Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 70 (1978)
Heft: 5

Artikel: Der Grundwasserstrom des Alpenrheins
Autor: Lardelli, Renzo / Weber, Eugen / Bertschinger, Heinrich
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-941072

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: 24.10.2025

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

Der Grundwasserstrom des Alpenrheins

Vorwort zur Studie des Rheinverbandes

Die Sorge um einen geordneten Wasserhaushalt in der Region des Alpenrheins veranlasste den Rheinverband, diese Studie herauszubringen. Im Rheintal zwischen Reichenau und Bodensee werden die hier zusammengestellten und übersichtlich zugänglich gewordenen Entscheidungsgrundlagen zur Lösung von wasserwirtschaftlichen Problemen bald dringend benötigt.
Um Zusammenhänge zu erkennen und richtige Schlüsse im Hinblick auf das Leben in der Region und deren weitere Entwicklung ziehen zu können, gilt es, das Wissen um Lage, Menge und Qualität des Wasserangebotes, insbesondere des Grundwassers zu vertiefen.
Die Studie gibt, aus der Vielfalt der vorhandenen Unterlagen, eine bisher fehlende Gesamtübersicht, verbunden mit Angaben und Hinweisen auf spezielle Verhältnisse in den verschiedenen Talabschnitten. Sie streift überdies die Möglichkeiten der Erhaltung und Verbesserung von Substanz und Qualität des Grundwassers im untersuchten Gebiet. Die Studie vermittelt derart den Ist-Zustand, ohne Anspruch auf Endgültiges, Abgeschlossenes zu erheben. Im Gegenteil, sie soll Basis und Anregung für weiteres Planen und Forschen sein und einer weiteren Entwicklung der Region Richtung weisen.
Unserem Vorstandsmitglied Eugen Weber, Geologe in Maienfeld, der uns sein umfassendes Wissen zur Verfügung stellte, vorhandene Unterlagen sammelte und ordnete und neue Unterlagen erarbeitete, sei an dieser Stelle für die grosse Arbeit aufrichtig gedankt. Dank auch allen Mitarbeitern, die Beiträge zur Studie lieferten, uns bei der Arbeit zur Seite standen und die durch ihren finanziellen Beitrag die Erarbeitung und Veröffentlichung der Studie ermöglichten.

Rheinverband Der Präsident: Renzo Lardelli

Inhalt

Vorwort 95

Inhalt 96

1. Einleitung 97
1.1. Die diluvialen und aluvialen Ablagerungen 98
1.2. Begriffe und Zusammenhänge 98
1.3. Erläuterungen zu den chemisch-bakteriologischen Befunden 99

2. Geologisch-morphologische Übersicht über das Gebiet des Alpenrheins und das Seeztal; die verschiedenen Rheinsysteme 99
2.1. Die Oligozänzeit 100
2.2. Die Aquitan-Miozän-Zeit 100
2.3. Die Zeit des mittleren Miozän und des Pliozän 100
2.4. Das Diluvium 102
2.5. Das Ende der Eiszeiten 102

3. Hydrologische Uebersicht 102
3.1. Das Domleschger Becken 102
3.2. Das Churer Becken 102
3.3. Das Becken Trimmis—Landquart 103
3.4. Das Becken von Maienfeld 103
3.5. Das Becken von Sargans 103
3.6. Das Becken Trübbach/Mäls — Haag/Eschen 103
3.7. Das Becken Haag/Eschen — Montlingen/Götzis 103
3.8. Das Becken Montlingen/Götzis — Au/Lustenau 103
3.9. Das Grundwasser im Einflussbereich des Bodensees 104

4. Aufbau und Zusammensetzung der Talbeckenfüllung 104

5. Bautechnische Probleme am Rhein 106
5.1. Die Rheinebene vor dem Eingriff der Technik 106
5.2. Beginn des menschlichen Ringens mit dem Rhein 107
5.3. Projekte und Verträge über die Regulierung des Rheins 108
5.4. Die Wildbäche im Einzugsgebiet des Rheins 114
5.5. Probleme am Rhein nach 1927 114
5.6. Gelöste und ungelöste Probleme an Rhein und Bodensee 116

Faltbeilage: «Römerkarte» 122

Zum Bild auf Seite 95

Aus dem Liechtensteinischen blicken wir gegen den Gonzen (Bildmitte). Im Mittelgrund schiebt sich von links her der Fläscherberg mit dem Ellhorn in die Rheinebene. Sargans liegt im leichten Dunst. Der Rhein fliesst von links (hinter dem Fläscherberg) zum Fuss des Gonzen und dreht bei Trübbach nach rechts. Er bildet die Landesgrenze Schweiz—Liechtenstein. Foto W. Wachter, Schaan/FL

Zum Titelbild auf dem Heftumschlag

In Bildmitte erkennt man das Maschinenhaus, den Oberwasserkanal und die Wehrbrücke mit dem Wehrbedienungshaus des Kraftwerks Reichenau. Am oberen Ende des Stausees überquert die Oel-Pipeline den eingestauten Rhein. Im Mittelgrund links befinden sich die Industrieanlagen der Emser Werke AG, wo die Energie aus dem Kraftwerk verwertet wird. Zwischen dem Oberwasserkanal und der Siedlung «Frassen» der Emser Werke AG verläuft die Nationalstrasse N 13 in Richtung San Bernardino.
Die Farbaufnahme wurde uns freundlicherweise von der Kraftwerke Reichenau AG zur Verfügung gestellt.

6. Untersuchungen in den einzelnen Talabschnitten 123
6.1. Domleschg — Heinzenberg 123
6.2. Das Bergsturzgebiet von Reichenau 125
6.3. Domat/Ems — Haldenstein 127
6.4. Das Vorderprättigau 129
6.5. Trimmis — Landquart — Maienfeld 130
6.6. Das Sarganserbecken 133
6.7. Das Seeztal 134
6.8. Trübbach — Eschen 135
6.9. Von Haag/Eschen bis Montlingen/Götzis 136
6.10. Der Abschnitt Montlingen/Götzis bis zum Bodensee 138
6.11. Das Vorarlberger Rheintal 142

7. Grundwasserspiegel-Schwankungen und Strömungsrichtungen 150

Faltbeilagen: «Isohypsenkarten» 150

8. Der Chemismus des Grundwassers 151

9. Ergebnisse neuerer Grundwasseruntersuchungen 153
9.1. Bündner Rheintal 153

Faltblatt: «Chemische Grundwasseranalysen» 154

9.2. Neuere Grundwasseruntersuchungen im Abschnitt Rüthi — Blattenberg 155

10. Technische Anlagen zum Schutz und zur Nutzung des Rheintal-Grundwassers 160
10.1. Projekt und Bau der Abwasserreinigungsanlage Flims 161
10.2. Abwasserreinigungsanlage Chur 163
10.3. Die Kehrichtverbrennungsanlage Trimmis des Gemeindeverbandes für Abfallbeseitigung in Graubünden 164
10.4. Ölpipelines sind umweltfreundlich 164
10.5. Grosstanklager des Verbandes ostschweizerischer landwirtschaftlicher Genossenschaften (VOLG) in Landquart 165
10.6. Fernmelde- und Fernsteuerungsanlage der Wasserversorgung der Stadt Chur 166
10.7. Die Grundwasserfassungen Rossboden 167
10.8. Die Abwasserreinigungsanlage Altenrhein 168
10.9. Das Grundwasserpumpwerk «Viertellöser» der Wasserversorgung «Igis-Landquart» 168

11. Erhaltung und Verbesserung von Menge und Qualität des Grundwassers in der Rheinebene 169
11.1. Gesetze, Vorschriften, Richtlinien 169
11.2. Regionen verschiedener Beurteilungskriterien der Grundwasserprobleme 169
11.3. Beeinflussung von Qualität und Menge des Grundwassers 170
11.4. Empfehlungen zum Schutz und zur Verbesserung des Grundwassers 172

Adressen der Verfasser 172

Lothar Görlich: Energiewirtschaftlicher Vergleich verschieden angeordneter Verfahren der Klärschlammpasteurisierung an anaeroben Faulstufen 173

Mitteilungen verschiedener Art 176

1. Einleitung

Eugen Weber

Die Geschichte des Rheins kann nicht von der Geschichte des Grundwassers getrennt werden. In ewigem Wechselspiel fliesst das Wasser vom Rhein zum Vorland und wieder zurück. Grundwasser ist für uns eine segensreiche Gabe, zu deren Erhaltung erhebliche Mittel für Forschung und Nutzung aufgewendet werden. War das immer so?

Zu Anfang des letzten Jahrhunderts finden wir einen ungebändigt dahinfliessenden Rhein. Sein Wasserspiegel lag auf gleicher Höhe wie die Talsohle. Das Grundwasser — zusätzlich gespiesen durch Hang-, Bach- und Karstwasser — stieg zu den Talflanken hin an. Stehendes Wasser, Sümpfe und Schlemmböden verhinderten eine landwirtschaftliche Nutzung. Kulturland fand sich nur an den Talhängen und auf steilen randlichen Schuttfächern. Der Verkehr wickelte sich über mühsam angelegte Hangstrassen ab. Die wirtschaftliche und kulturelle Kommunikation war nur längs der Talflanken möglich.

Nach anfänglichen Schwierigkeiten politischer, territorialer und technischer Art wurde dann im 19. Jahrhundert die Wuhrung des Rheins vorangetrieben. Die Erstellung der Binnenkanäle und Drainagen brachte eine spürbare Absenkung der Grundwasserspiegel und damit eine zunehmende Austrocknung der obersten Bodenschichten.

Eine entscheidende Wende im Grundwasserhaushalt des Rheintales brachten die Meliorationen, die während des Ersten Weltkrieges infolge der isolierten Lage der Schweiz, Liechtensteins und des Landes Vorarlberg einsetzten. Das damit gewonnene Land sollte helfen, dem immer spürbareren Mangel an Lebensmitteln zu begegnen. Dieses Werk von nationaler Bedeutung hat sich gelohnt, und bedeutende Landflächen konnten der Bewirtschaftung erschlossen werden.

In Kapitel 5, «Bautechnische Probleme am Rhein», wird auf die gewaltigen Anstrengungen hingewiesen, die in über 150jähriger Arbeit nötig waren, um die Bevölkerung vor der Gewalt der Wasser- und Geschiebemassen des Rheins zu schützen. Verbauungen in den Einzugsgebieten, die Rheinwuhrung und Sohlensicherung sowie die Entwässerung der Talebenen haben heute Land und Volk weitgehend gesichert. Die einst am Talhang in erhöhter Lage gelegenen Siedlungen dehnen sich immer mehr ins Rheinvorland aus.

Die Besiedlung der Talsohle und die zunehmende, zum Teil intensive Industrialisierung lassen die Sorge um die Erhaltung eines produktiven Grundwassers in den Vordergrund treten. Einmal ist es die Gefahr einer Grundwasserverschmutzung. Sorge bereiten auch die künstlichen Grundwasserabsenkungen, die Entnahme grosser Grundwassermengen und nicht zuletzt die Gewinnung von Kies und Sand aus dem nahen Rhein. Potentielle Grundwasserverschmutzung und als Folge lokaler Absenkungen der Rheinsohle ein Absinken des Grundwasserspiegels verlangen nach einer Intensivierung der Grundwasser-Untersuchungen. Überschlägige Berechnungen haben ergeben, dass eine Absenkung des Grundwasserspiegels von 1 m im Rheintal von Sils i. D. bis zum Bodensee einem Verlust an Grundwasser von etwa 100 Mio m³ entspricht. Diese Abnahme an Substanz bringt auch eine Abnahme der Regenerationsfähigkeit des Grundwassers mit sich, folglich eine zunehmende Konzentration der Schadstoffe im Grundwasser.

Nach dem Ende des Zweiten Weltkriegs setzte eine Intensivierung der Grundwasserforschung ein. Erst beschränkte man sich nur auf einzelne Talabschnitte, vor allem im Hinblick auf eine mögliche Wasserkraftnutzung im Rheintal und einzelnen Nebentälern. Mit der Schaffung von Gewässerschutzämtern und durch Vorarbeiten für grosse Projekte (Stauanlagen in den Einzugsgebieten, Kraftwerke am Rhein, Pipeline, Nationalstrassen, Kernkraftwerk Rüthi, Grosstankanlagen, Industriewerke und Grundwasserbrunnen) konnte eine intensive Verdichtung der Informationen über die ganze Ausbreitung des Rheintalgrundwassers erreicht werden.

Um die Übersicht auf die vielen vorhandenen Daten aus den Hunderten von Sondierungen und Untersuchungen im Rheintal-Grundwasser nicht zu verlieren, beschloss der Rheinverband auf Antrag seines Präsidenten, alt Regierungsrat *Renzo Lardelli,* im Herbst 1972 in einer Studie über das Grundwasser des Rheintales den Ist-Zustand der geologisch-hydrologischen Verhältnisse im Bereich des Grundwassers des Alpenrheins festzuhalten. Es war dann Aufgabe der eigens dafür eingesetzten Kommission, bei Ämtern und privaten Ingenieurbüros die vorhandenen Daten zu sammeln. Im weiteren galt es, durch neue Bohrungen, Pumpversuche, seismische Abklärungen usw., das Netz der Beobachtungsstellen zu verdichten und vorhandene Lücken zu schliessen.

Die vorliegende Studie erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Schon vom zur Verfügung stehenden Umfang her ist dies nicht möglich. Einzelheiten wie Standorte der Wasserbezugs- und Messstellen, Messresultate, Sondierungen, Detailuntersuchungen, chemische Analysen usw. können auf den unten angeführten Ämtern eingesehen werden. Im weitern stehen eine Anzahl Büros und Unternehmungen zur Verfügung, die Grundwasser-Untersuchungen durchgeführt haben. Diese können über die Gewässerschutzämter erreicht werden. Wir möchten allen, die in irgendeiner Weise den Autoren zur Verfügung standen, bestens für die angenehme Zusammenarbeit danken.

Zuständige Amtsstellen

Kanton Graubünden

Amt für Gewässerschutz Graubünden
Chemische Laboratorien für Lebensmittelkontrolle und Gewässerschutz Graubünden

Kanton St. Gallen

Amt für Wasser- und Energiewirtschaft des Kantons St. Gallen
Kantonales Laboratorium St. Gallen

Fürstentum Liechtenstein

Amt für Gewässerschutz des Fürstentums Liechtenstein

Land Vorarlberg

Die zuständigen Bezirkshauptmannschaften im Land Vorarlberg, Bregenz
Amt der Vorarlberger Landesregierung in Bregenz
Das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft in Wien

Von nachstehenden Institutionen und Büros wurden Veröffentlichungen und Gutachten in dieser Publikation verwendet:

Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz, EAWAG, Dübendorf
Tiefbau- und Strassenverwaltung des Kantons St. Gallen
Vorarlberger Illwerke AG, Bregenz
Nordostschweizerische Kraftwerke AG, Baden
Kraftwerke Sarganserland AG, Baden
Oleodotto del Reno SA, Chur
Ingenieurbüro für bauliche Anlagen der Stadt Zürich
Ingenieurbüro Spalt und Schäublin (vorm. K. Schwizer), St. Gallen
Büro für Technische Geologie AG, Maienfeld/GR

1.1. Die diluvialen und alluvialen Ablagerungen

Paul Nänny

Die Lockergesteine der Rheintalfüllung können nach Art des Materialtransportes eingeteilt werden in:

a) *Glaziale Ablagerungen,* d. h. Moränenablagerungen der Gletscher.

b) *Fluviatile Ablagerungen,* d. h. Ablagerungen der von den Flüssen herangeführten Feststoffe; sie können je nach dem *Ort der Sedimentation* unterteilt werden in *fluviatil-limnische* und *fluviatil-terrestrische* Bildungen.

c) Bei den Ablagerungen, die aus den durch die Schmelzwasserflüsse der sich zurückziehenden Gletscher transportierten Schuttmassen bestehen, spricht man häufig von *fluvioglazialen Ablagerungen.* Für die Grundwassergewinnung von Bedeutung sind die in der Regel durch ihre Reinheit (keine torfigen Einlagerungen) sich auszeichnenden fluvioglazialen Schotter.

Nach der Zeit der *Entstehung der Sedimente* sind die Lokkergesteine des Rheintals als *quartäre Ablagerungen* zu bezeichnen, sie werden in *diluviale und alluviale Ablagerungen* unterteilt.

Die Lockergesteinsfüllung des Rheintals besteht zum überwiegenden Teil aus fluviatilen Ablagerungen; reine Moränen sind selten. Gemäss dem Ablagerungsort handelt es sich vorwiegend um fluviatil-limnische Bildungen, d. h. um Materialablagerungen des Flusses in den beim Rückzug des Gletschereises entstandenen Seebecken und Tümpeln. Fern von der Einmündung des Flusses in den See entstandene typische Seeablagerungen wie die in der Talauffüllung des unteren St.-Galler- und Vorarlberger Rheintals vorherrschenden lehmig-feinsandigen Lockergesteinsmassen. Von anderer Art sind die in letzter Zeit im Boden des Churer Rheintals erbohrten sehr mächtigen Schottermassen; hier handelt es sich um den Schuttfächer eines geschiebereichen Gletscherabflusses entweder auf dem Lande oder in einen See in unmittelbarer Nähe der Flussmündung. Währenddem man im letzterwähnten Beispiel nicht zögert, von fluvioglazialen Schottern zu sprechen, ist man im ersterwähnten Beispiel, obwohl das Material der feinkörnigen Lockergesteine im tieferen Teil der Talauffüllung ebenfalls von den Schmelzwasserflüssen der diluvialen Gletscher stammt, im Zweifel, ob man auch hier die Bezeichnung fluvioglazial verwenden soll.

Die Verwendung der Begriffe fluviatil-limnisch, fluviatil-terrestrisch und fluvioglazial ist für die Gliederung und Unterteilung der Lockergesteinsmassen von Talböden, mindestens im Falle des Rheintals Chur—Bodensee, problematisch. Auch die Einteilung der Lockergesteinsmassen in diluviale und alluviale Ablagerungen ist in der Praxis nicht verwendbar (einerseits weil die Grenze in den Bohrprofilen nicht bzw. nur mit zeitraubenden Spezialuntersuchungen gezogen werden kann, andererseits weil diese Unterteilung hydrologisch ohne Bedeutung ist).

Die Beurteilung und Gliederung der Lockergesteinsmassen des Talbodens nach den Kriterien: Art des Materialtransports, Ort der Sedimentation und Zeit der Entstehung der Sedimente ist in geologisch-wissenschaftlicher Beziehung zwar interessant, in hydrogeologisch-praktischer Hinsicht jedoch besitzt sie kaum nennenswerte Bedeutung. Bei den weiteren Ausführungen über die Zusammensetzung und Gliederung der Lockergesteinsmassen werden wir uns daher auf die hydrogeologisch-praktischen Parameter — Granulometrie und Durchlässigkeit der Bodenschichten — beschränken.

1.2. Begriffe und Zusammenhänge

In fast jedem genügend tiefen Bohrloch trifft man einen Grundwasserspiegel an. Dieser trennt ungesättigte von wassergesättigten (grundwassererfüllten) Bodenschichten. Nutzbar für die Wasserversorgung ist nur Grundwasser, das mittels Grundwasserfassungen (Filterbrunnen und Sikkergalerien) den Bodenschichten entzogen werden kann.

Die Entzugsmöglichkeit des Grundwassers ist abhängig von der Durchlässigkeit (eine Art Leitfähigkeit) der Bodenschichten; sie ist um so besser, je grösser die Durchlässigkeit ist.

Als produktiv werden diejenigen wassergesättigten Bodenschichten bezeichnet, aus denen mit vertretbarem technischem Aufwand Grundwasser gewonnen werden kann. In besonderem Masse produktiv sind daher die gut durchlässigen Schichten (vorwiegend sauberer Kies-Sand und Sand). Unproduktiv sind die praktisch undurchlässigen wassergesättigten Bodenschichten. In der Praxis können mehr oder weniger Zwischenstufen, hie und da sogar fliessende Übergänge zwischen den gut durchlässigen über mittelmässig und wenig durchlässige zu den praktisch undurchlässigen Schichten festgestellt werden. Es bleibt oft eine Ermessensfrage, wo in den Zeichnungen und Berechnungen der Trennstrich zwischen produktiv und unproduktiv gezogen werden soll.

Der in der Fachliteratur und in Berichten häufig verwendete Begriff «Grundwasserleiter» wird verschieden definiert. Wir verstehen darunter die Summe der produktiven Bodenschichten.

Bei der Abteufung der Sondierbohrungen werden in der Regel durch die Bohrfirma Untersuchungen zur Bestimmung der punktförmigen k-Werte, d. h. der lokalen Durchlässigkeitskoeffizienten der wassergesättigten Bodenschichten in verschiedenen Tiefen durchgeführt. Die Bestimmungen erfolgen z. T. mittels Pumpversuch, z. T. mittels Einspülungsversuch durch die Querschnittfläche des unten offenen Bohrrohrs. Die aus den Ergebnissen dieser Versuche nach der Formel von *Körner-Trüeb* berechneten k-Werte werden am zweckmässigsten in den Bohrprofilen eingetragen. Diese punktförmigen k-Werte dienen der Gliederung der wassergesättigten Zone in gut durchlässige, wenig durchlässige und praktisch undurchlässige (bzw. produktive, wenig produktive und unproduktive) Bodenschichten.

Für die Beurteilung der Nutzbarkeit des in einer Bohrung angetroffenen Grundwassers sind die folgenden beiden Eigenschaften der produktiven Bodenschichten wichtig:

— Der mittlere Durchlässigkeitskoeffizient k_m in m/s

— Die Mächtigkeit H in m

Die Faktoren k_m und H geben Auskunft darüber, welche Wassermenge Q unter bestimmten Pumpbedingungen aus einem Bohrloch bzw. einem Filterbrunnen kurzfristig gefördert werden kann. Eine charakteristische Verhältniszahl für die quantitativen Verhältnisse einer Bohrstelle ist das Produkt $k_m\ H$, d. h. die sogenannte Transmissibilität T. Unter bestimmten Untersuchungsbedingungen (gleiche Geometrie der Versuchsbrunnen) entspricht die Transmissibilität näherungsweise dem aus Pumpversuchen gewonnenen Wert $Q_{spez} = Q/\triangle H$ (spezifische Ergiebigkeit).

Die Ergiebigkeit bzw. die maximale Entnahmemenge eines bei einer Bohrstelle errichteten vertikalen Filterbrunnens mit einem bestimmten Bohrdurchmesser D kann aus den Pumpversuchsergebnissen errechnet werden.

Ob eine bestimmte Wassermenge Q nicht nur kurzfristig, sondern während langer Zeit bzw. dauernd gefördert wer-

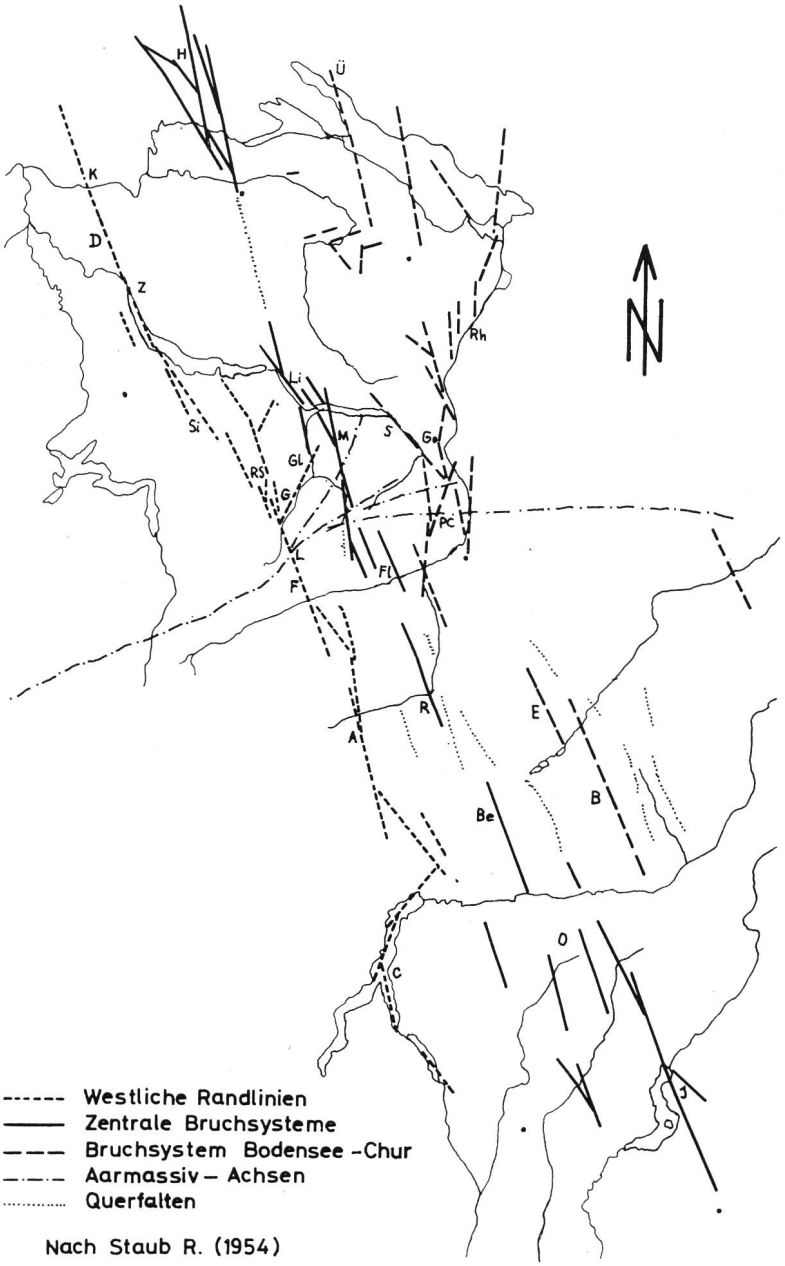


Bild 1. Die alpine Quersenke Bodensee-Brescia

Das obenstehende Bild 1 gehört zum Kapitel 2 auf die Seite 99. Der Hinweis auf Bild 1 sollte zu Beginn des zweiten Abschnittes stehen, also **Bild 1** und nicht Bild 2.1.

