen Nutzung dieser europäischen Reserven*. Nicht

als nostalgisches Erbe wolle man den Alpenraum verstanden wissen, seine Bevölkerung solle teilhaben am wirtschaftlichen und sozialen Fortschritt. Man beglückwünsche sich zur Entwicklung des Tourismus.

Diese vorwiegend materialistische Betrachtungsweise zeigte den *ersten tiefgreifenden Widerspruch*: es sind jene, den Alpenraum umgebenden Menschen, die des materiellen und sozialen Fortschrittes bereits in höherem Ausmasse teilhaftig sind als die Bergbevölkerungen, die heftig in die Alpenregion drängen. Sie suchen Flucht aus der Anonymität urbaner Umgebung, gute Luft, Ruhe, Raum, sie suchen auch den Kontakt mit Menschen, die eine Tradition noch bewahrt haben, sie suchen, wie Staatsminister *Jaumann* sagte, etwas wohlerhaltene Heimat. Die Zahl der Touristen übertrifft teilweise die der Einheimischen um ein Vielfaches. Solche Konzentrationen stellen in einer ökologisch und ästhetisch empfindlichen Landschaft eine grosse Belastung dar. Auch im Bereich der Sozialbeziehungen und der kulturellen Eigenständigkeit