Korrigenda

Der Text zu Bild 6.5.1. auf Seite 130 wurde mit dem Text zu Bild 6.5.2. auf Seite 132 verwechselt.

den kann, hängt ab vom Zufluss zum Grundwasservorkommen sowie vom zusammenhängenden Gesamtvolumen des gespeicherten Wassers.
Für eine umfassende quantitative Beurteilung eines Grundwasservorkommens müssen sämtliche erwähnten Grundlagen möglichst genau studiert und abschliessend zusammengefasst gewürdigt werden.
Aus langfristigen Pumpversuchen mit möglichst grosser Entnahmemenge — d. h. bei der Probe aufs Exempel — erhält man in der Regel die sichersten Angaben über die quantitativen Verhältnisse.

1.3. Erläuterungen zu den chemisch-bakteriologischen Befunden

Im nachstehenden Bericht wird über den Chemismus und die bakteriologischen Befunde des Grundwassers nur in Form von kurzen tabellarischen Zusammenstellungen orientiert. Für eingehendere Information sei auf die zuständigen Laboratorien sowie auf die Gewässerschutzämter verwiesen.

Richtlinien zur Beurteilung der Grundwasserproben

Sauerstoffsättigung

Der Sauerstoffgehalt soll für Trinkwasser zwischen 80 und 100 Prozent des temperaturabhängigen Sättigungswertes betragen. Unterhalb 60 Prozent ist Vorsicht geboten, da die Ausbildung einer Kalk-Rost-Schutzschicht in eisernen Leitungen nicht mehr gewährleistet ist und das Wasser aggressiv sein kann.

Gesamthärte

Sie vermittelt ein Bild über den Gehalt an Erdalkalisalzen (Härtebildner)

Härtegrad fH °	Bezeichnung
0 bis 7	sehr weich
7 bis 15	weich
15 bis 22	mittelhart
22 bis 32	ziemlich hart
32 bis 42	hart
über 42	sehr hart

Eisen und Mangan

Natürliche Wasservorkommen, die der Trinkwasserversorgung dienen, sollten nicht mehr als 0,1 mg/l Eisen (Fe) oder 0,05 mg/l Mangan (Mn) enthalten.

pH-Wert

Der pH-Wert eines natürlichen, unbehandelten Wassers soll zwischen 7,0 und 8,5 liegen. Das Wasser soll den dem Kalk-Kohlensäuregleichgewicht entsprechenden pH-Wert aufweisen.

Bakteriologischer Befund

Die Anforderungen an Grundwasser zur Trinkwasserversorgung sind

— Gesamtkeimzahl: nicht mehr als *100 Keime* pro ml
— Coliforme Bakterien: in 100 ml Wasser *0 Keime*
— Enterokokken: in 100 ml Wasser *0 Keime*

2. Geologisch-morphologische Übersicht über das Gebiet des Alpenrheins und das Seeztal; die verschiedenen Rheinsysteme

Eugen Weber

Die heutige Ausbreitung des Rheintalgrundwassers ist eng mit der Geschichte des Rheins und seiner Zuflüsse verknüpft. Ein Sprung in die Vergangenheit zeigt eine uralte bauliche Anlage dieses Alpenabschnittes, deren Entstehung und Ausprägung wohl in die Zeit der alpinen Orogenese zurückreicht. Es ist eine der grossen alpinen Quersenken, die durch Grossverwerfungen, gebündelte Verwerfungsscharen und gefiederte Ausläufer das dominierende SW-NE-Streichen des Alpenwalles durchbrachen und einen, wenn auch heute schwer durchschaubaren Quertrog bildeten.
Bild 2.1 zeigt die heute noch erkennbaren Bruchsysteme der grossen Quersenke im Abschnitt Brescia—Bergell —Glarus nach *R. Staub,* wobei im Raume Bodensee aufgrund neuer Erkenntnisse einige Korrekturen vorgenommen wurden.
Bild 2.1 zeigt die Bewegungsspuren nur im westlichen und mittleren Bereich der Senke. Etwa ein Viertel des östlichen Muldenrandes ist durch das Anbranden der ostalpinen Decken der direkten Beobachtung entzogen und nur durch das südwestliche Einfallen der Längsachsen angezeigt. Dass diese Quermulde während der Evolution der Alpen und besonders in deren Schlussphase von der Längsschwelle im Raum oberes Engadin—Bergell ein beträchtliches Längsgefälle nach N und NNW hatte, beweisen die mächtigen, abgeglittenen Flyschmassen des Glarner und St. Galler Oberlandes sowie die grossartige darübergeschobene Glarner Stammschubmasse mit ihrem Verrucano, der in seinem Vorkommen, seiner Stellung und Ausbreitung einzigartig im helvetischen Alpenraum ist. Der ganze Alpenbau in diesem Abschnitt ist geprägt von der primär durch Verwerfungen im Untergrund angelegten Quersenke. Diese wurde noch verstärkt durch das östliche Absinken der helvetischen und penninischen Kristallinkerne. Erst nach Abschluss dieser Phase am Ende des Oligozäns begann in der obersten Muldenregion der Kampf um die Eroberung der Einzugsgebiete zwischen den Stammflüssen Inn, Maira, Ticino, Linth und Reuss.
Über den Muldenrand hinaus in Richtung Süden ist es infolge der gewaltigen tektonischen Eindeckung durch die penninischen Decken kaum möglich, die tiefliegenden Verwerfungsspalten zu verfolgen. Doch kann diese Bruchschar nachgewiesen werden durch das Auftreten der Ophiotite in der Achse Avers—Bergell—Malenco und Oberhalbstein—Oberengadin—Puschlav, durch das jungalpine Bergeller Massiv und durch das Porphyrgebiet der Bergamasker Alpen. Weiter nach Süden kann diese durch Verwerfungen gezeichnete Quermulde bis in das adriatische Senkungsfeld am Ostabfall der Apenninen verfolgt werden. Im Norden über die Bodensee-Rhein-Linie stossen wir auf die Bruchlinien des Hegaus mit ihrem erhöhten Vulkanismus.
Diese Senke quer durch den Alpenwall mit einer feststellbaren Länge von rund 300 km ist ein prädestiniertes Gebiet erhöhter Erdbebentätigkeit. Die Intensität der Krustenbewegungen wird stark vermindert durch eine Vielzahl von

Verwerfungen und Bruchzonen, an denen die Spannungen laufend abgebaut werden.
Die gebirgsbildenden Kräfte mit ihren mobilen Gesteinskörpern, ihren Hebungen und Senkungen haben wohl die alpine Quermulde zwischen Brescia und Bodensee überprägt und in ihrer Längsachse verbogen, doch von der Kulmination über dem Oberengadin nordwärts zeichnet sich heute noch eine klare, breit ausladende Mulde ab. In dieser Mulde hat sich der Rhein etabliert und seine weit ausgreifenden Fluss- und Bachsysteme bis an die Aussenränder vorgeschoben. Vereint zum erosionskräftigen Stammrhein wurde der Weg nach Norden zum Bodensee freigelegt.

2.1 Die Oligozänzeit

Wir müssen uns vorstellen, dass mit dem Abklingen des tangentialen Zusammenschubs des Alpenwalles zur Tertiärzeit dieser nur unwesentlich aus dem Meer auftauchte. Es war ein Steinwulst, mit flachen Gewölben, Domen und Massivrücken, dazwischen Mulden und Gräben. Die Achsen der einzelnen Längswülste folgten Depressionen und Kulminationen. Mit der Hebung der Alpen und der damit einsetzenden Erosion bildeten sich zwischen den Achskulminationen primär Längstäler aus, während die Achsdepressionen die primären Pässe bildeten, an welchen sich die inneralpinen Längstäler langsam entleerten und so den Beginn von Quertälern anlegten.
Im folgenden müssen wir uns nun mit den Richtungen des Hauptwasserweges, des Urrheins beschäftigen. Entscheidend dafür ist vor allem die tektonische Anlage der Septimer Mulde zur Oligozänzeit. Auf den ersten Blick scheint der Verlauf der Septimerdepression klar vorgezeichnet durch die Süd—Nord verlaufende Linie: Septimer—Oberhalbstein—Parpan—Chur—Maienfeld—St. Galler Rheintal.
Da die Alpen erst im Entstehen begriffen waren und die Gewässer sich noch durchaus labilen Mulden und Gewölberücken anzupassen hatten, sind es andere Überlegungen, die uns zur Hauptabflussfurche des Urrheins hinführen müssen.
Nach dem allgemeinen Streichen der Silvrettafalten im Landwasser-Albulagebiet und dem Streichen der Mulde der Oberhalbsteiner Klippen, Piz Martell, Piz Scalotta und Piz Toisa, weist die allgemeine Entwässerung nach Nord-Nord-West bis Nordwest, d. h. auf das Domleschg und nicht auf Parpan. Ein weiteres tektonisches Indiz einer ersten Rheinstromrinne, die in direkter Linie vom Oberhalbstein über das Domleschg hinausweist, ist die Segnesdepression zwischen den östlichen Kulminationen des Aarmassivs, Tödi und Vättis. Endlich finden wir am heutigen Alpenrand in gradliniger Fortsetzung die grösste Ausbreitung des Rheinschuttfächers in der Oligozänen Sperrnagelfluh. Es muss also angenommen werden, dass bereits im Stampien und im frühen Aquitan eine Entwässerung Septimer-Oberhalbstein-Domleschg-Segnespass-Speer bestand (Bild 2.1).

2.2 Die Aquitan-Miozän-Zeit

Die immer intensiver werdende Aufstauung der Massivzonen und der Gewölbe der rätischen Alpen während der insubrischen Phase bewirkten, dass sich die grossen Längsfurchen — das Urengadin, das Landwasser-Rheinwaldbekken, das Vorderrheintal — vertieften. Dadurch war der Abfluss nach Norden jeweils abgeriegelt oder stark gehemmt. Der Rhein in der Septimerdepression sammelte wohl Wasser des Hinterrheins über dem heutigen Domleschg, aber der ungehinderte Abfluss zum Speerschuttfächer war gedrosselt durch das im Westen aufsteigende Aarmassiv. Dadurch rutschte der zentrale Rheinstrang gegen Osten zu ab, bis er schliesslich eine erste Bleibe in der Vättnertalung fand und durch diese sich in das miozäne Meer entwässerte, nachdem er vorher über dem Winkel von Reichenau die Gewässer des Vorderrheins, das nunmehr stark verkürzte Stück der Plessur sowie die Landquart übernommen hatte (Bild 2.2).
Die Lenzerheide wurde lange Zeit als die primäre Fortsetzung der Septimertalung angesehen. Allein bei der Betrachtung des Reliefs mit seinem einheitlichen Gefälle von Parpan nach Chur und den sehr milden Erosionsformen sowohl im Nord- wie im Südabfall kommt man zur Überzeugung, dass hier der Urrhein nur kurze Zeit geflossen sein kann. Denselben Eindruck gewinnt man bei der Vättnertalung. Ihr rudimentärer Charakter gegenüber dem heute so breit angelegten Churer Rheintal lässt vermuten, dass infolge des verstärkten Ansteigens der Vättnerkuppel am östlichen Ende des Aarmassivs der Urrhein das Tal Vättis bald wieder verlassen hat. Es ist deshalb naheliegend anzunehmen, dass der Urrhein zur gleichen Zeit über Lenzerheide—Reichenau—Vättis geflossen sei.
Ein Abbild dieses bereits im oberen Oligozän sich geltend machenden Abgleitens der Stammrheintalung nach Osten lässt sich auch in der Molasse finden. Dies wird illustriert durch das Wandern der zugehörigen Schuttfächer in der subalpinen Nagelfluh des Alpenrandes nach Osten. Die Hauptmasse der oberstampischen Kalknagelfluh der ersten Septimertalung (Segnesdepression) findet sich im Raume zwischen Sihltal und Toggenburg, mit der grössten Häufung im Speergebiet. Die Hauptmasse der späteren aquitanen bunten Nagelfluh liegt heute zwischen Speergebiet und Sitter, mit der grössten Schüttung im Querschnitt Urnäsch (Vättnertalung und erste Zeit der Churertalung). Das Zentrum des Stammrheinschuttfächers hat sich somit vom oberen Stampien zum Aquitan um rund 20 km nach Osten verschoben, als Folge des Absetzens des Stammrheines nach Osten, über das von Westen her sich langsam heraushebende Aarmassiv.
Betrachten wir in Bild 2.3 die Wege des Urrheins im Abschnitt Chur zu den Schüttungsfächern der aquitanen Molasse, so kommen wir zu folgenden Hauptabflussrinnen:
1. Tiefencastel—Lenzerheide—Reichenau—Vättis—Sargans in Richtung Wattwil. Von diesem Strang werden die südlichen Zuflüsse des Seeztales aufgenommen, die zu dieser Zeit noch alle in Richtung Sargans entwässerten.
2. In einer ersten Phase entwässerten sich noch die Landquart und Plessur über Chur in Richtung Reichenau—Kunkels.
3. Zu Beginn des Miozäns querte der Kunkelserstamm unmittelbar nördlich von Maienfeld, hoch über der heutigen Talebene hinüber zur Luzisteig und strebte über Sevelen dem Appenzeller Molassedelta zu.

2.3 Die Zeit des mittleren Miozän und des Pliozän

Im mittleren Miozän verlässt der Urrhein die Senke der Lenzerheide. Er wechselt zum Teil in die alte Rinne der Segnesdepression auf dem Teilstück Savognin—Thusis und legt die erste Spur des Domleschger Stadiums, die rasch erodiert und den Parpaner Rhein weitgehend stilllegt (Bild 2.4).
Der Domleschger Rhein erweist sich nun immer mehr als Gestalter der nördlichen Rheinanlage. Die rasche Erosion zwingt den Domleschger Rhein, die Senke am Kunkels zu verlassen und sich einen neuen Weg über Chur—Maien-

Bilder 2.1 bis 2.6. Die Geschichte des Rheins und seiner Zuflüsse. Versuch der Rekonstruktion der verschiedenen Flusssysteme von der Oligozänzeit bis heute.

Bild 2.1. Oben links. Die Anlage des Urrheins zur Oligozänzeit. Die Entwässerung führt von Maloja über Septimer—Oberhalbstein—Thusis—Versam—Flims—Segnespass—Elm—Weesen zum Schuttfächer des Speers.

Bild 2.2. Oben Mitte. Der Verlauf des Urrheins in der Aquitan-Miozän-Zeit. Durch das Aufsteigen des Aarmassivs wurde der Urrhein nach Osten abgedrängt und floss vom Septimer über Oberhalbstein—Lenzerheide—Reichenau—Vättis—Sargans zum westlichen Sitterschuttkegel. Später wich er nach Osten in die Talung von Luzisteig aus und floss von dort zum Schuttkegel im Sittergebiet. Landquart und Plessur erreichten den Urrhein über Chur—Reichenau. Die Seez und ihre Zuflüsse flossen in Richtung Sargans dem Urrhein zu.

Bild 2.3. Oben rechts. Im mittleren Miozän verlässt der Urrhein die Senke der Lenzerheide und wechselt in die alte Rinne der Segnesdepression. Es beginnt die Anlage des Domleschgerrheins und anschliessend der Durchbruch entlang der Churer Talung. Nur noch der Rheinarm über die Luzisteig ist in Funktion (Pliozän-Zeit). Plessur und Landquart werden direkt vom Rhein aufgenommen. Von der Schwelle oberhalb Mels fliesst das Seezwasser nach Nordwesten zum Walensee ab.

Bild 2.4. Unten Links. Im Diluvium wurde der Abfluss des Rheins nach Norden durch die Molasseschüttungen immer mehr gehemmt. Dadurch erreichte die Linie Prättigau—Sargans—Seeztal immer mehr an Bedeutung, während der Abfluss über die Luzisteig zurückging.

Bild 2.5. Unten Mitte. Am Ende der Eiszeiten wurde die Barriere von Montlingen-Götzis geschleift. Durch Rückwärtserosion wurde der Riegel zwischen Schollberg und Fläscherberg Nord niedergelegt. Dadurch war der Abfluss des Rheins nach Norden gesichert. Dass Illsystem, das sich von jeher am rechten Talhang nach Norden entwässerte, floss nun dem Rhein zu. Vereint wurde die Barre von Montlingen-Götzis ausgeräumt. Der Rhein umfloss nun den Fläscherberg westlich. Die Schwelle oberhalb Mels wurde nur noch bei Hochwasser überströmt. Die Kreuze bezeichnen junge Erosionsschluchten, die in Folge der Eiszeiten entstanden sind.

Bild 2.6. Unten rechts. Das heutige Gewässernetz mit den Ortsbezeichnungen, die für die Beschreibungen der früheren Zustände verwendet wurden. Die jüngsten Aenderungen sind der Diepoldsauer und der Fussacher Durchstich.

feld zu schaffen. Er benutzt dazu das periklinale Gefälle des abtauchenden Aarmassivs am Calanda und legt, in weitem Bogen nach Osten ausholend, die Primärspur des heutigen Rheintales an, wobei Plessur und Landquart in ihrer Länge zurückgestutzt werden. Wir stehen nun am Ende der Pliozän-Zeit.

2.4 Das Diluvium

Wie sah es im mehr und mehr zurückweichenden Mündungsgebiet des Rheins in das Molassemeer, im Raume Maienfeld, Sargans und Mels aus? Mit dem Aufbranden der nördlichsten Alpenketten auf die Barriere der alten Rheinschuttkegel zwischen Tössstock und Appenzeller Gebiet war der Abfluss nach Norden stark gehemmt, so dass die allgemeine Entwässerung in Richtung Walensee—Linth ging. Der Walensee muss in dieser Zeit einen Höchststand erreicht haben, denn wir finden an der linken Talflanke Seetone, die bis 60 m über den heutigen Seespiegel reichen. Das Weisstannental und das Schilstal, die eine eindeutige Entwässerung nach Sargans hin zeigen, wurden umgekehrt in Richtung West. Mit dem Herausheben der Dome von Pfäfers und Wangs wurde auch die Wasserscheide bei Mels gehoben, so dass der Rhein endgültig seinen Abfluss im Norden suchen musste. Ein erstes Hindernis wurde überwunden durch die Senke von St. Luzisteig. Der Hauptdurchbruch fand im Raume Götzis—Montlingen statt. Vereint mit der von rechts kommenden Ill wurde hier entlang von Staffelbrüchen die Barriere der helvetischen Kreide durchbrochen und der Weg in die Senke des Bodensees freigelegt. Mit dem Schleifen der Felsbarre von Oberriet griff die rückwärtsschreitende Erosion die Mulde zwischen Fläscherberg und Schollberg an und verlegte das Rheinbett aus der Furche der Luzisteig in einen westlichen Bogen um den Fläscherberg herum. Damit war der Rheinlauf bis zum Bodensee endgültig festgelegt. Rund 120 km erstreckt sich das Tal fjordartig vom Bodensee bis nach Sils im Domleschg (Bild 2.5).

2.5 Das Ende der Eiszeiten

Am Übergang vom Diluvium zum Alluvium hat der Rhein seinen Lauf endgültig gesichert. Daran haben auch die Eiszeiten nichts mehr geändert. Bei den Gletschervorstössen und Rückzügen wurden besonders nach der Schlussvereisung ungeheure Wasser- und Schuttmassen transportiert. Das Relief wurde teils ausgeglichen, teils vertieft. Die vorstossenden Eismassen räumten Talträge aus und untertieften sie. Beim Rückzug wurden diese erneut aufgeschottert. Die nach Norden strömenden Wasser- und Geschiebefronten zwangen den Rhein oft in den Ablagerungsräumen zu Kursänderungen und Ablenkungen, so dass angenommen werden darf, dass oft über längere Zeit Wasser über die tiefe Felsschwelle oberhalb Mels in Richtung Walensee abfloss. Ähnliche Verhältnisse dürften unterhalb Schaan vorgelegen haben. Der Sporn des Schellenberges trennt die Rheinebene in einen nord-nordöstlichen Arm von Bendern in Richtung Oberriet und einen nordöstlichen von Eschen in Richtung Tisis—Feldkirch.

Der Abwitterungs- und Abbauprozess im Gebirge wurde unterstützt von mächtigen Berg- und Felsstürzen, die aus den Talflanken, beim Gletscherrückzug ihres abstützenden Eises beraubt, in die Talmulden abstürzten (Flims, Kunkels, Sennwald). In diese Zeit während der Schlussvereisung fällt die Entstehung der imposanten Erosionsschluchten Viamala, Schyn, Versam, Klus/Landquart, Feldkirch sowie diejenige am Hirschensprung bei Rüthi-Oberriet. Am Ausgang dieser Schluchten liegt jeweils der grosse Gefällsknick, die Basis der Erosion im überliegenden Gebirge, jenes Gebietes, das uns heute noch von Zeit zu Zeit Anschauungsunterricht zur elementaren Kraft des Wassers gibt.

R. Hantke schätzte die Eishöhen im Rhein- und Seeztal ab und erhielt die nachstehenden Werte:

	m ü. M.
Grat westlich von Malix	1960
Dreibündenstein	1900
Churerjoch	2037
Alp Scalottas	2093
Taminser Aelpli	2050
Calandahütte	2020
Alp Salaz	1816
SSW-lich Mels	1753
Tschuggen westlich Gonzen	1700
Castilun, ENE Flums	1640
Flumserberg Kurhaus	1450
Wildhaus	1460
Drei Schwestern	1500
Nordöstlich Rankweil	1400
Kamor	1300

Für den Abschnitt Chur—Sargans ergibt sich ein mittleres Gefälle des würmeiszeitlichen Gletschers von 10 ‰; von Sargans zu den Fänern von 14 ‰.

3. Hydrologische Übersicht

Eugen Weber

Der Grundwasserstrom des Rheintales von Sils i. D. bis zum Bodensee lässt sich in neun Grundwasserbecken aufteilen. Die unteren Abschlüsse der einzelnen Becken können in einzelnen Fällen nach Ort und geologischer Ausbildung genau definiert werden. Oft aber lässt sich eine fliessende Übergangsstrecke nur durch eine Einschnürung des unteren Beckenabschlusses mit Zunahme des Grundwassergefälles ins unterliegende Becken erkennen. Es ist aber auch möglich, dass der Rhein selbst zwei Grundwassermulden trennt, oder ein Wechsel in der Zusammensetzung der alluvialen Sedimente eine Trennung wünschbar erscheinen lässt. Aufgrund dieser Überlegungen kommen wir zu nachstehender Beckenaufgliederung im Grundwasserstrom des Alpenrheins (Beilagen nach Seite 150).

3.1 Das Domleschger Becken

Es erstreckt sich von Sils i. D. bis 400 m südlich Schloss Rhäzüns. Es ist rund 11 km lang. Den unteren Beckenabschluss bildet der Bergsturz von Kunkels und nach Nordwesten der linke Rand des Flimser Bergsturzes. Eine Aufgliederung der Bergsturzmassen in mit Feinkies und Sand erfüllte Rinnen sowie die in rund 20 m Tiefe liegende Kontaktfläche der Sturzmassen auf alten Alluvionen zeigen, dass das Grundwasser, wenn auch gehemmt, nach Norden und Nordosten in das Becken des Churer Rheintals abfliessen kann.

3.2 Das Churer Becken

Es erstreckt sich über rund 12,5 km von Reichenau bis Oldishus nördlich Haldenstein. Die linke Seite des Beckenabschlusses bilden die Kreideschichten des hier nach Osten abtauchenden Parautochthons des Aarmassivs. Die rechte Seite wird aufgebaut durch den mächtigen Schuttfächer der Maschänser Rüfi, die mit ihrem hohen Gehalt an Ton aus dem Einzugsgebiet der Bündnerschiefer eine nur geringe Durchlässigkeit aufweist.

3.3 Das Becken Trimmis-Landquart

Dieses Becken ist 8,5 km lang. Im obersten Beckenteil ist nur gerade im Bereich der Rheinauen Grundwasser vorhanden, da der Maschänser Schuttkegel auf 1,2 km den Grundwasserstrom blockiert und ihr nördlicher Fächer nur langsam vom Rhein nach Osten zurückweicht.

Der nördliche Beckenabschluss wird auf der linken Rheinseite durch anstehenden Fels einer verschuppten Kreide-Tertiär-Serie entlang dem heutigen Rheinbord gebildet. Auf der rechten Talseite liegt der Schuttkegel der Landquart. Dieser ist 4,5 km lang, und seine Oberfläche fällt vom Westausgang Klus bis zur Einmündung der Landquart in den Rhein um 45 m. Dieser Schuttkegel besteht aus durchlässigen fluviatilen Ablagerungen. Sein Grundwasserspiegel liegt höher als derjenige des Rheintalgrundwassers. Das Landquart-Grundwasser fliesst fächerförmig auslaufend in das Rheintalbecken. Talaufwärts staut es den Grundwasserstrom des Rheintales und lenkt ihn gegen die linksseitige Felsflanke ab.

3.4 Das Becken von Maienfeld

Von der Tardisbrücke bis zur Einmündung der Tamina in den Rhein misst dieses Grundwasserbecken 5 km. Im Bereich der Taminamündung schliessen zwei gegeneinanderstehende Schuttkegel das Becken ab, von links der Schuttfächer der Tamina, von rechts derjenige des Glecktobels. Beide Schuttkegel sind ähnlich aufgebaut und zusammengesetzt: zu rund 60 Prozent tonig-mergeliger Flyschschutt, darin eingeschwemmt sind Kalke, Sandsteine und Brekcien (40 Prozent). In beiden Schuttfächern liegt die Durchlässigkeit bei $k = 10^{-5}$ bis 10^{-6} cm/s. Im Bereich des heutigen Rheinbettes und unmittelbar beidseits desselben fliesst der Grundwasserstrom durch eine enge Wespentaille ins unterliegende Becken von Sargans, wobei der Höhenunterschied bei niedrigem Grundwasserstand 3 m, bei hohem bis zu 5 m betragen kann.

3.5 Das Becken von Sargans

Das Becken von Sargans hat einen dreieckigen Grundriss mit der Spitze talaufwärts in Richtung Maienfeld (6 km) und einer Basis von 4 km Länge von Mels nach dem Schollberg. Die linke Beckenflanke wird aufgebaut durch die Gesteine des eingewickelten helvetischen Flysch. Am Übergang in das 900 m breite obere Seeztal liegt versteckt unter Bachschutt und Alluvionen eine Felsschwelle von helvetischem Liaskalk. Die Nordwestflanke von Sargans bis zum Schollberg bauen helvetische Malm- und Kreideschichten auf. Der Durchbruch ins schweizerisch-liechtensteinische Rheintal wird durch den vom Ellhorn nach Nordwesten verlaufenden Rhein begrenzt, während der Nordostrand bis südlich Fläsch von Dogger-Malm und Kreide des helvetischen Fläscherbergs gebildet wird.

Das Becken von Sargans hat drei Ausgänge. Rund 200 m über der heutigen Alluvialebene der bereits beschriebene alte Tallauf der Luzisteig, die tiefliegende Felsschwelle bei Mels am Übergang zum Seeztal und der jüngste Durchbruch des Rheins zwischen Schollberg und Ellhorn. Heute spielt infolge der Saarmeliorationen der Grundwasseraustausch zwischen Rheintal und Seeztal auch bei höchstem Grundwasserstand nicht mehr, so dass nur noch der Nordostabfluss bleibt. Hier oberhalb Trübbach-Mäls schliesst der Rhein das Grundwasserbecken ab, der vom Ellhorn zum Schollberg das Tal quert. Das Grundwasser gelangt auf zwei verschiedenen Wegen nach Norden und Nordosten. Zwischen Ellhorn und dem Rheinknie am Schollberg fliesst das Grundwasser zum Rhein und infiltriert in die Grundwasservorkommen der Ebene von Balzers. Zweitens gelangt es in den Vilterser-Wangser Kanal und infiltriert von diesem weiter unten in das Grundwasser der Ebene von Trübbach-Weite und in den nahen, tiefergelegenen Rhein. Der Rest des Binnenkanalwassers fliesst erst rund 3 km unterhalb des Schollbergs in den Rhein.

3.6 Das Becken Trübbach/Mäls — Haag/Eschen

In diesem 18 km langen Grundwasserbecken endet beidseits der seitliche Rand in oder unterhalb der Schuttfächer, die am Fusse der Talflanken liegen. Eine genaue seitliche Abgrenzung ist nicht möglich, da diese Schuttanhäufungen auf den Alluvionen liegen und mit diesen verzahnt sind; ihre Durchlässigkeit schwankt je nach Kornzusammensetzung stark.

Die nördliche Beckenabgrenzung wird bei Haag/Eschen angenommen. Oberhalb Haag befindet sich ein tiefgründiger Kies-Sand-Boden mit grosser Grundwasserhöffigkeit, unterhalb Haag eine alluviale Ablagerung mit viel Sand, Silt, wenig mächtigen Einstreuungen von Kies und einigen untiefen, oberflächlichen alten Rheinarmen mit Kies und Sand. Nur gerade beidseits des Rheins befindet sich eine schmale Zone mit Grundwasser, das in direkter Beziehung zum Rheinwasser steht.

3.7 Das Becken Haag/Eschen — Montlingen/Götzis

Dieser Grundwasserabschnitt hat eine Länge von rund 15 km. In den Abschnitten 6.9 bis 6.11 wird auf den komplizierten Bau und die geologisch-hydrologischen Verhältnisse in diesem Talbereich eingegangen. Von Rüthi bis Montlingen befinden wir uns in der grossen Einbruchsenke der Säntisfalten, die längs rheintalparallelen Staffelbrüchen von Westen her ins Rheintal treppenartig absteigen, dasselbe queren und sich nach Osten fortsetzen. Am Nordrand, auf- und überschoben auf den Randflysch und die Molasse, stand die durchgehende Barriere von Montlingen/Götzis. Teils mit dem Gebirgskörper fest verbunden, teils als Inselberge aus den Alluvionen herausragend, kann diese Felsschwelle von West nach Ost verfolgt werden über Semelenberg—Montlingerberg—Kummaberg—Götzis—Kapf.

Für das ganze Rheintal von Sargans bis zum Bodensee beeinflusste dieser Sperriegel den Rheinlauf und das Vorarlberger Zuflusssystem. Ein nördlicher Abfluss des Urrheins in Richtung Sitterschuttfächer war nur gewährleistet, solange die Senke der Luzisteig spielte. Die Ill floss in Querrinnen am rechten Talhang dem Bodensee zu, wobei sie die rechten Nebenbäche aufnahm. Dann diente das Seeztal in Richtung Walen- und Zürichsee als Hauptstrang. Erst der Durchbruch der Barre von Montlingen/Götzis brachte auch den endgültigen Durchbruch von Rhein—Ill zum Bodensee. Die diluvialen und alluvialen Ablagerungen zeigen in ihrem Aufbau und ihrer Zusammensetzung den Ablauf der Talgeschichte in diesem Abschnitt mit seltener Klarheit (siehe Kapitel 4).

3.8 Das Becken Montlingen/Götzis — Au/Lustenau

Rund 13 km talabwärts der Sperre von Montlingen/Götzis befindet sich die Grenze dieses Grundwasserbeckens im Raume Au—Lustenau. Wenn hier das Wort «Raum» als un-

terer Beckenabschluss angeführt wird, so sagt dies bereits, dass es sich um eine in der Natur schwer abzugrenzende Linie handelt. Die untere Beckengrenze hängt direkt mit dem jeweiligen Bodenseestand zusammen. Es ist die Grenze, über die hinweg noch das Grundwasser zum Bodensee abfliesst. Je höher der Wasserstand des Bodensees, um so weiter rheintalaufwärts wird die Grenze des noch abfliessenden Grundwassers geschoben; bei absinkendem Seestand rückt die Grenze nach Norden seewärts vor. Zwischen den extremen möglichen Seeständen kann sich der nördliche Beckenrand innerhalb einer Bandbreite von bis zu 3 km verschieben, entsprechend einem Schwankungsbereich des Bodenseespiegels von 3,40 m.

3.9 Das Grundwasser im Einflussbereich des Bodensees

Unterhalb einer Linie Au—Lustenau fliesst das Grundwasser in das mit dem Bodenseespiegel pendelnde See-Infiltrat ab. Die Vermischung geschieht in der rund 4 km langen, breit ausladenden Schwemmebene Altenrhein/Bregenz.

4. Aufbau und Zusammensetzung der Talbeckenfüllung

Eugen Weber

Lockergesteine haben die Taltröge im Gebiet des Alpenrheins aufgefüllt. Sie stammen von Moränen und fluvioglazialen Ablagerungen der Haupttal- und Nebentalgletscher, fluviatil limnischen Aus- und Einschwemmungen, fluviatil terrestrischem Bach- und Flussschutt, Bergstürzen, Rutschungen und Sackungen. Dieses Transportgut variiert in den Talbecken sehr stark nach Mächtigkeit, Höhenlage und seitlicher Ausdehnung, aber auch in der Abgrenzung zum Nebengestein. Trotz einem scheinbar ungeordneten Sedimentationsablauf können einige Gesetzmässigkeiten im Beckenaufbau erkannt werden.

Die Ablagerungen während und unmittelbar nach der Eiszeit können von den nacheiszeitlichen unterschieden werden. Rund $^4/_5$ der Trogfüllungen stehen in direktem oder indirektem Zusammenhang mit dem eiszeitlichen Diluvium. Mehrere hundert Meter mächtige Eismassen mit unvorstellbarer Erosionskraft haben riesige Schuttmengen ins Tal des Alpenrheins gebracht. In den Zwischeneiszeiten haben Schmelzwasserströme das Material weitertransportiert und umgelagert. Im folgenden wird versucht, wenigstens ein grobes Bild des Aufbaus der Beckenfüllung zu geben:

Grundmoränen konnten im Tal des Alpenrheins nicht festgestellt werden. In den zwei Tiefbohrungen bei Chur und Zizers wurde der Fels nicht erschlossen, aber in 160 m Tiefe fand sich auch keine Grundmoräne. Zwischen Rüthi und Bodensee wurden 6 Bohrungen bis auf den Fels abgeteuft. Kein Grundmoränenmaterial wurde erschlossen, dagegen blanker, z. T. vom Eis geschliffener Fels. In den Bohrungen im Bündner Rheintal wurden Reste von umgelagertem Moränenmaterial angetroffen. Vermutlich befinden sich bis in die Gegend von Ragaz Grundmoränenrelikte am Beckengrund. Rheintalabwärts liegt die Talfüllung auf Fels ohne Moränenzwischenlage. Weshalb dies so sein kann, geht aus dem folgenden Abschnitt hervor.

Seitenmoränen finden sich auf der ganzen Länge des Rheintales. In den höheren Lagen sind sie meist von Schotterterrassen bedeckt, an welchen einzelne Gletscherstadien festgestellt werden können. Wir treffen sie sowohl unmittelbar über der Talsohle an, als auch an den Talflanken der Trogfüllung. Da diese Terrassen mit Seitenmoränenmaterial überkleistert wurden, sind sie auch an den Beckenflanken vorhanden. Wie aber sind eigentlich solche Terrassen entstanden? Wahrscheinlich durch Eiserosion als Folge von Verschiebungen entlang den horizontalen Gleitflächen in den riesigen Eismassen. Vermutlich hat sich der Eisstrom vom Sarganserbecken abwärts mit der Abnahme des Gefälles in seinen tieferen Partien weitgehend stationär verhalten, so dass es zu keinen oder nur unbedeutenden Grundmoränenablagerungen kam, während die höheren Eispartien in den flachen Gleitbahnen nach Norden abgeschoben wurden. Nur oberhalb des Sarganserbeckens mit der Zunahme der Talsteigung wurde teilweise der ganze Eisstrom vom talwärtigen Schub erfasst, was Grundmoränenreste in diesem Talabschnitt vermuten lässt.

Die Schmelzwassermengen der Gletscherrückzüge haben den grössten Anteil an der mittleren und tieferen Trogfüllung. Es sind die fluvioglazialen Ablagerungen mit Lehm, Silt, Sand, Kies, grobem Geröll bis zu mächtigen Einzelblöcken. Das Material wurde mehrmals umgelagert und verschwemmt, so dass produktive und unproduktive Grundwasserschichten abwechseln.

Bedeutenden Anteil der Talfüllung haben die randlichen Schuttkegel. Sie reichen teilweise bis auf den Beckengrund. Ihre vordersten Streufächer sind meist mit den übrigen Sedimenten verzahnt. Wir unterscheiden durchlässige, produktive Schuttkegel, die aus Einzugsgebieten mit mehrheitlich harten Gesteinen stammen, und unproduktive, die ihr Schlemmaterial aus tonig schiefrigen Gesteinen beziehen.

In den Zwischeneiszeiten und vor allem nach der letzten Eiszeit transportierten der vereinigte Rhein und seine Nebenflüsse Plessur, Landquart, Ill, Frutz und Dornbirner Ache den Hauptanteil an Geschiebe in die Rheintalbecken. Allgemein nimmt die Korngrösse von Süden nach Norden ab. Der über die ganze Ebene pendelnde Fluss hat eine mächtige, grundwasserproduktive Kies-Sand-Schicht abgelagert. Vom Sarganserbecken abwärts wurden in randnahen Zonen stehende Gewässer mit mächtigen fluviatil limnischen, tiefgründigen, unproduktiven Sedimenten aufgefüllt.

Zum Aufbau der Talbeckenfüllung haben auch die Bergstürze von Reichenau und Sennwald beigetragen. Der obere Abrissrand des Bergsturzes von Reichenau dehnt sich nach Westen über Maliens bis gegen Trin aus, im Osten über Felsberg bis nach Chur. Die Hauptmassen des Sturzes befinden sich oberhalb der Alluvionen; sie reichen bis etliche zehn Meter in diese hinein. Der Bergsturz von Sennwald hat vermutlich seine Basis nur wenig tief unter der Talsohle, erreicht aber mit dem äussersten Wurfkegel den Rhein. Beide Bergsturzablagerungen werden vom Grundwasser durch- und unterflossen.

Einen, wenn auch bescheidenen, Anteil am Beckeninhalt haben die Lehmvorkommen von Chur, Landquart und Oberriet. Sie dürften stellenweise bis 25 m mächtig sein. Sie sind als dicht zu bezeichnen. Es sind Feinablagerungen in einem stehenden Gewässer, das sich abgedeckt von der Hauptströmung (durch vorspringende Schuttkegel und bei Oberriet durch einen Felsriegel) bilden konnte.

Bild 4.1. Blick ins Illtal. Im Vordergrund fliesst der Rhein von rechts nach links. Auf dem linken Rheinufer steht die Heizöl-Umschlags- und Reinigungsanlage Sennwald. Jenseits der Strassenbrücke liegt das Dorf Rugell. Der Ill verlässt das Seitental bei Feldkirch. Von dort fliesst er in gestrecktem Lauf dem linken Bildrand zu.
Foto Swissair Foto und Vermessungen AG

Es wird oft angenommen, dass sich vom heutigen Bodensee über Buchs Chur ein See bis in das Domleschg erstreckte und gleichzeitig eine Verbindung von Sargans Seeztal Walensee zum Zürichsee bestand.

Diese Auffassung können wir nicht teilen. Die Untersuchungen zeigen, dass der Bodensee sicher einmal bis nördlich an die Felsbarriere von Semelenberg—Montlingerberg—Kummaberg—Tschütsch reichte. Südlich dieser Sperre zeigen tiefgründige Seetone ein weiteres Seebecken an, das sich im Süden bis über Haag hinaus ausdehnte. Kleinere Seeablagerungen (und damit Beweise für lokale Seebildungen) wurden angetroffen in der Sarganserebene, bei Untervaz, bei Reichenau West und im vorderen Domleschg. Sicher haben besonders bei Hochwasser weite Gebiete der Rheinebene unter Wasser gestanden, aber von einem eigentlichen tiefen See kann nicht gesprochen werden. Im Vorderen Prättigau und im Oberen Seeztal, hinter der Chlus und oberhalb dem Seezschuttkegel, wurden in Bohrungen ebenfalls Seeablagerungen festgestellt, die auf ein tieferes, stehendes Gewässer hinweisen.

In den Becken des Alpenrheins von Sils i. D. bis zum Bodensee setzt gut 20 m unter der heutigen Terrainoberfläche ein abrupter Sedimentationswechsel ein. Vermutlich liegt in dieser Tiefe ein alter Talboden, denn es wurden in den Bohrungen oft Holz und andere organische Stoffe angetroffen. Im Domleschg und im oberen Churer Rheintal liegt die Basis der Bergsturzmassen und ihrer Ausläufer auf dem alten Talboden. Bei Chur und Landquart sind es die Lehmvorkommen, die bis auf diese Tiefe hinabreichen. Die wenig mächtige obere Schicht wird von lehm- und silthaltigen Ablagerungen unterlagert. Im Seeztal und im Sarganserbecken treten in gut 20 m Tiefe Seetone und Verlandungssedimente auf. Rheintalabwärts sind es bis unterhalb Buchs wieder organische Stoffe und alte Rheinschotter in verkittetem Zustand. Von Haag—Eschen bis zur Sperre von Montlingen—Götzis wird die Schotterschicht von Seetonen unterlagert. Erst flussabwärts der Barriere von Montlingen—Götzis wird die Trenngrenze unklar. Sämtliche liegenden Schichten, einschliesslich der Seetone, sind verdichtet und gepresst. Die Vermutung liegt nahe, dass es sich um den alten Talboden handle, der am Ende der letzten Eiszeit zurückblieb.

Altersbestimmungen in den Lehmablagerungen, die beim Aushub der Zentrale Sarelli der Kraftwerke Sarganserland AG in 23 m Tiefe erschlossen wurden, haben ergeben, dass dieser Lehm 15 000 Jahre alt ist. Damit rückt die Alterseinstufung dieses alten Talbodens mindestens ans Ende der Riss-Eiszeit, er ist also älter als früher angenommen wurde.

Die letzte grosse Vergletscherung während der Würmeiszeit ist sicher jünger als 15 000 Jahre. Während dieses Gletschervorstosses hat das Eis die Beckenfüllungen nicht ausgeräumt und hat sehr wenig Spuren in den oberen Talschichten hinterlassen. Dagegen können wir an den aus der Talebene ragenden Inselbergen glaziale Überarbeitung erkennen (Chur, Sargans, Seeztal, Rüthi, Montlingen, Au, Koblach, Altach).

Ob unsere Überlegungen stimmen, kann erst durch gezielte Untersuchungen über das Alter dieses Talbodens in rund 20 m Tiefe abgeklärt werden. Es erstaunt, dass die oberste, junge Alluvialschicht, die in einer Zeitspanne von rund 10 000 Jahren abgelagert wurde, nicht mächtiger ist. Die Frage nach dem Alter der letzten Eiszeit ist u. E. noch nicht gelöst.

Der Vollständigkeit halber sei auf einen versteckten Molassefels-Vorsprung im Gebiet Au—Lustenau hingewiesen. Die Felsrippen, die vom Heldsberg und südlich davon gegen Nordnordosten abtauchen, ziehen in geringer Tiefe nach Lustenau; im Rheinbett sind sie bei Niederwasser sichtbar. Der anstehende Fels bei der Kirche Lustenau wird von einer 6 m mächtigen Alluvialschicht überlagert. Durch diesen nach Osten vorspringenden Sporn wird verdeutlicht, dass der alte Tallauf des Rheins zwischen Lustenau und Dornbirn durchfloss.

5. Bautechnische Probleme am Rhein

Heinrich Bertschinger

5.1. Die Rheinebene vor dem Eingriff der Technik

Während der letzten Eiszeit, vor einigen zehntausend Jahren, war das heutige Rheintal mit einer Hunderte von Metern dicken Eisschicht bedeckt. Der Rheingletscher teilte sich am Gonzen bei Sargans in einen westlichen Ast, der durch das Tal der Seez in Richtung Walensee in das Abflussgebiet der Linth vorstiess, und in einen östlichen Ast, der dem heutigen Rheintal folgte. Nach dem Rückzug der Gletscher blieben voralpine Seen zurück, wie der Linthsee, der vom Zürichsee zum Walensee und weiter flussaufwärts bis ins Seeztal reichte, und der Rheinsee, der sich vom Bodensee bis zur Felsschwelle von Montlingen-Götzis erstreckte und als oberer, langgezogener See bis hinauf in das Sarganserbecken reichte (Bild 5.1).

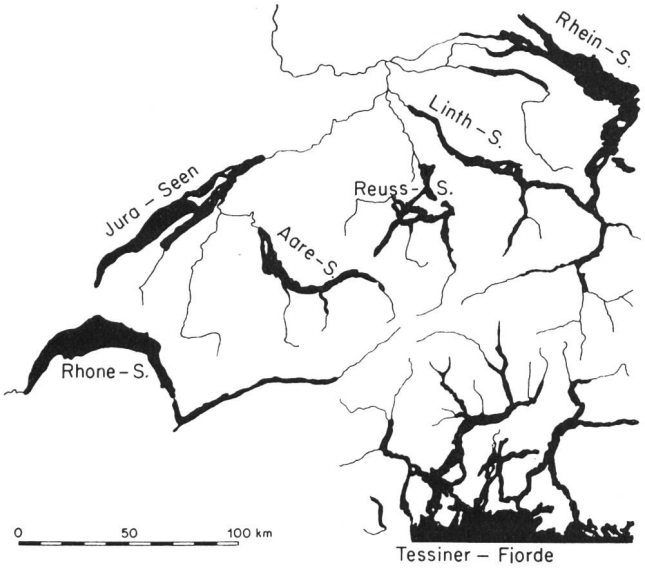


Bild 5.1. Die schweizerischen Talseen zu Beginn der grössten Vergletscherung. (Aus «Schweizerische Bauzeitung» 1973, S. 516)

Mit dem Rückzug der Gletscher begann die Auffüllung dieser Seen mit dem Geschiebe der Talflüsse, Wildbäche und Murgänge. Auf den sich allmählich über den Seespiegel anhebenden Geschiebeablagerungen pendelten die sich in zahlreiche Äste auflösenden Flüsse und Bäche von einem Talhang zum andern und verteilten die Geschiebeablagerungen gleichmässig über die ganze Breite der Talsohle. Diese Wasserläufe verstopften sich mit Geschiebe, die Hochwasser brachen seitlich aus und suchten sich neue Wege. Wo natürliche oder später auch künstliche Hindernisse den Hochwassern den Weg in tiefere Talmulden versperrten, bildeten sich Hinterwasser und Seen, die sich mit der Zeit mit Sumpfpflanzen und Überschwemmungssand auffüllten und zu Mooren verlandeten. Alte Karten und Ortsnamen wie beispielsweise «Krummensee» und «Seemäder» weisen darauf hin, dass in der Rheinebene noch in geschichtlicher Zeit ausgedehnte Seen vorhanden waren.

Die breite Talsohle wurde häufig von Hochwassern überflutet, war versumpft, unbewohnbar und schwer passierbar. Während Jahrhunderten konnte der oft sein Bett wechselnde Rhein nur an wenigen Stellen durch Furten oder mit Fähren überquert werden, weil damals mangels fester Ufer der Bau von Brücken nicht möglich war. Die spärliche Bevölkerung ging dem Rhein aus dem Wege und baute sich ihre Dörfer und Städte an den hochwassersicheren Talhängen.

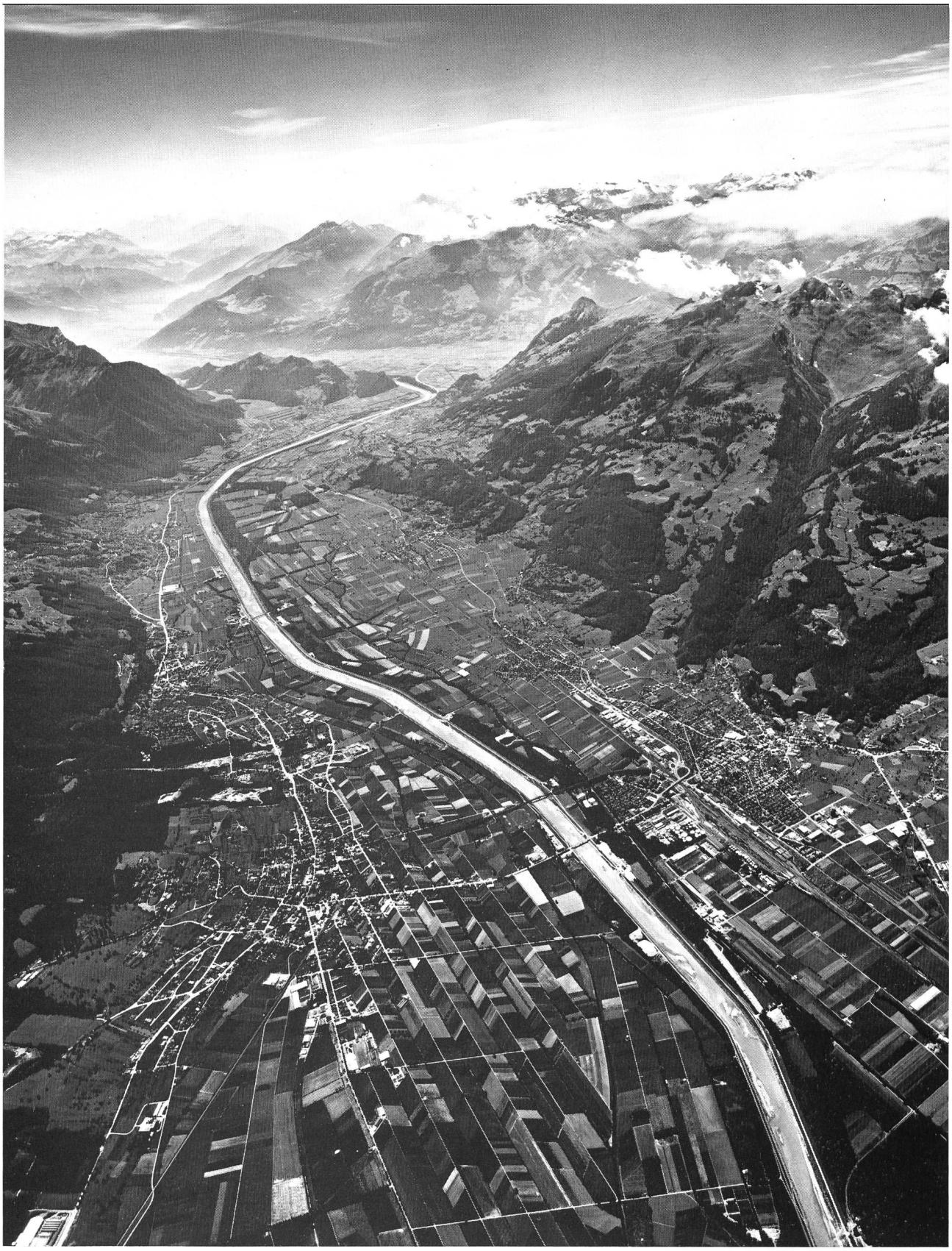


Bild 5.2. Luftbild Blick rheinaufwärts. Von unten nach oben erkennt man die Strassenbrücke Schaan—Buchs, die Eisenbahnbrücke Schaan—Buchs und die Strassenbrücke Vaduz—Sevelen. Zwischen dem Ellhorn und dem Schollberg fliesst der Rhein aus der Sarganser Ebene gegen den Betrachter. Links des Fläscherberges der Übergang der Luzisteig. Foto Swissair Foto und Vermessungen AG

5.2. Beginn des menschlichen Ringens mit dem Rhein

Mit dem Vordringen menschlicher Siedlungen und der Verkehrswege in die tieferen Lagen der Rheinebene begann ein zäher Kampf mit dem Rhein, der anfänglich in verhängnisvoller Weise völlig planlos geführt wurde. Schon im 11. Jahrhundert war im Rheintal von Rheinnot, Föhnnot und Rüfinot die Rede. Ernsthafte Bemühungen, den Strom in ein bestimmtes Bett zu weisen, gehen schon auf diese Zeit zurück. Der Uferschutz beschränkte sich aber bis zur Mitte des vergangenen Jahrhunderts lediglich darauf, einzelne exponierte Stellen des gewundenen Flusslaufes durch stromabwärts verlaufende «Schupf-, Stupf-, Ruck- oder Wurfwuhre» aus Holz und Stein zu schützen. Diese Uferbauten sollten das Wasser vom eigenen bedrohten Ufer auf dasjenige des Nachbarn hinüber schupfen. Wuhrbriefe

legten die zwischen den Nachbarn getroffenen Abmachungen fest. Wuhrstreitigkeiten waren an der Tagesordnung. Eine von Ingenieur-Hauptmann *Römer* im Jahre 1769 angefertigte kartografische Aufnahme des Rheins gibt das erste anschauliche Bild dieses alten Wuhrwesens. In einem Gutachten, das er im Auftrag der zuständigen Obrigkeit erstattete, verurteilte er dieses Wuhrsystem und stellte fest, dass diese Art zu wuhren einen der Hauptgründe bilde, welcher die ungeheuer gefahrvolle Erhöhung des Rheinbettes nach sich zöge. Es bestanden damals nur einzelne unzusammenhängende Stupfwuhre mit ungleichmässigen Abständen zwischen den Wuhrköpfen. Weiter landeinwärts war ein lückenhaftes Deichsystem vorhanden, ohne einheitliche Breite, und nur dort, wo grosse Gefahr herrschte und wo der Rhein durchgebrochen war. Während aus dem 17. Jahrhundert nur vereinzelte Dammbrüche bekannt sind, zählte man im 18. Jahrhundert 17 Katastrophen, die zum Teil auf dieses unsystematische Wuhrsystem zurückzuführen waren. Die zu niedrigen Dämme wurden bei jedem grossen Hochwasser überströmt und durchbrochen (Bild 5.12, Faltblatt nach Seite 122).

In dem zu breiten Gerinne reichte die Schleppkraft des Wassers nicht aus für den Weitertransport des Geschiebes. Die Ablagerungszone, die ehemals der ganzen Talbreite entsprach, wurde auf den Abstand der Dämme reduziert, was im Flussbett selbst und auch ausserhalb der Dämme zu einer raschen Sohlenerhöhung führte, so dass der Rhein mit der Zeit auf einem eigentlichen Talrücken floss. Die dadurch erhöhten Rheinwasserspiegel stauten die Seitenbäche zurück, welche ihrerseits über die Ufer traten und grosse Verheerungen anrichteten. Durch diese, auch als Folge eines verfehlten Wuhrsystems entstandenen Überschwemmungen ging viel Kulturland verloren, und die Bevölkerung des Rheintals verarmte, denn auf ihren Schultern lastete damals die ganze Uferschutzpflicht.

Die Überschwemmungsgefahr wuchs von Jahr zu Jahr und erreichte am Anfang des vergangenen Jahrhunderts ihren Höhepunkt, als ein Durchbruch des Rheins über die Wasserscheide von Mels in Richtung Walensee in das Abflussgebiet der Seez und der Linth drohte. Die Erkenntnis dieser Gefahr für das Linth-Limmat-Gebiet mit ihren mächtigen Städten Zürich und Baden rief damals die schweizerische Tagsatzung auf den Plan (Bild 5.2).

5.3. Projekte und Verträge über die Regulierung des Rheines

Im Jahre 1790 wurde erstmals zwischen der Herrschaft Werdenberg und dem Fürstentum Liechtenstein unter den

Bild 5.4. Längenprofil des Rheins von der Tardisbrücke bis zum Bodensee.
(gegenüberliegende Seite)

Die gerasterte Fläche entspricht der Sohlenabsenkung zwischen 1940 und 1977. In den Querprofilen, Bilder 5.5. bis 5.7., ist der zeitliche Verlauf der Sohlenbewegungen angegeben.

Von der Tardisbrücke bis zum Ellhorn (km 23 bis km 33) wird das Flussbett seit der Eindämmung (um etwa 1865) erodiert. Diese Erosion betrug bei der Tardisbrücke bis 1940 etwa 3 m, bis 1977 etwa 4 m. Bis zum Ellhorn, 10 km flussabwärts, läuft diese Absenkung auf Null aus.

Vom Ellhorn bis zur Illmündung (km 33 bis km 65) zeigte sich nach der Eindämmung eine dauernde Tendenz zur Auflandung. Bei Buchs (km 49) erhöhte sich die Sohle bis 1940 um 2,5 m. Durch diese Sohlenhebungen war man gezwungen, die Hochwuhre in mehreren Etappen zu erhöhen. Die Höhenlage der Eisenbahnbrücke Buchs—Schaan und verschiedener Strassenbrücken begrenzten diese Erhöhungen.

Nach 1950 wurde das Abflussprofil durch Kiesbaggerungen vergrössert. In der Zukunft soll die Rheinsohle auf dem heutigen Niveau stabilisiert werden. Anfangs der Siebzigerjahre wurden deshalb bei Buchs und bei Ellhorn Schwellen in den Fluss gebaut, deren Wirkung deutlich erkennbar ist. Ob in nächster Zeit weitere Schwellen eingebaut werden müssen, hängt von der Entwicklung der Sohlenlage ab. Unterhalb Buchs, bei km 56, soll ein Teppich aus Felsblöcken das weitere Absinken der Rheinsohle verhindern. Die eingebrachten Blöcke stammen aus dem prähistorischen Bergsturz von Sennwald. Weiter unten, bei km 65, verhindert der Schuttkegel der Ill ein weiteres Absinken der Rheinsohle.

Die Bauten der Internationalen Rheinregulierung bestimmen zwischen der Illmündung und dem Bodensee das Längenprofil des Flusses. Die gestrichelte Linie gibt in diesem Abschnitt die Sohlenlage im Winter 1920/21, unmittelbar vor der Eröffnung des Diepoldsauer Durchstiches. Die Sohle des Durchstichs lag bei dessen Eröffnung stellenweise bis 5 m tiefer als das Flussbett des Altlaufs in der Hohenemserkurve. Nach wenigen Betriebsjahren füllte sich das Flussbett wieder auf (vergleiche Querprofile 74, 78 und 80). Erwartungsgemäss bildete sich über dem teils torfigen Untergrund eine 3 bis 5 m mächtige Kiessohle. Die tiefe Sohlenlage und das dadurch erhöhte Gefälle liess den Fluss aufwärts erodieren. Die Erosion erreichte in wenigen Jahren die Illmündung. Die ursprünglich geplante Aufschotterung des Rheinbetts im Diepoldsauer Durchstich kam aber nicht zum Stillstand, als die gewünschte Sohlenlage erreicht war. Die Sohlenlage stieg weiter und begann die Hochwassersicherheit zu beeinträchtigen. Von 1950 bis 1975 wurde das Mittelgerinne um 30 m eingeengt und dadurch die Wassertiefe und auch die Schleppkraft des Wassers vergrössert. Die Sohlenlage konnte auf einer günstigen Höhe stabilisiert werden.

Das Rheindelta schiebt sich jährlich um etwa 23 m in den Bodensee vor. Dadurch hebt sich die Flussohle im Mündungsgebiet um etwa 2 cm/Jahr. Der Staatsvertrag von 1954 verpflichtet die beiden beteiligten Staaten, bei km 90 dauernd dafür zu sorgen, dass die Sohlenkote den Wert 393,63 nicht überschreitet. Im Herbst 1977 lag die Rheinsohle an dieser Stelle noch 1,6 m tiefer, so dass in den nächsten Jahren keine flussbaulichen Massnahmen zur Sohlensicherung getroffen werden müssen.

Im Abschnitt des Bodensees ist im Längenprofil die im Projekt 1971 vereinbarte Sohlenlage eingezeichnet (bei km 90,0 ist dies 393,63 m ü. M. und bei km 95,0 392,38 m ü. M.). Die Bodenseewasserspiegel sind mit und ohne Bodenseeregulierung angegeben (gemäss Projekt 1973 des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft).

Hohe Seewasserstände im Bodensee beeinflussen den Rhein bei Nieder- und Mittelwasserführung bis in die Gegend von St. Margrethen und beeinflussen auf dieser Strecke auch die Grundwasserhöhen.

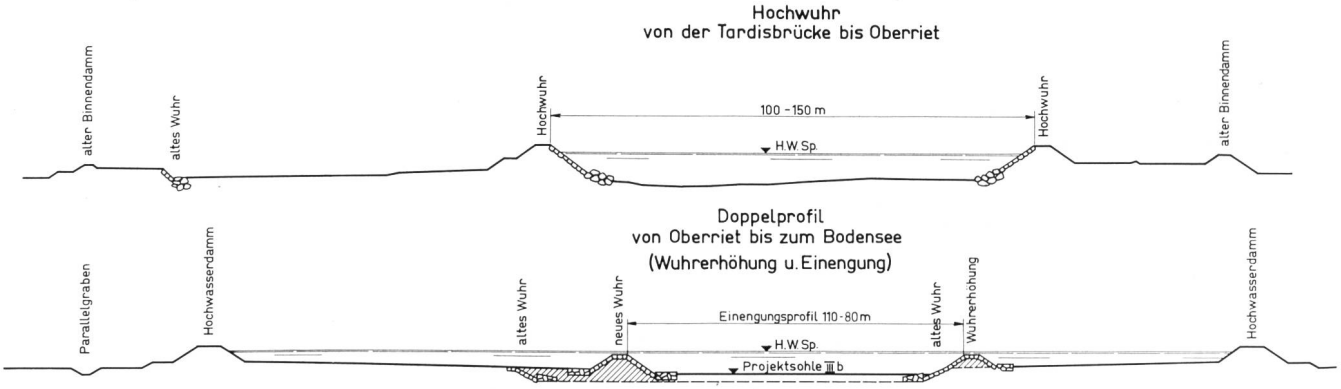
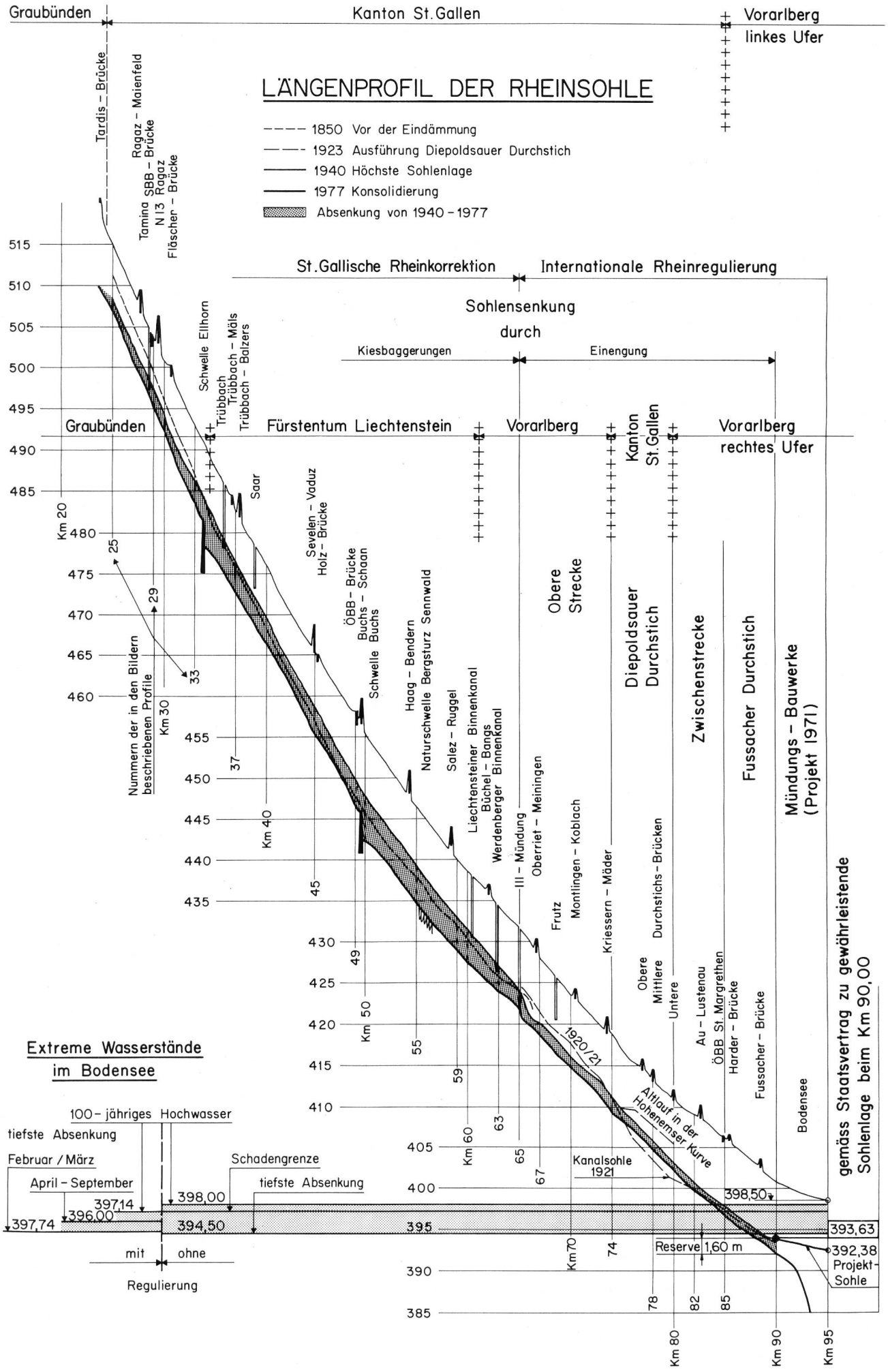
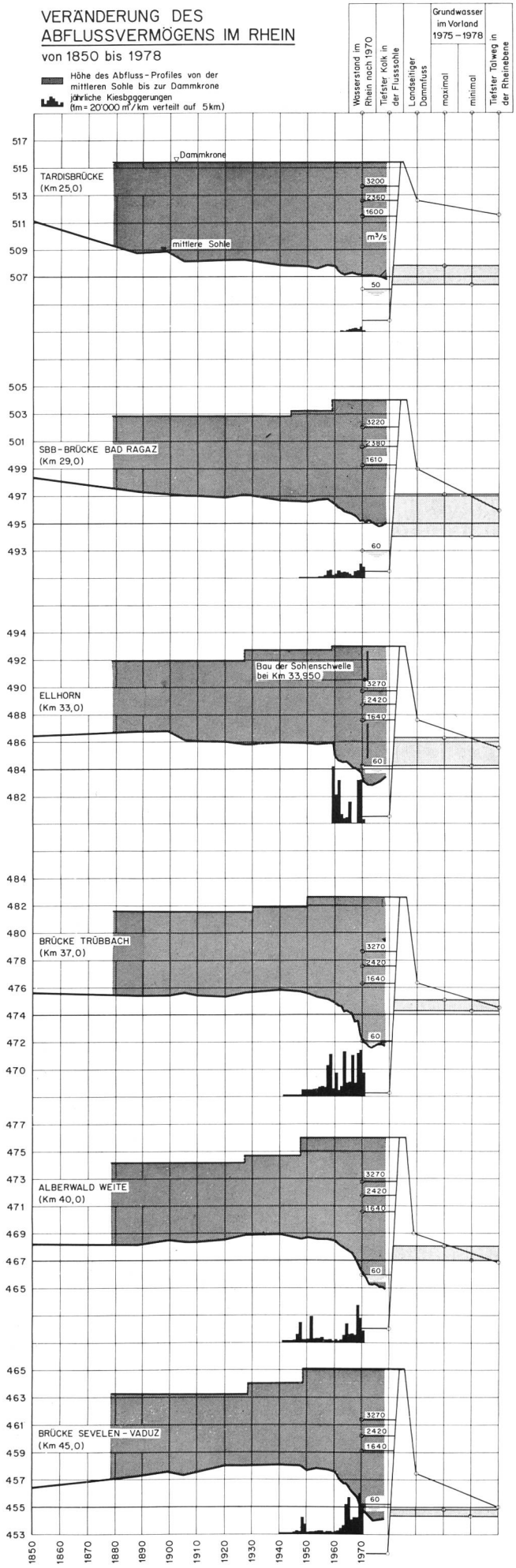


Bild 5.3. Typische Rheinquerprofile. Von der Tardisbrücke bis nach Oberriet wurden gemäss Bundesbeschluss vom 8. 2. 1854 und dem kantonalen Gesetz über eine durchgreifende Rheinkorrektion vom 19. 2. 1859 von 1865 bis 1877 die heute noch vorhandenen Hochwuhren gebaut. Diese mussten mehrmals erhöht werden, weil sich die Rheinsohle gehoben hatte.

Gemäss dem Staatsvertrag von 1892 baute die Internationale Rheinregulierung von 1896 bis 1923 von der Illmündung bis zum Bodensee den Fluss als 110 m breites Mittelgerinne aus. Die seitlichen Vorländer von 75 m Breite sind Überschwemmungsgebiete.

Das gemäss dem Projekt von 1892 zu breit geratene Mittelgerinne wurde nach dem zweiten Weltkrieg entsprechend einem neuen Staatsvertrag von 1954 eingeengt auf 110 m bei Oberriet und auf 80 m bei der Mündung in den Bodensee.


LÄNGENPROFIL DER RHEINSOHLE
1850 Vor der Eindämmung
1923 Ausführung Diepoldsauer Durchstich
1940 Höchste Sohlenlage
1977 Konsolidierung
Absenkung von 1940 - 1977
Graubünden
Kanton St. Gallen
Vorarlberg linkes Ufer
Vorarlberg rechtes Ufer
Kanton St. Gallen
Fürstentum Liechtenstein
St. Gallische Rheinkorrektion
Internationale Rheinregulierung
Sohlensenkung durch
Kiesbaggerungen
Einengung
Obere Strecke
Diepoldsauer Durchstich
Zwischenstrecke
Fussacher Durchstich
Mündungs - Bauwerke (Projekt 1971)
Tardis - Brücke
Ragaz - Maienfeld
SBB - Brücke
Tamina
N 13 Ragaz
Fläscher - Brücke
Schwelle Ellhorn
Trübbach
Trübbach - Mäls
Trübbach - Balzers
Saar
Sevelen - Vaduz
Holz - Brücke
ÖBB - Brücke
Buchs - Schaan
Buchs
Schwelle Buchs
Haag - Bendern
Naturschwelle Bergsturz Sennwald
Salez - Ruggel
Liechtensteiner Binnenkanal
Büchel - Bangs
Werdenberger Binnenkanal
III - Mündung
Oberriet - Meiningen
Frutz
Montlingen - Koblach
Kriessern - Mäder
Durchstichs - Brücken
Obere
Mittlere
Untere
Au - Lustenau
ÖBB St. Margrethen
Harder - Brücke
Fussacher - Brücke
Bodensee
1920/21
Althlauf in der Hohenemser Kurve
Kanalsohle 1921
Reserve 1,60 m
Projekt-Sohle
gemäss Staatsvertrag zu gewährleistende Sohlenlage beim Km 90,00
Nummern der in den Bildern beschriebenen Profile
Km 20
Km 30
Km 40
Km 50
Km 60
Km 70
Km 80
Km 90
Km 95
Extreme Wasserstände im Bodensee
100 - jähriges Hochwasser
tiefste Absenkung
Februar / März
April - September
Schadengrenze
tiefste Absenkung
397,74
397,14
396,00
398,00
394,50
398,50
393,63
392,38
mit
ohne
Regulierung



Bilder 5.5. bis 5.7.. Die zeitliche Entwicklung der Sohlenlage von 1850 bis 1977 im Abschnitt von der Tardisbrücke bis nach St. Margrethen.

Für die im Längenprofil, Bild 5.4., bezeichneten Querprofile ist die zeitliche Entwicklung der Sohlenlage dargestellt.

Die Hochwuhre für die Eindämmung des Rheinlaufes wurden in den Jahren 1865 bis 1977 gebaut, genauere Daten darüber sind nicht bekannt. Die nachträglichen Dammerhöhungen konnten datiert werden und die Daten sind in den Diagrammen eingezeichnet. Die angegebenen «tiefsten Kolke» in den Querprofilen wurden anlässlich der Profilaufnahmen im Jahr 1975 festgestellt, ebenso die Wasserstände bei einem Niederwasser von etwa 60 m³/s. Die Wasserspiegel bei höheren Abflüssen (1600 bis 3200 m³/s) wurden aufgrund des Zustandes im Jahr 1970 berechnet.

Die Angaben über die Koten des landseitigen Dammfusses, des tiefsten Talweges in der schweizerischen Talebene, sowie die den Beobachtungen von Geologe Weber entnommenen höchsten und tiefsten Grundwasserstände sind schematisch eingezeichnet, was eine generelle Beurteilung der Wechselbeziehungen zwischen den Wasserspiegeln im Rhein und im Grundwasser erlaubt.

Bild 5.5. Die zeitliche Entwicklung der Sohlenlage im Abschnitt Tardisbrücke bis Sevelen-Vaduz, 1850 bis 1978.

Im Profil Tardisbrücke (km 25) wurde die Rheinsohle seit 1850 stetig erodiert. Nach 1960 beschleunigte sich die Absenkung, weil weiter unten Kies ausgebaggert wurde. Die Grundwasserspiegel im Vorland liegen bei Niederwasser etwas höher als die Rheinwasserspiegel, was bei kleinen Abflüssen auf einen Zustrom von Grundwasser aus der Rheinebene zum Rhein schliessen lässt. Bei Abflüssen über 100 bis 200 m³/s ist ein Einsickern von Rheinwasser in die Rheinebene zu erwarten.

Bei der Eisenbahnbrücke von Bad Ragaz bzw. bei der Taminamündung (Profil km 29) liegen die Verhältnisse ähnlich wie beim Profil Tardisbrücke. Die Kiesausbeutungen unmittelbar unterhalb dieses Profils senkten die Sohle ab. Unmittelbar nach der Einstellung dieser Kiesausbeutungen im Jahre 1971 kam die Absenkung zum Stillstand.

Das Profil Ellhorn (km 33) liegt 200 m flussaufwärts der im Winter 1971/72 erstellten Sohlschwelle. Für den Strassenbau wurde flussabwärts dieser Schwelle in den Jahren 1960 bis 1971 massiv Kies ausgebeutet, dadurch wurde die mittlere Sohle bis 3 m abgesenkt. Der Grundwasserspiegel in der Saar-Ebene liegt heute um 1 bis 3 m höher als die mittlere Rheinsohle. Während vor 1960 Rheinwasser ins Grundwasserbecken der Saar-Ebene einsickerte und dessen Spiegel anhob, wird dieser bei der heutigen Sohlenlage bei Niederwasser im Rhein eher abgesenkt.

Das Profil (km 37) bei der Strassenbrücke von Trübbach befand sich von 1850 bis 1940 im Gleichgewicht. Massive Kiesbaggerungen für die Erhöhung der Rheindämme, der Bau des Saar-Ableitungskanals und der Nationalstrasse N 13 senkten die Sohle bis Anfang 1970 um rund 4 m. Die Einstellung der Kiesentnahmen stabilisierte auch in diesem Profil die Sohlenlage. Der deutlich über der mittleren Rheinsohle liegende Grundwasserspiegel wird in diesem Abschnitt nicht vom Rheinwasserstand, sondern vom Wasserstand im höherliegenden Saar-Ableitungskanal beeinflusst.

Das Profil (km 40) bei Weite zeigt eine ähnliche Entwicklung wie das Profil bei Trübbach. Auch hier sickerte vor 1960 Rheinwasser in die Grundwasserbecken, während heute eher mit umgekehrten Strömungen zu rechnen ist, was zu Absenkungen der Grundwasserspiegel in den vorgelagerten Ebenen führt.

Das Profil (km 45) bei Sevelen zeigt deutlich die bis 1930 dauernde Hebung der Rheinsohle, die im Jahre 1927 zu einem Dammbruch und der katastrophalen Ueberschwemmung führte. Im Anschluss daran wurden die Hochwuhre in zwei Etappen, 1928 und 1949, erhöht. Ab 1960 wurde die Rheinsohle durch Kiesentnahmen abgesenkt. Die Grundwasserspiegel liegen im Vorland ungefähr auf der Höhe der heutigen Niederwasserstände im Rhein. Bei höheren Wasserständen besteht somit ein Gefälle vom Rhein zum Grundwasser.

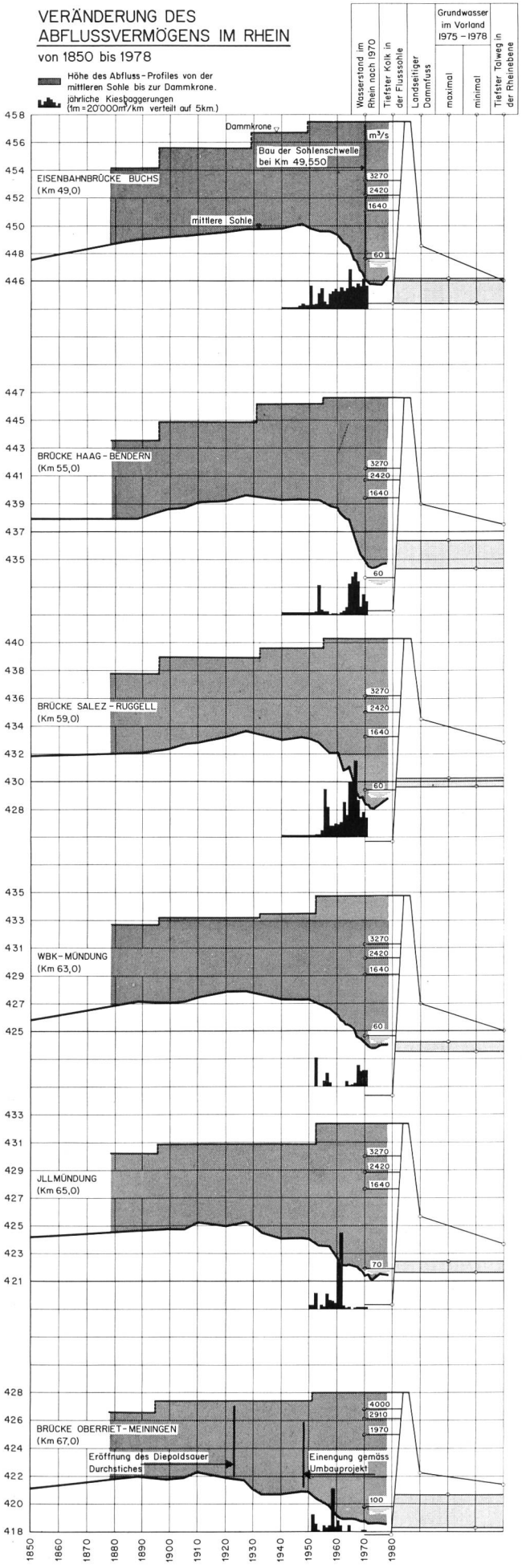


Bild 5.6. Zeitliche Entwicklung der Rheinsohle von Buchs bis zur Illmündung von 1850 bis 1978.

Die zeitliche Veränderung des Abflussvermögens im Rhein im Profil (km 49) bei Buchs ist dargestellt und eingehend beschrieben im Bild 5.10. Die Grundwasserspiegel liegen deutlich unter dem Niederwasserspiegel des Rheins.

Das Profil (km 55) bei der Brücke Haag—Bendern zeigt ähnliche Merkmale wie das Profil bei Buchs, und das nachfolgende Profil (km 59) bei der Brücke Salez—Ruggel.

Zwischen km 55 und km 59 wurde von 1950 bis 1971 massiv Kies entnommen. Dieses wurde für den Bau der Nationalstrasse gebraucht. Dadurch wurde die Sohle um etwa 4 m abgesenkt. Nach der Einstellung der Kiesbaggerungen begann sich die Sohle wieder zu heben, was der von 1890 bis 1930 festgestellten Tendenz zu Geschiebeablagerungen in diesem Abschnitt entspricht. Als Ursache dieser Entwicklung kann die Naturschwelle aus Material des Bergsturzes von Sennwald erkannt werden. Die Grundwasserspiegel in der Rheinebene korrespondieren mit den Niederwasserspiegeln im Rhein, die sich seit 1950 um 3 bis 4 m abgesenkt haben.

Die Rheinsohle im Profil (km 63) bei der Mündung des Werdenberger Binnenkanals wurde von 1850 bis 1970 um rund 3 m abgesenkt, zum Schluss besonders auch durch örtliche Kiesbaggerungen für den Bau der Nationalstrasse N 13. Dieses Profil liegt bereits im Einflussbereich der Illschwelle (km 65), die als Ursache der vor 1930 festgestellten Sohlenhebungen, der Stabilisierung bis 1950 und der darauf folgenden Absenkung erkannt werden kann.

Beim Profil km 65 unmittelbar unterhalb der Einmündung der Ill in den Rhein zeigen sich bereits deutlich die Wirkungen der hier beginnenden Flussbauwerke der Internationalen Rheinregulierung. Während sich vor 1920 die Rheinsohle leicht anhob, wirkt sich nach 1923 der Diepoldsauer Durchstich aus; die Rückwärtserosion erreichte die Illschwelle anfangs der Dreissigerjahre. Nach 1950 senkte sich die Sohle nochmals, weil unterhalb Oberriet das Mittelgerinne eingeengt wurde, aber auch, weil an verschiedenen Orten Kies gebaggert wurde. Ab 1970 hat sich die Sohlenlage konsolidiert. Der Grundwasserspiegel korrespondiert mit den Niederwasserständen im Rhein.

Bei der Strassenbrücke von Oberriet (km 67) wirken sich die Bauwerke der Internationalen Rheinregulierung deutlich aus. Nach 1923 senkte sich das Bett ab infolge des Diepoldsauer Durchstichs und der Einengung des Mittelgerinnes gemäss dem Umbauprojekt Ill b (1950 bis 1955). Im gutdurchlässigen, tiefen Grundwasserträger passen sich die Grundwasserstände rasch den Rheinwasserhöhen an.

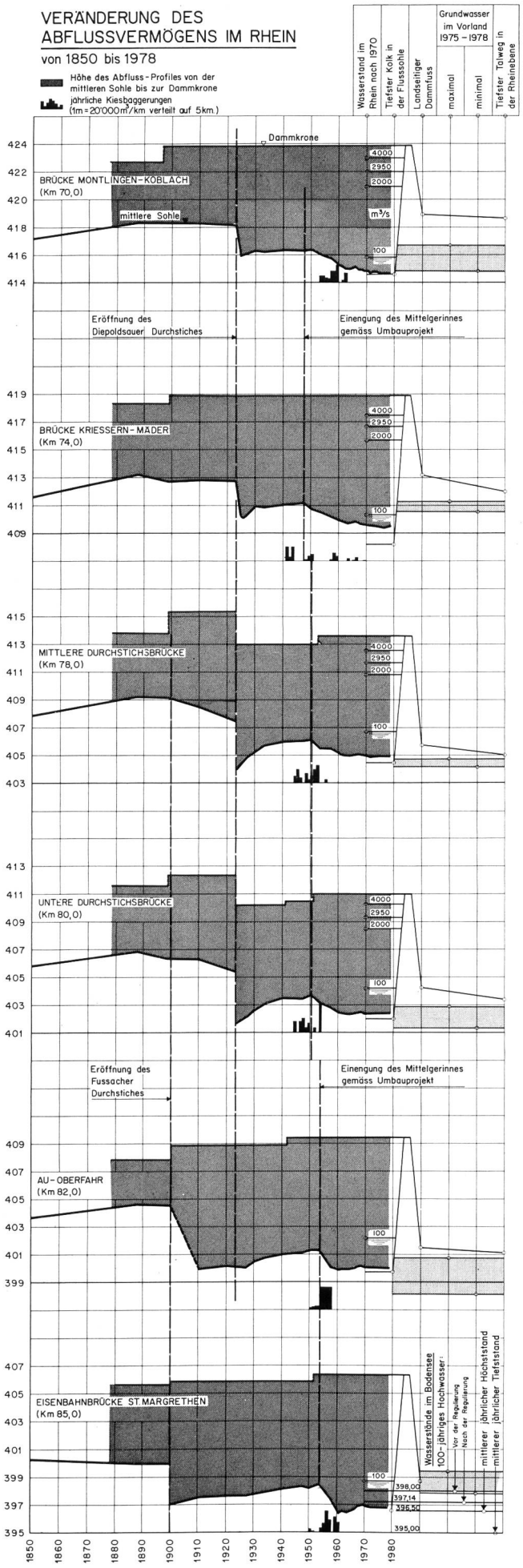


Bild 5.7. Zeitliche Veränderung der Sohlenlage im Rhein im Abschnitt der Internationalen Rheinregulierung von der Illmündung bis zum Bodensee, 1850 bis 1978.

Die Sohlenbewegungen im oberen Abschnitt (Profile km 70, 74, 78 und 80) sind beeinflusst durch den Diepoldsauer Durchstich, der im Jahr 1923 eröffnet wurde und durch die von 1950 bis 1955 durchgeführte Einengung des Mittelgerinnes gemäss dem Umbauprojekt III b.

Die Brücken Montlingen—Koblach (km 70) und Kriessern—Mäder (km 74) liegen flussaufwärts des Diepoldsauer Durchstichs in der sogenannten «Oberen Strecke», die Profile (km 78 und km 80) im eigentlichen Durchstichskanal.

Wie im Einflussbereich des Diepoldsauer Durchstiches wirkten sich im unteren Abschnitt (Profile km 80, 82 und 85) der Fussacher Durchstich und die Einengung des Mittelgerinnes gemäss dem Umbauprojekt III b aus.

Die für die Zeit vor 1920 gezeichneten Sohlenlagen beziehen sich auf den abgeschnittenen Altlauf des Rheins in der Hohenemser-Kurve. Bis zum Jahr 1900 hob sich in diesem Rheinabschnitt die Sohle. Nach 1900 senkte sie sich infolge Vertiefungen des Rheinbettes in der Zwischenstrecke (km 82). Die Kanalsohle des Durchstichs lag bei dessen Eröffnung um 3 bis 4 m tiefer als die damalige Flussohle im Altlauf, wodurch die im Bild 5.8. erkennbare Senke im Längenprofil entstand, die sich bis Mitte der 30er Jahre mit Kies auffüllte. Dadurch bildete sich über dem streckenweise aus Torf bestehenden Untergrund des Durchstichkanals eine 2 bis 4 m mächtige Kiessohle. Die über das Jahr 1935 hinaus anhaltende Tendenz zur Sohlenhebung im Durchstich und in den anschliessenden Flussstrecken gab Anlass zu ergänzenden flussbaulichen Massnahmen, um die sich abzeichnenden gefährlichen Entwicklungen zu verhindern. In den Jahren 1950 bis 1975 wurde das Mittelgerinne von Oberriet bis zur Mündung um bis 30 m eingeengt. Dadurch erhöhte sich die Schleppkraft bei Nieder- und Mittelwasser, und das führte zu einer Absenkung und schliesslich zur Stabilisierung der Rheinsohle auf dem heutigen Niveau. Die Grundwasserstände in der Rheinebene haben sich auf den neuen Rheinwasserspiegel eingespielt, was vor allem am rechten Rheinufer streckenweise Grundwasserspiegelsenkungen von 2 bis 4 m zur Folge hatte.

Bei der Eisenbahnbrücke von St. Margrethen (km 85) werden die Grundwasserstände bereits durch den Bodensee beeinflusst.

Auspizien der Eidgenössischen Tagsatzung ein Vertrag abgeschlossen mit dem Ziel, dem Chaos von Ruck-, Schupf- und Stupfwuhren ein Ende zu bereiten. Dass der Rhein ein Grenzfluss ist, erschwerte die Verhandlungen, und es dauerte ein halbes Jahrhundert, bis diese zu einem greifbaren Ergebnis führten. In den dreissiger Jahren des vergangenen Jahrhunderts konnten dann endlich zwischen St. Gallen einerseits und Österreich, Liechtenstein und Graubünden andererseits Massnahmen ins Auge gefasst werden, welche dem Rhein ein paralleles Gerinne von ungefähr 150 m Breite geben sollten. Dies war der Anfang einer Rheinregulierung, der aber vorerst noch zu keinem Ergebnis führte. Während langwieriger Diskussion über die Breite des Abflussgerinnes und über die Höhe der Dämme schreckten zahlreiche Hochwasser des Rheins die Gemüter immer wieder auf. Zwei Jahrzehnte nach dem Beginn der ersten Verhandlungen, im Jahre 1853, schlug der Kleine Rat des Kantons St. Gallen den Bundesbehörden die Erstellung planmässiger Flussbauten vor (Bild 5.18):

— Korrektion des Rheins von der Grenze des Kantons Graubünden bis in die Nähe seiner Einmündung *(Eindämmung)*

— Korrektion der unteren Fluss-Sektionen *(Durchstiche)*

— Regulierung des Wasserstandes im Bodensee *(Bodenseeregulierung)*

— Kanalisation des Rheintals *(Binnenkanäle und Binnenkorrektionen).*

Der Bund stimmte grundsätzlich diesen Vorschlägen zu und stellte in Aussicht, sich mit namhaften Beträgen an deren Verwirklichung zu beteiligen. In den Jahren 1865 bis 1877 wurden auf der Strecke von der Tardisbrücke bis zum Monstein die heute noch vorhandenen Hochwuhre gebaut, die seither mehrmals erhöht werden mussten (Bild 5.3).

Zur Sammlung und Ableitung der Seitengewässer wurden gleichzeitig mit den Hochwasserdämmen Binnenkanäle gebaut: auf der schweizerischen Seite der Werdenberger Binnenkanal und der Rheintaler Binnenkanal und rechts des Rheins der Liechtensteiner Binnenkanal, der Koblacher- und der Lustenauerkanal. Auch flussabwärts der Illmündung, wo der Rhein die Staatsgrenze zwischen der Schweiz und Österreich bildet, waren Dammbrüche an der Tagesordnung. Mit einem von beiden Uferstaaten nach dem Hochwasser von 1827 vereinbarten Wuhrprovisorium fiel das alte System der Schupfwuhre dahin. Im Jahre 1830, nach dem grossen Hochwasser, erliess die österreichische Verwaltung das sogenannte «Wasserbau-Memorial», nach welchem das gesamte Wuhrwesen am Rhein an den österreichischen Staat überging. Dank reger Wuhrtätigkeit wurde in der Folge das Land Vorarlberg nicht mehr durch Hochwasserkatastrophen heimgesucht (Bild 5.8).

Unter dem Eindruck der Hochwasser von 1868 und 1871, die durch Wuhr- und Dammbrüche bei Ragaz, Sevelen, Buchs und Montlingen die Bezirke Sargans, Werdenberg, Ober- und Unterrheintal arg überschwemmten, richtete der schweizerische Bundesrat eine Note an Österreich mit dem Ersuchen, man möge den Fussacher Durchstich bauen, der bereits seit einigen Jahrzehnten Gegenstand von Verhandlungen und Studien war. Diese Note führte am 19. September 1871, also vor etwas mehr als hundert Jahren, zu einem Präliminarabkommen, worin sich beide Staaten verpflichteten, unter anderem den Diepoldsauer und den Fussacher Durchstich zu bauen.

Als Folge der dadurch erreichten Verkürzung des Rheinlaufes um etwa 8 km sollte die durch das vergrösserte Gefälle erhöhte Schleppkraft das Geschiebe ohne gefährliche Zwischenablagerungen unterhalb der Illmündung bis zum Bodensee abschwemmen. Dieses für damalige Zeiten gewaltige zwischenstaatliche Projekt gab viel zu reden und noch mehr zu schreiben, und es wurde daraus vorerst keine technische, sondern eine staatspolitische Angelegenheit. Die Realisierung des Projektes wurde immer wieder hinausgeschoben. Der Rhein zerstörte jedoch mit seinen Hochwassern von 1888 und 1890 die Illusion, hinter den bestehenden Dämmen ohne die geplanten Durchstiche sicher leben zu können. Diese Hochwasser beschleunigten den Abschluss des ersten Staatsvertrages vom 30. September 1892 zwischen der Schweizerischen Eidgenossenschaft und dem Kaiser von Österreich, in welchem die Durchführung der nachstehenden Massnahmen vorgesehen wurde (Bild 5.13):

— die sofortige Ausführung des Fussacher Durchstiches von Brugg bis zum Bodensee mit einer Länge von 4925 m

— die Normalisierung der «Zwischenstrecke» des Flusslaufes zwischen dem Fussacher- und dem Diepoldsauer Durchstich

— die anschliessende Realisierung des Diepoldsauer Durchstiches, der die Hohenemserschleife abschneidet; Länge 6146 m

— die Normalisierung der sog. «Oberen Strecke» bis zur Ill und

— die Ergänzung der Binnengewässer-Korrektion, die jeder Staat auf eigene Kosten durchzuführen hatte.

Österreich nahm unverzüglich den Fussacher Durchstich in Angriff, der im Jahre 1900 eröffnet werden konnte. Der Durchstich erhielt nach vielen Diskussionen über die anzunehmende Breite ein Doppel-Profil mit einem 110 m breiten Mittelgerinne und beidseitig gegen die Hochwasserdämme leicht ansteigenden Vorländern von je 75 m Breite. Die Gesamtbreite zwischen den Hochwasserdämmen betrug somit 260 m. Im Jahre 1912 wurde mit dem Bau des Diepolds-

Bild 5.8. «Szene aus der Ueberschwemmung des St.-Gallischen Rheinthals im Herbst 1868. Nach der Natur aufgenommen von E. Rittmeier.»

Die Überschwemmungen von 1868 brachten grosses Leid, namentlich auf der schweizerischen Talseite, wo 40 Tote zu beklagen waren.

auer Durchstichs begonnen. Der Erste Weltkrieg verzögerte die Bauarbeiten, so dass der Rhein erst zehn Jahre später, am 18. April 1923, in sein neues Bett umgeleitet werden konnte (Bild 5.3).

Wie erwartet, stellte sich vorerst eine Sohlenvertiefung ein, die sich im Verlaufe der Jahre bis hinauf zur Illschwelle fortpflanzte. Im Durchstich selbst blieb aber der Grossteil des Geschiebes liegen, weil das Mittelgerinne zu breit geraten war. In den Jahren von 1923 bis 1935 wälzte sich eine gewaltige Geschiebemasse durch den Diepoldsauer Durchstich und darüber hinaus bis in die Zwischenstrecke bei St. Margrethen. Die Flusssohle hob sich in gefährlicher Weise, und man musste zur Kenntnis nehmen, dass die Wirkung der gemäss dem Projekt von 1892 durchgeführten Flussbauten nicht im erwarteten Ausmass eintrat (Bilder 5.4 und 5.7).

Um der gefährlichen Auflandung Einhalt zu gebieten, musste das Rheinproblem erneut aufgegriffen werden. Nach eingehenden Varianten-Studien und Modell-Versuchen durch die ETH Zürich wurde ein neues Projekt, genannt «Umbauprojekt IIIb», ausgearbeitet, das bis zum Jahre 1975 praktisch verwirklicht werden konnte. Das Ende der zwanziger Jahre, nach der Fertigstellung der Durchstiche, stillgelegte zwischenstaatliche Unternehmen, die Internationale Rheinregulierung, wurde nach dem Zweiten Weltkrieg, gemäss einem neuen Staatsvertrag vom Jahre 1954 wieder aktiviert und realisierte in der Folge mit einem Aufwand von rund 80 Mio Franken die nachstehenden Baumassnahmen:

— Verschmälerung des 110 m breiten Mittelgerinnes um 20 m bei der Oberen Strecke und um 40 m bei der Mündung
— Erhöhung der Mittelgerinnewuhre zur Steigerung der Kapazität des Mittelgerinnes auf 1200 m³/s
— Räumung und Planierung der Vorländer
— Hebung und Anpassung der Brücken.

Als Folge dieser Flussbauten hat sich die Rheinsohle flussabwärts der Illmündung auf einem um 1 bis 2 m tieferen Niveau stabilisiert als im Umbauprojekt vorgesehen war. Dadurch entstand eine willkommene Reserve gegenüber der sich vom Mündungsdelta aus flussaufwärts fortpflanzenden natürlichen Auflandung der Flusssohle in der Grössenordnung von 1 bis 2 cm pro Jahr. Mit der Vollendung des Umbauprojektes sind in einer Bauzeit von rund 120 Jahren die im Jahre 1853 vom Kleinen Rat des Kantons St. Gallen vorgeschlagenen Flussbauarbeiten ausgeführt worden. Ausgenommen blieb die Bodenseeregulierung, über deren Notwendigkeit heute noch diskutiert wird.

5.4. Die Wildbäche im Einzugsgebiet des Rheines

Eine der Hauptursachen der Überschwemmungen des Rheintales war die fortdauernde Erhöhung der Rheinsohle durch Geschiebeablagerungen im zu breiten Flussbett. Weitere Gefahren drohten durch Murgänge, die immer wieder aus den steilen Seitentälern hervorbrachen. Wenn die Talflüsse, Vorderrhein, Hinterrhein, Landquart und Ill die nach Wolkenbrüchen herunterbrausenden Schuttströme nicht weiter zu transportieren vermochten, stauten sich diese Flüsse zu Talseen auf. Wenn diese zum Überlaufen kamen und ausbrachen, wälzten sich gewaltige, mit Schutt gesättigte Wasserschwälle verheerend talwärts bis in die weite Rheinebene hinaus. An Stellen, wo das Sohlengefälle zu klein oder das Flussbett zu breit war für die Gewährleistung einer genügenden Schleppkraft, setzten sich die Schuttmassen ab und führten erneut zu Stauungen und seitlichen Ausbrüchen der Wasser- und Geschiebemassen.

Schon bei den ersten Projekten wurde erkannt, dass eine dauerhafte und solide Rheinkorrektion auch eine wirksame Verbauung der Wildbäche im Einzugsgebiet erforderte. Unter dem Eindruck verheerender Überschwemmungen im Domleschg durch Murgänge der Nolla ersuchte der Kanton Graubünden mit Unterstützung des Kantons St. Gallen Mitte des vergangenen Jahrhunderts den Bund, die Rheinkorrektion durch Verbauungen der Rheinzuflüsse im Kanton Graubünden zu ergänzen. Im Jahre 1877 trat das Eidg. Gesetz betreffend die Wasserbaupolizei im Hochgebirge in Kraft, das die Finanzierung wirkungsvoller Wildbachverbauungen im Kanton Graubünden ermöglichte. Bis zum Jahre 1903 entstanden im bündnerischen Einzugsgebiet des Rheins Wildbachverbauungen für 8,5 Mio Franken und seither für weitere 70 Mio Franken.

Diese gewaltigen Anstrengungen trugen wesentlich bei zur Sicherung der steilen Talhänge der Seitenbäche und zum Rückhalt von Murgängen in den Schluchten und Tobeln. Die Murgänge konnten nicht mehr bis in die Talsohlen vorstossen. Die natürliche Erosion der Wildbäche kann durch Verbauungen wohl verzögert, aber niemals verhindert werden. Nach neuesten Berechnungen wird die jährliche Geschiebebewegung im Einzugsgebiet des Rheins flussaufwärts der Landquart-Mündung auf 4 Mio m³ geschätzt, dies entspricht einem mittleren Abtrag des Einzugsgebietes um 1 mm. Von den 4 Mio m³ bleiben rund 1,75 Mio m³ auf Schuttkegeln und in den Talsohlen im Kanton Graubünden liegen; die übrigen 2,25 Mio m³ werden abgeschwemmt, im Rheinbett zu Sand und Schlamm zerrieben und schliesslich als Rheindelta im Bodensee abgelagert. Die seit dem Jahr 1900 im Abstand von zehn Jahren durchgeführten Vermessungen des Seegrundes im Mündungsgebiet ergeben als mittlere Veränderungen des Rheindeltas:

— Vergrösserung des Volumens des Deltas im Bodensee: 3,1 Mio m³/Jahr
— Vergrösserung der über den mittleren Seestand liegenden Fläche des Deltas: 3,3 ha/Jahr
— Verlängerung des Flusslaufes im See: 23 m/Jahr.

5.5. Probleme am Rhein nach 1927

Die bis 1927 ausgeführten Verbauungen der Wildbäche in Graubünden und im Einzugsgebiet der Ill sowie des Rheins in der Talebene reichten nicht aus, die katastrophale Überschwemmung vom September 1927 zu verhüten. Diese verwüstete das Unterland des Fürstentums Liechtenstein. Nach der Katastrophe wurden die Hochwasserdämme flussaufwärts der Illmündung in zwei Etappen um 1 bis 2 m erhöht. Weiter wurden geeignete Massnahmen untersucht, die der gefährlichen Hebung der Rheinsohle in der liechtensteinisch-st. gallischen Strecke um 2 bis 3 cm pro Jahr Einhalt gebieten sollten (Bilder 5.9 und 5.10).

Im August 1954 führte der Rhein wiederum eine Abflussmenge von 2300 m³/s, die im Jahr 1927 zur Katastrophe geführt hatte. Das durch die Dammerhöhungen vergrösserte Abflussprofil vermochte dieses Hochwasser auf der liechtensteinischen Strecke mit einem Freibord von 1 bis 2 m schadlos abzuleiten. Am schweizerischen Ufer bestanden aber damals noch zwei Lücken im Rheindamm, durch welche das Hochwasser in die Rheinebene austreten konnte: bei der gemeinsamen Einmündung der Saar und des Trübbaches flussabwärts von Sargans und bei der Mündung des Werdenberger Binnenkanals in den Rhein bei Rüthi. Das durch diese Öffnungen austretende Wasser verwandelte die Saarebene und die Sennwalder Auen tagelang in metertiefe Seen. Neben der Zerstörung wertvoller Kulturen wurden der Eisenbahn- und der Strassenverkehr in der Rheinebene während längerer Zeit unterbro-

Bild 5.9. Die Dammbruchstelle am 26. September 1927. Das Unterland des Fürstentums Liechtenstein wurde überschwemmt.

Im Vordergrund die zerstörte Eisenbahnbrücke und der fortgespülte Bahndamm der ÖBB, in Bildmitte der Rest der abgeschwemmten Holzbrücke im Strassenzug Buchs—Schaan. Das Rheinbett liegt höher als die angrenzende Rheinebene. Die ausgebrochenen Fluten konnten erst 15 km flussabwärts der Dammbruchstelle auf österreichischem Gebiet, bei Bangs, durch eine in den Rheindamm gesprengte Lücke ins ursprüngliche Flussbett zurückgedrängt werden.

VERÄNDERUNG DES ABFLUSSVERMÖGENS IM RHEIN BEI DER EISENBAHNBRÜCKE VON BUCHS (Profil - Km 49,00)

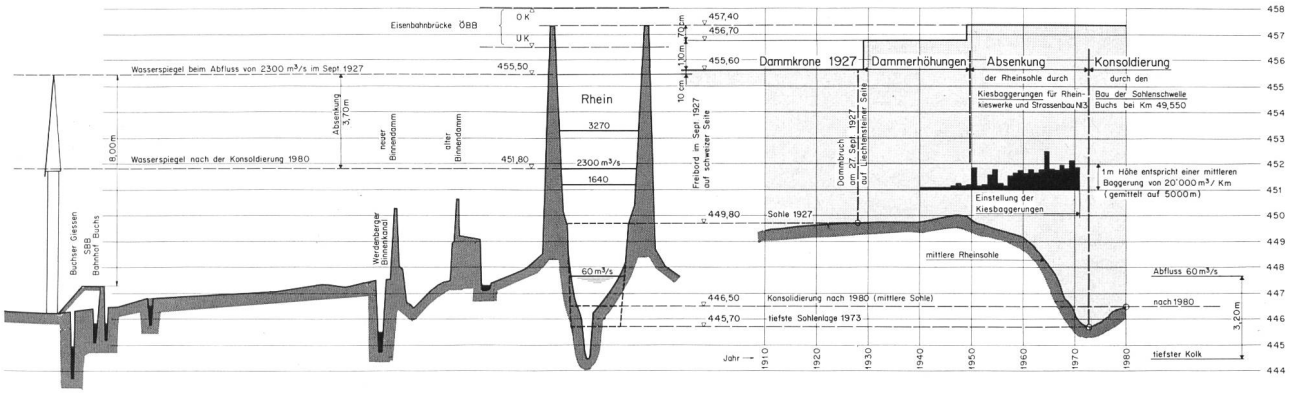


Bild 5.10. Veränderung des Abflussvermögens im Rhein bei der Eisenbahnbrücke von Buchs zwischen 1910 und 1980 (Profil bei km 49,000).

Vor dem Dammbruch im September 1927, bei welchem das Unterland des Fürstentums Liechtenstein überschwemmt wurde, war das Abflussprofil von der mittleren Rheinsohle bis zur Dammkrone 5,8 m hoch. Beim damaligen Abfluss von 2 300 m³/s verblieb auf Schweizerseite ein Freibord von 10 cm. Auf Liechtensteinischer Seite war der Damm etwas niedriger. Er wurde zuerst überströmt und kurz darauf durchbrochen. Nach der Katastrophe von 1927 wurden die Hochwasserdämme beidseitig des Rheins um 1,1 m erhöht. Da die Sohle weiterhin auflandete, wurden Ende der Vierzigerjahre die Dämme nochmals um 0,7 m erhöht.

1950 bis 1971 wurde die Rheinsohle durch Ausbaggern um 4,4 m abgesenkt. Der gebaggerte Kies wurde in den Kieswerken Buchs und Salez sowie für den Bau der N 13 verwendet. Als 1971 die Sohle genügend tief lag, wurden die Baggerungen eingestellt.

Durch die Tieferlegung der mittleren Rheinsohle von Kote 449,80 im Jahre 1927 bis auf Kote 446,50 wird der Rheinspiegel bei Hochwasser (2300 m³/s) um 3,7 m abgesenkt werden. Bei diesem Hochwasser würde der Wasserspiegel die Höhe des Bahnhofplatzes Buchs statt um 8,0 m im Jahr 1927 nur noch um 4,3 m übersteigen. Das Freibord bis zur Dammkrone würde 5,6 m betragen, verglichen mit 0,1 m im Jahre 1927.

chen. In der Folge konnten diese Lücken geschlossen werden, dies im Zusammenhang mit der Entwässerung der Saarebene und der wasserbaulichen Sanierung des Mündungsgebietes des Werdenberger Binnenkanals.

Auch nach der Schliessung dieser Öffnungen wurde eine zusätzliche Erhöhung des Abflussvermögens im Rheinbett flussaufwärts der Illmündung als notwendig erachtet. Die inzwischen entstandenen Verkehrs- und Industriebauten in unmittelbarer Nähe der Hochwasserdämme erschwerten weitere Dammerhöhungen, namentlich in der Umgebung von Strassen- und Eisenbahnbrücken. Eine Vergrösserung des Durchflussprofils war deshalb nur noch möglich durch eine künstliche Absenkung der Flusssohle mittels Kiesentnahme. Anfang der fünfziger Jahre wurden mit finanzieller Unterstützung des Bundes, des Kantons St. Gallen und des Fürstentums Liechtenstein bei Buchs und bei Salez zwei permanente Kieswerke errichtet. Diese wurden verpflichtet, dem Rhein jährlich 120 000 m³ Kies zu entnehmen. Vor 1960 bestand im Rheintal kein Absatz für derart grosse Kiesmengen. Das Unternehmen musste deshalb seine gesamte Kiesproduktion per Eisenbahn nach Schmerikon am oberen Zürichsee und von dort mit Schiffen in die Stadt Zürich transportieren, wo das Material abgesetzt werden konnte.

Der flussbautechnische Erfolg dieser Kiesentnahme entsprach den Erwartungen. Die Marktlage für Rheinkies änderte sich grundlegend innert weniger Jahre. Der Kiesbedarf im Rheintal stieg von 1958 bis 1970 sprunghaft an mit der allgemeinen Belebung im Bausektor, namentlich mit der Erstellung der Autobahn. Mit jährlichen Entnahmemengen von 500 000 m³ bis 1 100 000 m³ erreichten die aus dem Rhein gebaggerten Kiesmengen zwischen 1954 und 1972 rund 15 Mio m³. Die Rheinsohle senkte sich dadurch um 2 bis 4 m und erreichte Anfang der siebziger Jahre das angestrebte Längenprofil, auf welchem sie nun stabilisiert werden soll. Dazu wurden Anfang der siebziger Jahre die Kiesbaggerungen eingestellt und Querschwellen aus schweren Steinblöcken in die Flusssohle eingebaut. Im Winter 1970/71 wurde eine erste Schwelle nördlich der Strassenbrücke von Buchs und im Winter 1971/72 eine zweite flussaufwärts von Trübbach beim Ellhorn erstellt (Bild 5.11).

Die periodischen Vermessungen der Rheinsohle zeigen, dass diese zwei Schwellen vorläufig genügen, um die Sohle auf der angestrebten Höhenlage zu stabilisieren. Die

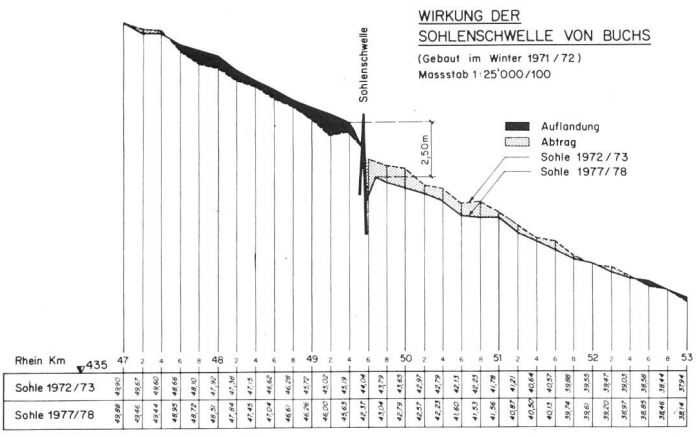


Bild 5.11. Die Wirkung der Sohlenschwelle von Buchs. Rheinlängenprofil Massstab etwa 1 : 100 000 / 400.

Im Winter 1971/72 wurde bei Buchs aus Steinblöcken bis 5 t Gewicht eine Schwelle in den Rhein gebaut. Ihre Krone überstieg die damalige Flussohle um rund 1,5 m. Innert fünf Jahren hob sich die Rheinsohle bis zwei Kilometer flussaufwärts um 0,5 bis 1 m. Flussabwärts der Schwelle senkte sich die Sohle im gleichen Ausmass.

Die im Jahr 1972/73 bei Ellhorn eingebaute Schwelle zeigt eine ähnliche Wirkung.

Entwicklung des Längenprofils in den nächsten Jahren oder Jahrzehnten wird zeigen, ob weitere Schwellen notwendig sind (Bilder 5.4 bis 5.7).

Aufgrund der heutigen Höhenlage der Rheinsohle und der Dammkronen durchgeführte hydraulische Berechnungen ergaben ein Schluckvermögen des Rheins im Abschnitt von Bad Ragaz bis zur Illmündung von rund 5000 m³/s; das ist das Doppelte des grössten alle hundert Jahre zu erwartenden Abflusses. Hochwasser von 2300 m³/s, die im Jahre 1927 zur Katastrophe und im Jahre 1954 zu einer gefährlichen Situation geführt haben, würden in Zukunft im Rhein längs dem Fürstentum Liechtenstein mit einem Freibord von 2 m und mehr gefahrlos abfliessen. Zusätzlich zu dieser Erhöhung des Abflussvermögens wurden längs dem st.-gallischen Ufer die landseitigen Dammfüsse verstärkt im Zusammenhang mit dem Bau der Ölleitung und der Autobahn N 13.

Diese Massnahmen konnten bis Ende der sechziger Jahre abgeschlossen werden, womit beidseits des Rheins eine nach menschlichem Ermessen genügende Sicherheit gegen Überflutung durch Hochwasser gewährleistet sein dürfte.

5.6. Gelöste und ungelöste Probleme am Rhein und am Bodensee

Der zeitliche Ablauf der technischen Eingriffe in die natürliche Entwicklung der Rheinebene ist im Bild 5.18 skizziert. Die Häufung der Hochwasser-Katastrophen am Rhein im vergangenen Jahrhundert kommt darin zum Ausdruck. Die Planungen und Verhandlungen, die schliesslich zum Bau der Hochwasserdämme im Abschnitt von der Landquart bis zum Monstein bei Au führten, begannen schon um 1770, sie dauerten rund 100 Jahre. Als erste der im Jahre 1853 vorgeschlagenen Massnahmen wurden von 1860 bis 1890 die Hochwasserdämme und die Binnenkanäle erstellt. Dies hatte zur Folge, dass sich nach 1888 nur noch ein einziger Dammbruch ereignete, derjenige von 1927. Die Überschwemmung der Saarebene und der Sennwalder Auen im Jahre 1954 war eine Folge von Lücken im Rheindamm, die später im Zusammenhang mit den Entwässerungen dieser Ebenen geschlossen wurden.

Die nach 1927 und 1954 als notwendig erkannten Dammerhöhungen wurden Anfang der sechziger Jahre endgültig abgeschlossen. Das Abflussvermögen wurde von 1954 bis 1970 durch Kiesentnahme nochmals erhöht. Nach 1970 verbleibt als dauernde Aufgabe der für den Unterhalt des Rheins verpflichteten Anlieger die Stabilisierung der Flusssohle und die dauernde Sicherung der wasserseitigen Füsse der Hochwasserdämme durch Vorgründe aus Steinblöcken (Bilder 5.4 bis 5.7).

Auch die gegen Ende des vergangenen Jahrhunderts begonnenen Verbauungen der Wildbäche im Einzugsgebiet werden nie zu einem Abschluss kommen und die Verpflichteten dauernd belasten. Die von der Internationalen Rheinregulierung erstellten Durchstiche bei Diepoldsau und Fussach sowie deren Einengung gemäss dem Umbauprojekt IIIb sind bis zum Jahre 1978 zum Abschluss gekommen.

Im Jahre 1971 wurde von den Regierungen der Schweizerischen Eidgenossenschaft und der Republik Österreich ein Projekt genehmigt für Baumassnahmen zur Steuerung der Entwicklung des Mündungsdeltas im Bodensee. In einer Bauzeit von rund 20 Jahren soll über die Untiefen im Mündungsgebiet ein 5 km langer Kanal gebaut werden, um den Geschiebetransport bis in die grossen Seetiefen zu gewährleisten (Bilder 5.14 und 5.15).

Auch nach der Fertigstellung dieser letzten beschlossenen

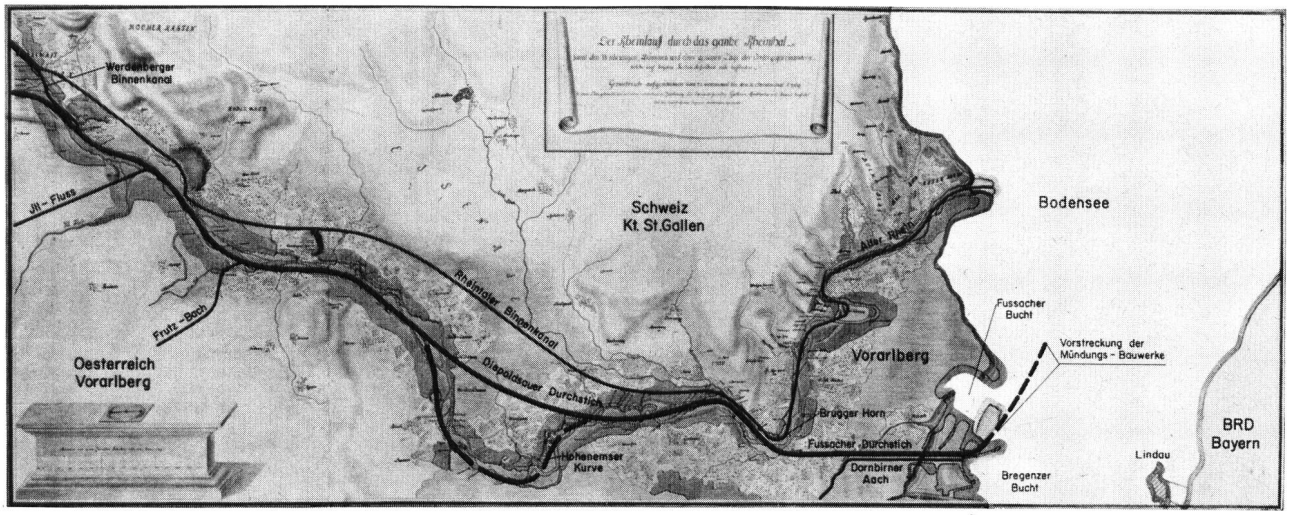


Bild 5.13. Bauten der Internationalen Rheinregulierung von der Illmündung bis zum Bodensee.

Vor der Regulierung mündeten auf der schweizerischen Seite die nachgenannten Seitenbäche in den Rhein: Lienzbach und Kehlenbach bei Sennwald-Lienz; Giessenbach oberhalb Montlingen; Röthibach unterhalb Montlingen; Kappen-Giessen bei Diepoldsau und der Aach-Fluss aus den Bergen hinter Altstätten, der vereinigt mit dem Eichele-Fluss aus der Gegend von Balgach und dem Littenbach von Bernegg her am Monstein bei Au den Rhein erreichte.

In der «Oberen Strecke», von der Illmündung bis zum Beginn des Diepoldsauer Durchstiches, wurde im damaligen Rheinbett ein 110 m breites Mittelgerinne erstellt, von der Illmündung bis Oberriet mit einem Vorland auf einer Seite und flussabwärts beidseitig mit Vorland (Bild 5.3.). Der 6,150 km lange Durchstich von Diepoldsau schneidet die Hohenemserkurve ab. Er wurde im Jahr 1923 eröffnet. Die Ueberquerung des tiefgründigen Torfgebietes zwischen Kriessern und Diepoldsau mit diesem über dem ursprünglichen Terrain erstellten Kanal bot besondere Schwierigkeiten.

In der «Zwischenstrecke» von Widnau bis zum Brugger Horn wurde der Rhein im Flussbett kanalisiert.

Der anschliessende Fussacher Durchstich, der im Jahr 1900 eröffnet wurde, verläuft ausserhalb des ursprünglichen Rheinbettes; er führt auf dem kürzesten Weg vom Brugger Horn zum Bodensee. Durch den Bau des Fussacher Durchstiches wurde der damalige Lauf der Dornbirner Aach abgeschnitten. In einen dem Fussacher Durchstich parallel folgenden Kanal musste die Dornbirner Aach östlich des Rheins dem Bodensee zugeleitet werden.

Durch die Kanalbauten der Internationalen Rheinregulierung wurden auch alle am Schweizer Ufer in den Rhein mündenden Seitenbäche durchschnitten. Diese münden nun in den Rheintaler Binnenkanal, der bei Sennwald beginnt und beim Brugger Horn in das ehemalige Rheinbett mündet. Dieses «Rinnsal im Alten Rhein» sammelt die Zuflüsse aus dem Berghang und der Talebene und führt sie dem Bodensee zu. Die durch die Durchstiche abgeschnittenen alten Rheinläufe haben sich seither zu urtümlichen Flusslandschaften entwickelt. Ihre Endgestaltung und Erhaltung als interessante Naturschutzgebiete bleibt den Flussbauern eine Verpflichtung.

Als Daueraufgabe der Internationalen Rheinregulierung verbleibt neben dem Unterhalt des Mittelgerinnes im Rhein von der Illmündung bis zum Bodensee die Steuerung der Deltabildungen an den Mündungen des Fussacher Durchstiches und des Altenrheines.

Bauten verbleiben an der Mündung dauernde Verpflichtungen für die beteiligten Staaten. Als Folge der jährlichen Verlängerung des Flusslaufes auf dem Delta um rund 23 m besteht flussaufwärts der Mündung bei km 90 eine natürliche Tendenz zur Hebung der Flusssohle um rund 2 cm im Jahr. Der Staatsvertrag vom Jahre 1954 verpflichtet die Staaten zur dauernden Stabilisierung der Rheinsohle bei km 90,0 auf der Kote 393,63 m ü.M. Nach menschlichem Ermessen scheint nun mit den beschriebenen Massnahmen die Überschwemmungssicherheit am Rhein von Reichenau bis zum Bodensee gewährleistet zu sein (Bild 5.4).

Die Erstellung der Hochwuhre erlaubte den Bau permanenter Brücken über den Rhein. Von 1867 bis 1879 entstanden 12 Holzbrücken, die ihren Zweck rund 100 Jahre lang zu erfüllen vermochten. Diese Holzbrücken sind bis auf eine leider verschwunden. Diese letzte bei Sevelen soll der Nachwelt als Museumsstück erhalten werden. Die übrigen Holzbrücken wurden teils durch Hochwasser, teils durch Feuer zerstört oder sie mussten ersetzt werden, weil sie alt waren und den Anforderungen des modernen Motorfahrzeugverkehrs nicht mehr genügten. Im Zusammenhang mit dem Bau der Durchstiche entstanden von 1900 bis 1914 fünf Stahlbrücken über den Rhein, die ihren Dienst heute noch versehen.

Eine neue Brückenbau-Periode begann im Jahre 1957 mit dem Bau der Autobahnen in den Kantonen Graubünden und St. Gallen sowie im Land Vorarlberg. Von 1957 bis 1978 entstanden zwanzig massive Strassenbrücken über den Rhein.

Im Anschluss an die Eindämmung des Rheins konnten im Schutz der Hochwasserdämme umfangreiche Entwässerungen in der einst versumpften Rheinebene durchgeführt werden. Die Entwässerungen und Meliorationen auf der Schweizer Seite erfolgten hauptsächlich nach dem letzten Weltkrieg und werden bis Mitte der achtziger Jahre zu einem vorläufigen Abschluss kommen.

Das Vordringen von Industrie- und Verkehrsanlagen bis in die Nähe der Rheindämme ist ein Hinweis auf das allgemeine Vertrauen in die nun erreichte Hochwassersicherheit. Anfangs der sechziger Jahre entstand die Ölleitung Genua—Ingolstadt längs dem Fusse des Hochwasserdammes und bis 1980 wird auch die Autobahn N 13 von St. Margrethen bis in den Kanton Graubünden durchgehend fertiggestellt sein. Noch vor wenigen Jahrzehnten galt dieses Gebiet als versumpft und hochwassergefährdet und musste gemieden werden.

Nach dem Bau der Durchstiche von Diepoldsau und Fussach durch die Internationale Rheinregulierung blieben in der Hohenemserkurve und vom Bruggerhorn bis zum Bodensee zwei vom Rheinstrom verlassene Flussbette zurück, die nun nach modernen Auffassungen zu Erholungs- und Naturschutzgebieten mit interessanten Nassbiotopen gestaltet werden können (Bild 10.8.2).

Von 1960 bis 1980 wurden für alle grösseren Wohn- und Industriezonen am Rhein Abwasserkläranlagen erstellt. Flussaufwärts der Illmündung fliessen die gereinigten Abwässer aus diesen Anlagen entweder direkt oder über die Binnenkanäle in den Rhein, während flussabwärts der Ill bis zum Bodensee bisher keine Abwässer in den Rhein geleitet werden. In diesem Abschnitt werden die geklärten Abwässer auf Schweizer Gebiet vom Rheintaler Binnenkanal und in Vorarlberg von den dortigen Kanalsystemen und

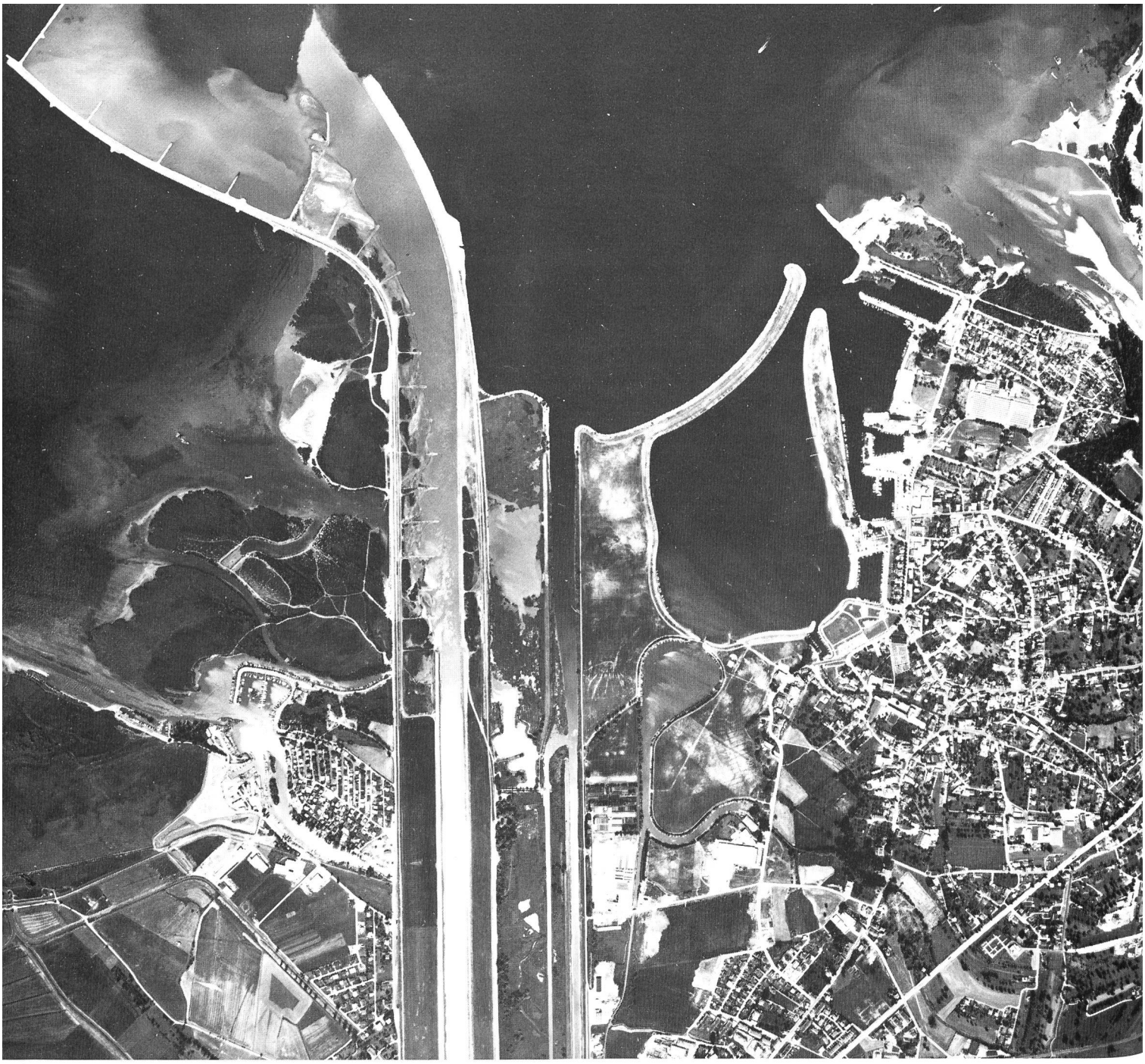


Bild 5.14. Flugaufnahme der Rheinmündung. Das Bild ist wie eine Landeskarte orientiert, Norden ist oben. Zwischen Dämmen und Buhnen fliesst der korrigierte Rhein in die Fussacher Bucht. Parallel dazu, rechts, mündet die Dornbirnerach. Im Bild rechts die Mündung der Bregenzerach.
Swissair Foto und Vermessungen AG

Flüssen ausserhalb des Rheins in den Bodensee geleitet.

Bild 5.20 zeigt die bis 1978 realisierten Speicherkraftwerke im Einzugsgebiet des Rheins. Durch die heutige Bewirtschaftung der Kraftwerkspeicher wird der Abfluss einer Wassermenge von rund 750 Mio m³ vom Sommer auf den Winter verschoben. Dadurch werden die mittleren Sommerabflüsse im Rhein um 30 m³/s bis 60 m³/s verkleinert und die Winterabflüsse um 20 m³/s bis 40 m³/s erhöht. Durch den Einsatz der Speicherkraftwerke zur Spitzendekkung entstehen zusätzlich beträchtliche Abflussschwankungen, die innerhalb weniger Stunden Änderungen der Wasserspiegel im Rhein in der Grössenordnung von 40 bis 60 cm zur Folge haben. Bis einige hundert Meter landeinwärts machen diese sich durch entsprechende Schwankungen der Grundwasserstände bemerkbar (Bild 5.17).

Oft wird von den Kraftwerkspeichern im Einzugsgebiet eine viel zu grosse Beeinflussung des Abflussregimes im Rhein erwartet. Beispielsweise könnte durch die Kraftwerkspeicher ein Hochwasser von 2500 m³/s höchstens um 100 m³/s vermindert werden, und dies jeweils nur in der Zeit vom Frühjahr bis zur Füllung der Speicher, mit der bereits Anfang September gerechnet werden muss. Das Katastrophenhochwasser vom 25. September 1927 hätte somit kaum merklich beeinflusst werden können, wenn die Kraftwerkspeicher damals schon bestanden hätten.

Der Wasserstand im Bodensee wird durch die Kraftwerkspeicher im Sommer um 20 bis 30 cm abgesenkt und im Winter um höchstens 20 cm angehoben. Die Erhöhung der Winterabflüsse im Rhein durch die Kraftwerkspeicher hebt das wirtschaftliche Interesse an einem Ausbau der Wasserkräfte des Rheins flussabwärts der Zentralen Sils i. D. der Kraftwerke Hinterrhein und Tavanasa der Vorderrheinkraftwerke. Anfangs der sechziger Jahre erschienen Projekte verschiedener Gesellschaften für Laufkraftwerke, sowohl im Rheinbett als auch ausserhalb desselben, denen das Triebwasser in Kanälen und Stollen zugeleitet werden

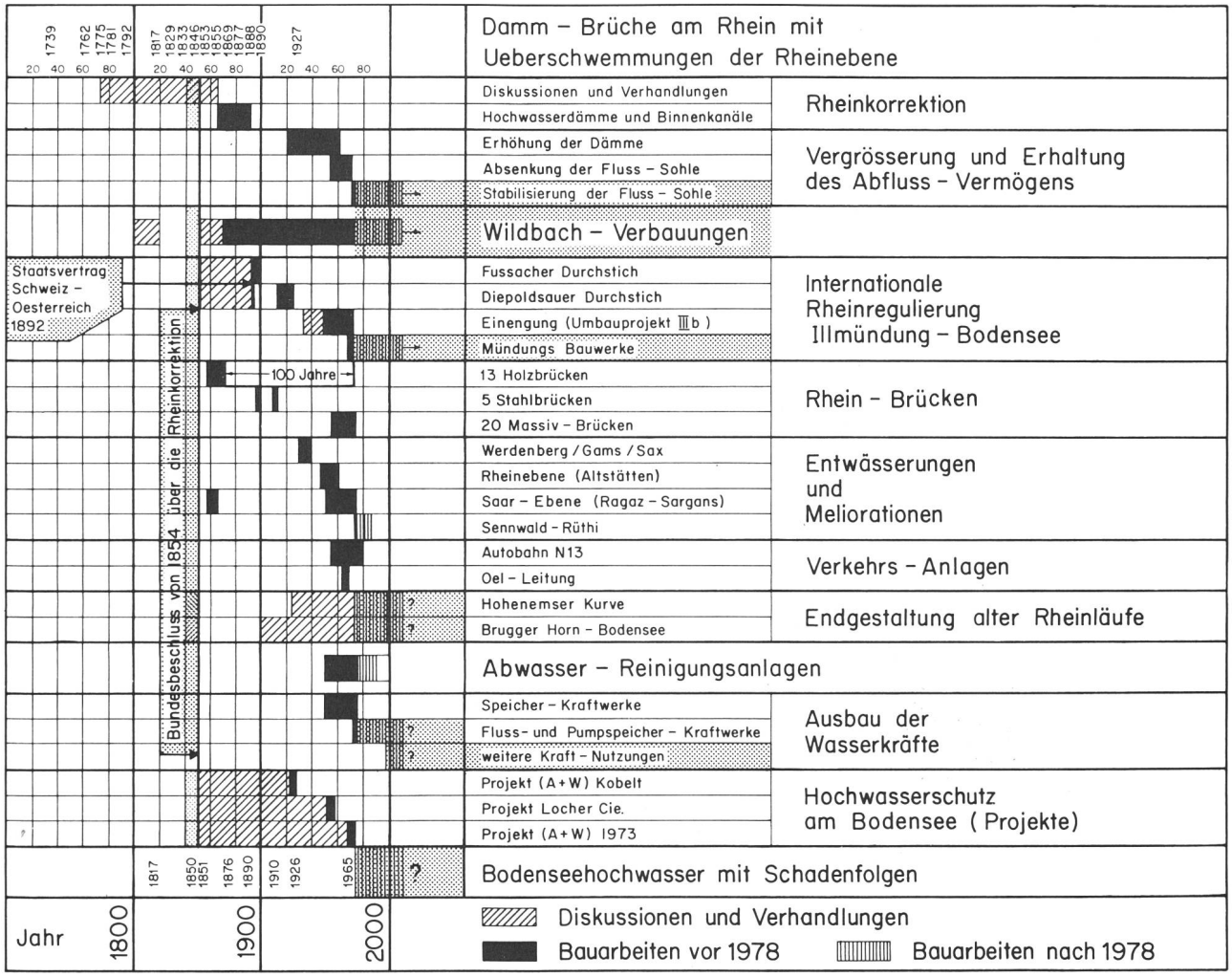


Bild 5.18. Gelöste und ungelöste Probleme am Rhein.

Die ersten, die Staatsgrenzen überschreitenden Diskussionen über Projekte zu einer umfassenden Rheinregulierung begannen schon Mitte des 18. Jahrhunderts, doch konnten erst hundert Jahre später konkrete flussbauliche Massnahmen in Angriff genommen werden, nachdem der schweizerische Bundesrat im Jahre 1854 in einem Beschluss über eine umfassende Rheinkorrektion dem Bau der Hochwasserdämme, der Binnenkanäle, der Durchstiche von Diepoldsau und Fussach sowie umfangreichen Wildbachverbauungen und geeigneten Massnahmen für die Regulierung der Wasserstände im Bodensee zustimmte.

Der Staatsvertrag von 1892 zwischen der Schweizerischen Eidgenossenschaft und dem Kaiser vom Oesterreich gab grünes Licht für die Inangriffnahme der Regulierung des Rheins von der Illmündung bis zum Bodensee.

Bis im Jahr 1977 sind in einer Bauperiode von 120 Jahren die im Bundesbeschluss von 1854 in Aussicht genommenen Bauarbeiten realisiert worden, mit Ausnahme der Bodenseeregulierung, über deren Nutzen oder gar Schaden heute noch diskutiert wird.

Als dauernde Verpflichtung der Vertragsparteien bleiben die Stabilisierung der Rheinsohle, die Wildbachverbauungen im Einzugsgebiet und die Anpassung der Mündungsbauwerke im Bodensee an die Deltaentwicklung.

Die Bilder 5.16 und 5.17 finden sich auf Seite 120.

Weiter warten noch Projekte für zeitlich begrenzte Bauarbeiten zur Endgestaltung der Altläufe des Rheins in der Hohenemser-Kurve und im Abschnitt vom Brugger Horn bis zum Bodensee auf ihre Verwirklichung. Die Abwasserreinigungsanlagen im Einzugsgebiet des Rheins können bis anfangs der Achzigerjahre fertiggestellt werden, doch sind in Zukunft stets reinigungstechnische Verbesserungen zu erwarten, die dauernd neue Probleme stellen werden.

Die Kraftwerke mit Saisonspeichern im Einzugsgebiet des Rheins sind erstellt. Neuerdings stehen Projekte einer neuen Generation von Fluss- und Pumpspeicherkraftwerken in Diskussion, über deren Realisierung noch keine verbindlichen Programme bekannt sind. Jede Form der zukünftigen Energiewirtschaft wird Interesse am Wasser- und Energieangebot des Alpenrheins bekunden und dauernd neue Probleme aufwerfen, die im Rahmen der dannzumaligen Verhältnisse und deren technischer und politischer Beurteilung gelöst werden müssen.

Ueber die Regulierung der Wasserstände im Bodensee wurden in den vergangenen Jahrzehnten zahlreiche Projekte erstellt, von denen im Bild drei ausgewählt wurden. Ein letztes, baureifes Projekt des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft (1973) wurde den zuständigen Behörden anfangs 1978 übergeben. Ohne geeignete Massnahmen zur Regulierung der Seewasserstände bleibt die akute Überschwemmungsgefahr im Uferbereich des Bodensees auf ausgedehnten Flächen der seenahen Rheinebene bestehen und damit das im Bundesbeschluss von 1854 angestrebte umfassende Regulierungswerk unvollständig.

sollte. Die Stufen Sils-Rothenbrunnen neu und Reichenau-Ems sind inzwischen gebaut worden. Der zunehmende Widerstand aus Natur- und Umweltschutz-Kreisen gegen den Ausbau der Wasserkräfte und die Hoffnung, dass die schweizerische Energieversorgung ohne politische Schwierigkeiten rasch auf die damals als wirtschaftlicher nachgewiesene Kernenergie umgestellt werden könne, führten zu einem Verzicht auf die Realisierung der Rheinkraftwerke flussabwärts von Ems. Die neuerdings auf unter 4 Prozent gesunkenen Kapitalzinsen und die durch unvorhergesehene Schwierigkeiten bedingte Erhöhung der Gestehungskosten der Elektroenergie aus Kernkraftwerken auf 5 bis 6 Rp/kWh haben das wirtschaftliche Interesse an einem Weiterausbau der Wasserkräfte im Kanton Graubünden wieder geweckt. Im Laufe des Jahres 1977 sind deshalb neue Projekte aufgetaucht für den Bau von Flusskraftwerken im Rhein auf der Strecke von Ems bis nach Fläsch, eventuell bis zur Grenze Liechtenstein—Vorarlberg oder gar bis nach Oberriet. Die zur Diskussion gestellten Anlagen würden den Wasserspiegel im Rheinbett oberhalb der

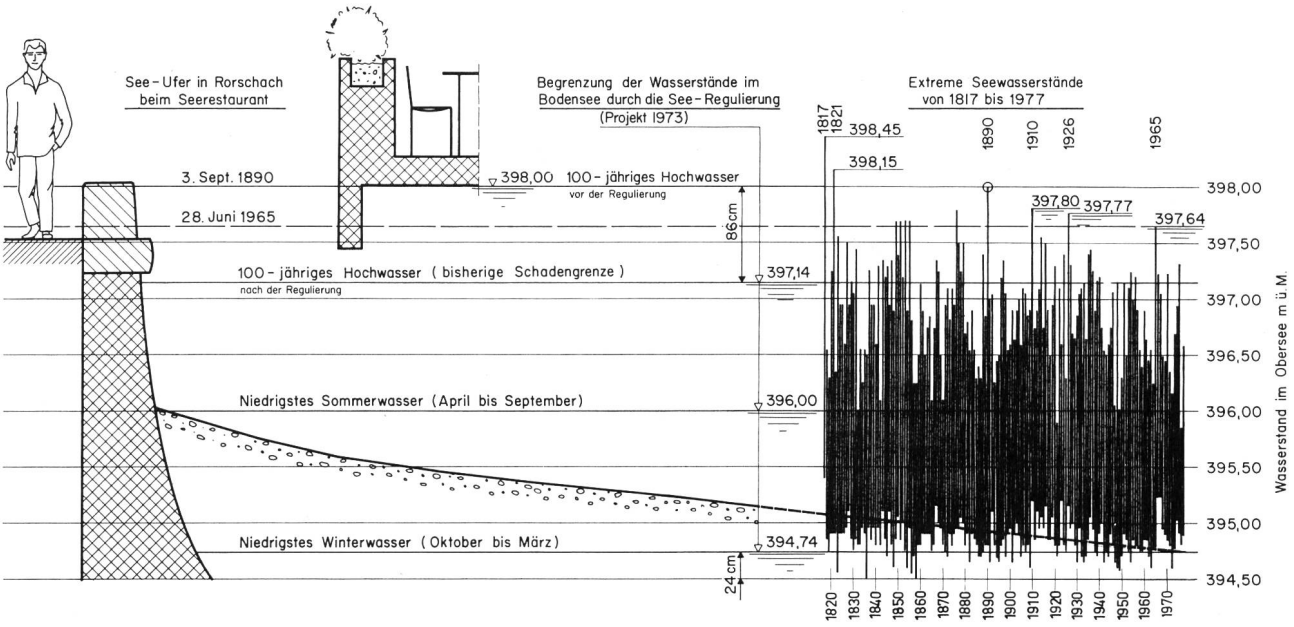


Bild 5.19. Die Wasserstände im Bodensee (Obersee) vor und nach der Regulierung gemäss Projekt 1973 des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft.

Dieses Projekt sieht vor, die Wasserstände im Obersee wie folgt zu ändern: Absenken der höchsten, im Zeitraum von 100 Jahren wahrscheinlichen Hochwasserspiegel von 398,00 m ü. M. um 86 cm auf die bisherige Schadengrenze bei 397,14 m ü. M.; Begrenzen der tiefsten Sommerabsenkung vom April bis September auf 396 m ü. M.; Begrenzen der tiefsten Winterabsenkung auf 394,74 m ü. M. Das Projekt wurde den Behörden im Februar 1978 zur weiteren Behandlung übergeben. Neben dem Eidg. Amt für Wasserwirtschaft wirkte ein internationaler technischer Ausschuss mit, in dem vertreten waren: das Eidg. Amt für Wasserwirtschaft; das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien; die Oberste Baubehörde im Bayrischen Staatsministerium des Innern, München; das Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Umwelt, Baden-Württemberg, Stuttgart; das Amt der Vorarlberger Landesregierung, Bregenz; das Baudepartement des Kantons St. Gallen (Rheinbauleitung, Rorschach); das Amt für Umweltschutz und Wasserwirtschaft des Kantons Thurgau, Frauenfeld; das Baudepartement des Kantons Schaffhausen, Schaffhausen; die Wasser- und Schiffahrtsdirektion Südwest, Mainz.

Wehre um einige Meter anheben. Die Folgen für das Grundwasser in der Rheinebene werden in Kapitel 11 behandelt.

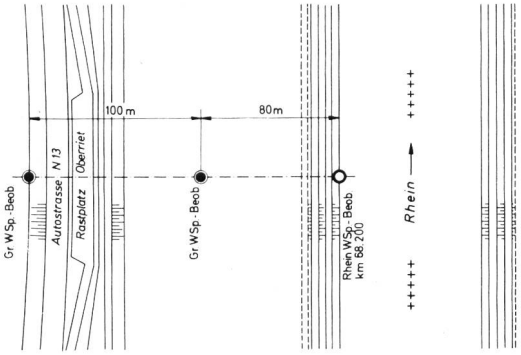
Zur Anpassung der von den Kern- und Flusskraftwerken erzeugten Band-Energie an die rasch wechselnden Bedürfnisse des Konsums werden zunehmend mit Pumpanlagen ausgerüstete Speicherkraftwerke mit grossen Ausbauleistungen benötigt. Im Lugnez, im Prättigau und anderen Seitentälern im Kanton Graubünden sowie im Einzugsgebiet der Ill bestehen Möglichkeiten zur Erstellung solcher Anlagen, und entsprechende Projekte sind in Bearbeitung. Deren Realisierung brächte eine Vergrösserung des Speichervolumens mit einer entsprechenden Erhöhung der Wirkungen auf das Abflussregime des Rheins und auf die Wasserstände im Bodensee (Bild 5.19).

Schon im Jahre 1853 wurde als Bestandteil eines umfassenden Hochwasserschutzes der Rheinebene eine Absenkung der Hochwasserstände im Bodensee verlangt. Das damalige Interesse an einer Bodenseeregulierung wurde begründet durch zwei katastrophale Überschwemmungen in den Jahren 1817 und 1821, bei welchen der Wasserspiegel im Obersee die Kote 380,00 m ü.M. wesentlich über-

Bilder 5.16 und 5.17. Der Einfluss von kurzfristigen Schwankungen der Rheinwasserspiegel auf die Grundwasserstände (Profil bei Oberriet, Rhein km 68,2).

In der Ganglinie der Rheinwasserstände spiegeln sich die Belastungskurven der Speicherkraftwerke wieder. Die ausgeprägten Spitzen am späteren Nachmittag werden von zusätzlichen Erhöhungen der Abflussmenge infolge Schneeschmelze an warmen Tagen überlagert. Diese letzteren wirken sich bis in die Abendstunden aus. Die tiefen Pegelstände von Samstag und Sonntag, 12. und 13. April, können als Folge niedriger Turbinenleistungen und hoher Pumpenleistungen der Pumpspeicherwerke gedeutet werden. Bei Nieder- und Mittelwasser führt der Rhein am frühen Montagmorgen die tiefsten Wasserstände. Diese können bis am Montagabend 60 bis 70 cm ansteigen. Die Wasserspiegelschwankungen im Rhein liegen an den übrigen Wochentagen bei 40 bis 60 cm.

Die Grundwasserstände reagieren unerwartet rasch auf die Schwankungen des Rheins. In 80 m Abstand folgen sie mit 4 bis 6 Stunden Verspätung, in 180 m mit 6 bis 8 Stunden. Im Gebiet des untersuchten Profils besteht der Grundwasserträger aus Kies und ist stark durchlässig.



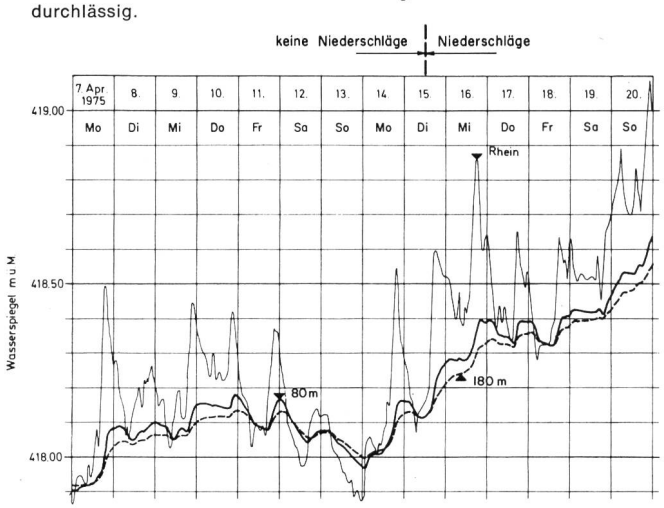


Bild 5.15. Flugaufnahme des Rheindeltas in den Bodensee. Blick gegen Süden. Links im Bild mündet der korrigierte Rhein bei Fussach. Parallel dazu dahinter mündet die Dornbirnerach. Bei St. Margrethen zweigt der alte Rheinlauf ab. Heute führt er das Wasser des Rheintalischen Binnenkanals zum Bodensee; er mündet bei Altenrhein.
Swissair Foto und Vermessungen AG

Direktes Einzugsgebiet der Saisonspeicher
Einzugsgebiet der Zuleitungen
Einzugsgebiet des Ausgleichsbeckens Sufers
RBK Rheintalischer Binnenkanal
WBK Werdenberger Binnenkanal
LBK Liechtensteiner Binnenkanal

Bodensee
Alter Rhein
RBK
Dornbirner Aach
Bregenzer Aach
Frutz
Ill
WBK
LBK
Walensee
Seez
Saar
Tamina
Lünersee
Landquart
Plessur
Landwasser
Vorder-Rhein
Glenner
Rabiusa
Hinter-Rhein
Albula
Julia

Spullersee KW (ÖBB)
1925

Kraftwerke Sarganserland (NOK)
Stausee Gigerwald
30 Mio m³/1967

Vorarlberger Illwerke
Stauseen:
Silvretta 39 Mio m³/1950
Vermunt 5 Mio m³/1931
Kops 44 Mio m³/1966
Lünersee 78 Mio m³/1957

Vorderrhein KW (NOK)
Stauseen:
Curnera 41 Mio m³/1966
Nalps 44 Mio m³/1963
St. Maria 67 Mio m³/1968

Zervreila KW
Stausee Zervreila
127 Mio m³/1957

Julia KW (EW2)
Stausee Marmorera
61 Mio m³/1954

Hinterrhein KW
Stausee Valle di Lei
101 Mio m³/1962
Ausgleichsbecken Sufers
29 Mio m³/1963

Bild 5.20. Im Jahr 1978 in Betrieb stehende Speicheranlagen im Rheineinzugsgebiet.

Für die Verkleinerung von Hochwasserspitzen im Rhein sind nur die schwarz angelegten Einzugsgebiete der Saisonspeicher und — solange Auffangreserven vorhanden sind — auch noch die Ausgleichbecken Sufers, Mapragg und weitere, von Bedeutung.

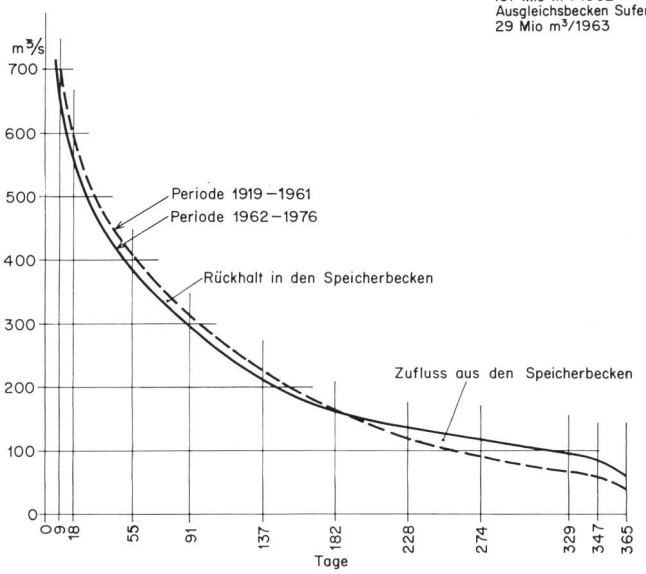


Bild 5.21. Der Einfluss der Speicherbecken auf die Dauerkurve der Abflussmengen; Rhein bei Schmitter.

Der Vergleich zeigt, dass die Abflüsse seit 1962 gegenüber der Messperiode 1919 bis 1961 im Jahresdurchschnitt jeweils während der Hälfte der Zeit kleiner geworden sind, während sie in der übrigen Zeit entsprechend angehoben wurden.

Grössere Monatsmittel sind im Januar, Februar, März, April sowie im November und Dezember zu verzeichnen. Der mittlere Abfluss in diesen sechs Monaten hat sich von 111m³/s um 23 m³/s auf 134 m³/s erhöht, was einem Mehrabfluss von etwa 21 % entspricht.

Der Rückhalt der Speicherbecken vermindert den Abfluss vom Mai bis Oktober um etwa 8 %.

Die Hochwasserspitzen werden nur wenig verkleinert. Mit den seit den Sechzigerjahren in Betrieb genommenen Werken wird sich die hier aufgezeigte Verschiebung noch stärker auswirken, als dies in der Periode 1962 bis 1976 zum Ausdruck kommt.

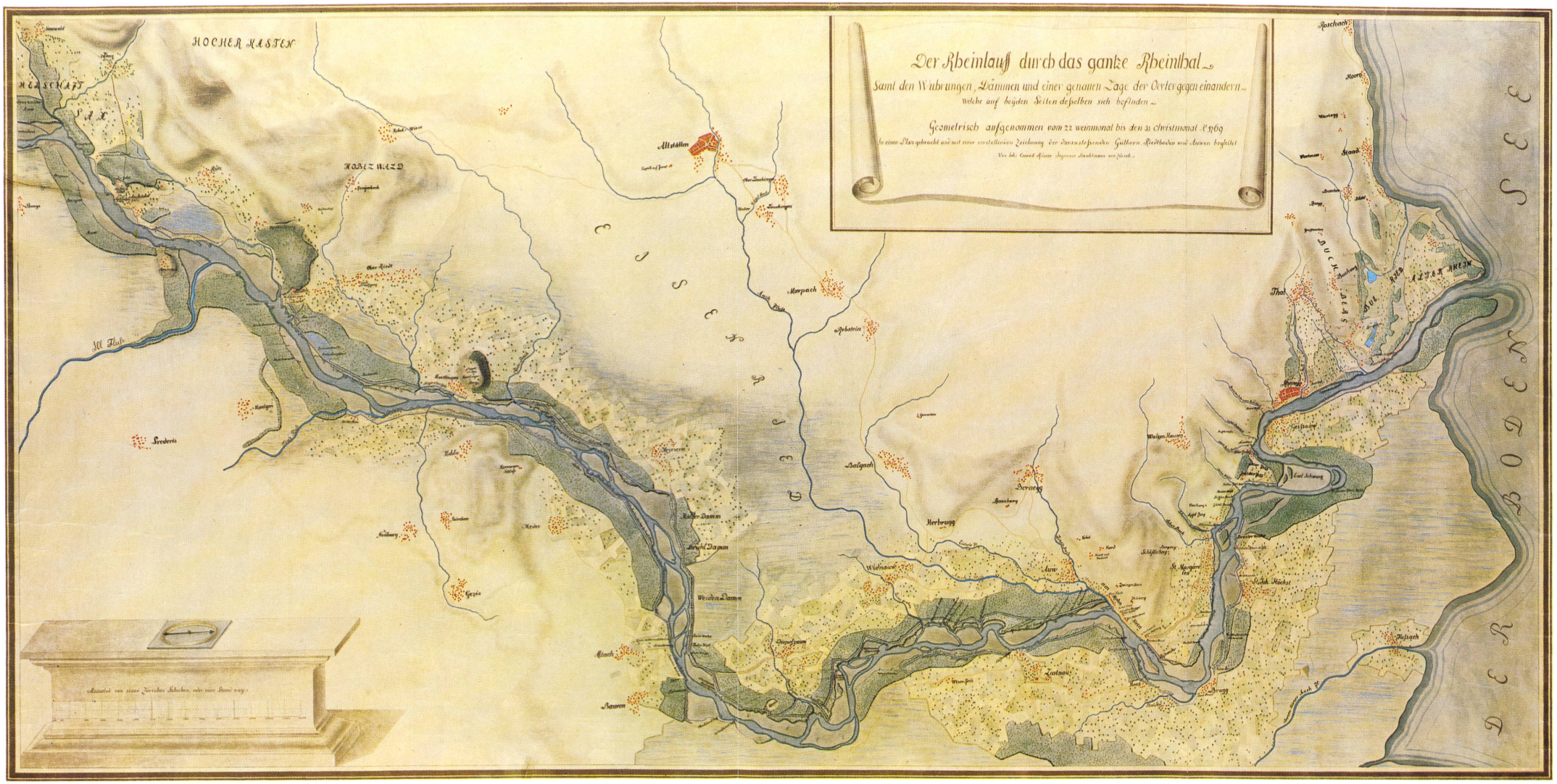


Bild 5.12. Die «Römerkarte» des Rheintals im Abschnitt der Internationalen Rheinregulierung von der Illmündung bis zum Bodensee trägt den Titel: «Der Rheinlauf durch das gantze Rheintal samt den Wuhrungen, Dämmen und einer genauen Lage der Oerter gegen einandern, welche auf beyden Seiten deßelben sich befinden. Geometrisch aufgenommen vom 22. weinmonat bis den 31. christmonat 1769. In einen Plan gebracht und mit einer vorstellenden Zeichnung der daranstoßenden Güthern, Riedtböden und Auwen begleitet. Von Joh. Conrad Römer, Ingenieur Haubtmann von Zürich.»

Als Grundlage dieses Farbdruckes diente eine vor rund 20 Jahren kolorierte Schwarz-Weiss-Heliographie der Römerkarte.

Die linksufrigen, bei jedem Hochwasser überschwemmten Rieter mit den seichten Tümpeln bei Rüthi und Oberriet sind gut erkennbar. Das Eisenriet, einst ein unbegehbares Torf- und Sumpfgebiet, reichte von Altstätten bis an den Rhein bei Kriessern und Diepoldsau und setzte sich rechts des Rheins fort bis zur Dornbirner Aach und an die Ufer des Bodensees. An der Mündung der Dornbirner Aach in den Bodensee lag das Dorf Fussach auf einer Kies-Insel in der damals versumpften und periodisch überschwemmten Seeuferzone.

stieg. Als Ursache dieser hohen Wasserstände wurden Abfluss-Hindernisse im Seerhein bei Konstanz erkannt, die in der Folge entfernt worden sind. Sechs Jahrzehnte später, im September 1890, erreichte der Bodenseewasserspiegel wiederum die Kote 380,00 m ü.M. Weitere, aber nicht mehr so grosse Überschwemmungen folgten in den Jahren 1910 und 1965 mit Wasserständen bis 397,65 im Obersee. Beispielsweise wurden das Bahnhofareal und die Hauptstrasse von Rorschach einige Dezimeter tief unter Wasser gesetzt. Das Hochwassser von 1890 trat im September ein, zu einer Jahreszeit, in der die Kraftwerkspeicher voll sind, was bedeutet, dass eine Wiederholung eines Seewasserstandes von 380,00 auch heute noch als möglich angenommen werden muss. Die dabei entstehenden Schäden wären dabei weit grösser als im Jahre 1890, weil seither in den gefährdeten Uferzonen eine grosse Anzahl von Bauwerken und wertvolle Kulturen entstanden sind.

Ein Seewasserspiegel von 380,00 m ü.M. würde bis weit in die Rheinebene hinauf den Grundwasserspiegel anheben und das Wasser in den Kanalisationen und Ausläufen von Abwasseranlagen zurückstauen. So hohe Seewasserstände könnten somit zu verhängnisvollen Beeinträchtigungen der Qualität sowohl des Grundwassers als auch des Bodenseewassers führen (Bild 5.4 und 5.7).

Mit dem Ziel einer endgültigen Bannung dieser letzten Überschwemmungsgefahr im Einflussgebiet des Alpenrheins wurden verschiedene Projekte erstellt, im Jahr 1923 durch den nachmaligen Bundesrat *Dr. K. Kobelt,* in den Jahren 1957 bis 1963 durch die Firma Locher & Cie AG in Zürich und 1970 bis 1978 durch das Eidgenössische Amt für Wasserwirtschaft. Alle Projekte sehen eine Begrenzung der Hochwasserstände im Obersee auf der Kote 397,14 m ü.M. vor, was einer Absenkung des heute noch gültigen hundertjährigen Hochwasserstandes im Bodensee von 398,00 m ü. M. um 86 cm entsprechen würde.

Eine Realisierung des neuesten Projektes für die Regulierung der Wasserstände im Bodensee brächte neben der Verhinderung von Überschwemmungen der Uferzone zahlreiche weitere wasserwirtschaftliche Vorteile, die unter Umständen wirtschaftliche Interessen wecken könnten für Investitionen zur Modernisierung und zum Endausbau der Wasserkraftanlagen im Rhein unterhalb des Bodensees.

6. Untersuchungen in den einzelnen Talabschnitten

Eugen Weber (Abschnitte 6.1. bis 6.10.) und Hermann Loacker (Abschnitt 6.11.)

Im Nachstehenden werden die geologischen und hydrologischen Gegebenheiten der einzelnen Talabschnitte dargestellt und die Zusammensetzung der Talbeckenfüllungen beschrieben.

6.1. Domleschg-Heinzenberg

Die äussere Felsumrandung des Domleschger Taltroges wird aufgebaut durch penninische Bündnerschiefer und Flyschserien der Aduladecke. Das Becken ist ein Isoklinaltal, d. h. die Gesteinsschichten streichen mehr oder weniger parallel zum Talverlauf. In diesen mehrheitlich weichen Gesteinsschichten eingebettet liegt die untertiefte Mulde vom Domleschg. Sie ist etwa 11 km lang, ihre Breite nimmt von etwa 1000 m im Süden auf 500 m im Norden ab. Die Tiefe der Felssohle ist nicht bekannt. Aufgrund theoretischer Talquerprofile kann sie auf 120 bis 140 m geschätzt werden. Dass das Felsbecken nicht einfach mit einer glatten, unprofilierten Wanne verglichen werden kann, zeigen Bohraufschlüsse im Abschnitt Fürstenau-Rodels. Hier, 14 m unter der Alluvialoberfläche, liegt eine Felsterrasse, die rund 80 m vom Talhang in das Becken vorspringt. Der südliche Beckenabschluss liegt an der Ausmündung der Schyn- und Viamalaschlucht. Bei beiden Schluchtausgängen fliessen die Albula und der Hinterrhein je über eine Felsschwelle ins Domleschgerbecken aus. Da die beiden Bekkeneinläufe etwa 2,5 km auseinanderliegen, muss die südliche Beckenflanke durch ein starkes fluviatiles Relief geprägt sein. Den vorderen Beckenabschluss würde man beim Reichenauer Bergsturz erwarten. Genauere Untersuchungen haben gezeigt, dass unmittelbar südlich der Talstation der Seilbahn Rhäzüns-Feldis beidseits des Rheins Bündnerschieferfels ansteht. Obwohl zwischen den beiden Felsflanken auf eine Breite von 200 m Rheinschotter einen Einblick in die Felsunterlage verwehren, darf der nördliche Beckenabschluss im unmittelbaren Bereich dieser Talverengung angenommen werden. Wie wir unter 6.2. sehen werden, liegt die Felsschwelle gegen 50 m tief unter dem heutigen Rheinbett.

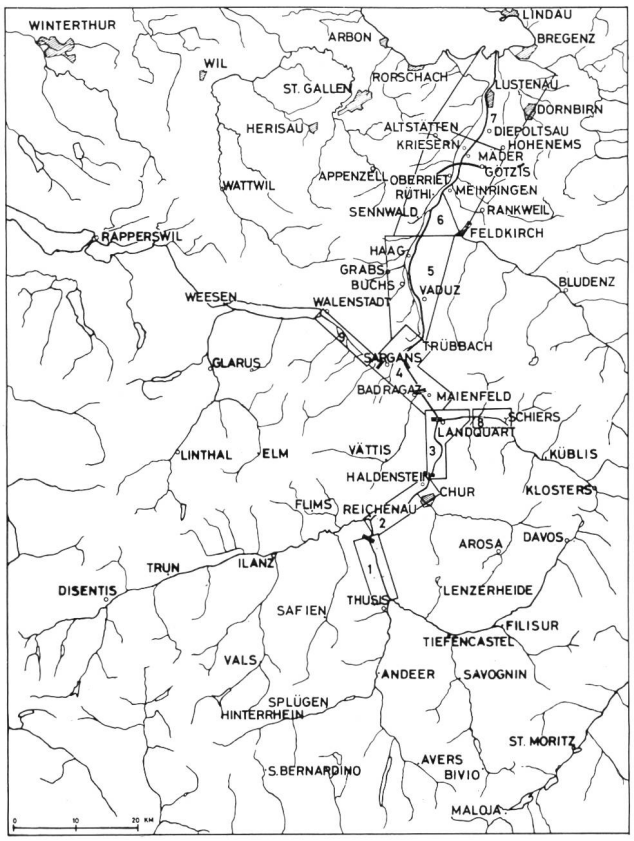


Bild 6.1. Übersicht über das Rheintal mit Kartenzeiger der Isohypsenkarten 5 : 50 000 (Faltbeilagen nach Seite 150).

Blatt 1: Sils i. D. — Rothenbrunnen, Domleschg
Blatt 2: Reichenau — Haldenstein
Blatt 3: Trimmis — Landquart
Blatt 4: Maienfeld — Sargans
Blatt 5: Sevelen — Haag, Balzers — Bendern
Blatt 6: Haag — Montlingen, Bendern — Meiningen — Mäder
Blatt 7: Kriessern — Au
Blatt 8: Prättigau: Schiers — Grüsch (1:25 000)
Blatt 9: Mels — Walensee — Seeztal

Von den Oberflächengewässern, die dem Domleschg zufliessen, dominieren Albula und Hinterrhein nach Wassermenge und Geschiebeführung. Ihre weit von Südwesten bis Osten ausgreifenden Einzugsgebiete bringen nach Herkunft und Form ein vielfältiges Geschiebe, vom Feinsand bis zu gröbsten Geröllen. Diese Ablagerungen im Domleschgerbecken eignen sich vorzüglich als Grundwasserspeicher.

Die Ablagerungen der Seitenbäche mit ihren Einzugsgebieten in den mehrheitlich tonhaltigen Bünderschiefern sind wenig geeignet als gute, durchlässige Grundwasserspeicher. Von links fliessen dem Becken die Nolla zu, sie bringt den berühmten Nollaschlamm, und nördlich davon der Caznerbach, dessen Einzugsgebiet in der Sackung vom Heinzenberg liegt. Der Caznerbach hat einen breiten, rund 900 m langen Schuttkegel in und über die Alluvionen der Talebene vorgeschoben. Auf der rechten Talseite münden zwischen Fürstenaubruck und Paspels vier Bäche in die Talebene. Die Hauptmasse des Bachschuttes wird auf der Domleschgerterrasse abgelagert und nur geringe Mengen gelangen bis ins Tal. Dagegen führt der nördlichste Zufluss von Bedeutung, der Tomilserbach, sein Geschiebe direkt zur Talebene.

Über die Zusammensetzung der Talbeckenfüllung stehen folgende Unterlagen zur Verfügung:

— Vom Amt für Gewässerschutz Graubünden 37 Bohrungen mit versetzten 5"-Piezometern, angeordnet in 14 Talquerprofilen. Die Bohrtiefen betrugen um 20 m.

— 8 Bohrungen mit Piezometern und 4 Grundwasserpumpwerke.

— Die Bohrung 5 D im Grundwasserprofil 5, Tiefe 40 m, linksrheinisch auf der Höhe von Cazis, 150 m westlich des Rheinbordes.

— Die Bohrung 9 C, rechtsrheinisch, 300 m südsüdwestlich von Pardisla (Pt. 668), 100 m östlich des Rheinbordes, Tiefe 50 m.

Die tiefen Bohrungen haben also den Felsuntergrund nicht erreicht. Wir wissen über die obersten 20 m gut Bescheid, bis in 40 m Tiefe geben uns nur zwei Bohraufschlüsse Auskunft, während der tiefere Beckenkörper unbekannt ist. Immerhin erlauben es die Bohrresultate und die ermittelten *k*-Werte in den produktiven Grundwasserzonen ein einigermassen gültiges Normalprofil aufzustellen.

Das Normalprofil für die obersten 40 m im Domleschgerbecken zeigt, dass wir es bis in rund 20 m Tiefe mit einer normalen Alluvialschicht zu tun haben, in der zwei gut durchlässige Grundwasserhorizonte vorhanden sind. Darunter folgt eine hartgelagerte graue Schicht mit vorwiegend feinen Komponenten. Die Vermutung liegt nahe, dass es sich um einen alten Talboden handelt. Abwärts folgt eine gut erkennbare Grundmoräne (Grundwasserstauer), die weitgehend undurchlässig ist. Der erschlossene Rest bis 40 m ist eine wilde, unüberschaubare Wechsellagerung von fluviatil terrestrischen und fluvioglazialen Ablagerungen. Die angetroffenen Verhältnisse geben zu folgenden Fragen Anlass:

— Warum wurde beim Durchstossen der Grundmoräne kein gespanntes Wasser im tieferen Beckenteil angetroffen? Bedeutet dies, dass die Moräne lückenlos an die Bekkenwände anschliesst, so dass auch im Bereich der randlichen Schuttkegel kein Wasser in den tieferen Beckenteil eindringen kann? Oder aber liegt der nördliche Beckenausgang tiefer als die Unterfläche der Grundmoräne und kann sich das ganze Becken weitgehend entleeren? Im Abschnitt 6.2. werden wir nochmals auf diese Frage zurückkommen.

— Ist die hartgelagerte graue Schicht in rund 20 m Tiefe ein alter Talboden? Bei Undrau und auf der rechten Rheinseite bei Pardisla und bei der Station Rodels liegen Felstrümmer, die zum Bergsturz von Reichenau gehören. Bohrungen haben ergeben, dass diese Bergsturztrümmer mit ihrer Unterfläche auf dem vermuteten Talboden aufliegen. Damit dürfte diese Frage zu bejahen sein.

— Hatte sich nach dem Niedergang der Reichenau Bergsturzmassen im Domleschg ein See gebildet? In keiner Bohrung und in keinem Aufschluss rund um das Becken wie auch darin konnten Anzeichen festgestellt werden, die auf eine Seeablagerung hindeuten. Ein See müsste mindestens das Niveau der heutigen Ebene von Rhäzüns-Bonaduz erreicht haben (etwa die Kote 660 m ü. M.). Bei Unterrealta findet sich eine Schotterterrasse in ähnlicher Höhenlage. Es sind Flussschotter. Entweder sie gehören einer alten, höheren Talebene an, oder es sind fluviatile Ablagerungen in das nördlichste Seebecken? Auch dieser Frage wird im Abschnitt 6.2. nachgegangen.

Werfen wir einen Blick auf die chemisch-bakteriologischen Untersuchungsresultate. Das Domleschgerwasser ist ein mittelhartes bis ziemlich hartes Wasser, es ist frei von schädlichen Eisen und Mangan-Zusätzen; der Sauerstoffgehalt ist befriedigend bis gut; der pH-Wert fällt nur beim Pumpwerk Rothenbrunnen knapp unter die 7,0-Grenze (vermutlich Spuren von Mineralwasserzusatz); der bakteriologische Befund ist in Ordnung. Das Grundwasser ist also von guter Qualität.

Wie wir festgestellt haben, kann aus den obersten 20 m der Alluvialebene ein qualitativ wie quantitativ gutes Grundwasser gefördert werden. In der schmalen Talsohle, flankiert von steilen, wenig Erosionswiderstand aufweisenden Talflanken, wurde der Sedimentationszyklus immer wieder unterbrochen, so dass die Kies-Sand-Schichten, die guten Grundwasserträger, in ihrer Mächtigkeit stark schwanken. Beim Setzen der Brunnenfilter ist daher der Aufteilung von Filter- und Vollwandstrecken Beachtung zu schenken. Die grundwasserhöffigsten Talabschnitte im Becken Domleschg-Heinzenberg sind: die Alluvialebene Sils i. D—Thusis bis zum Zusammenfluss von Albula und Hinterrhein; die rechte Rheinseite von Fürstenaubruck bis Pardisla mit Ausnahme der Bachschuttkegel; die linke Rheinseite von Realta bis zur Zentrale der Kraftwerke Zervreila; die Ebene von Rothenbrunnen nördlich des Schuttfächers des Tomilserbaches bis zum Felssporn von Nieder-Juvalta; westlich vom Hinterrhein die Ebene von Isla. Es ist aber auch in den Randgebieten der Schuttfächer möglich, ein qualitativ gutes Grundwasser zu fördern, sofern nicht zu grosse Mengen erwartet werden. Grosse Teile der Ebene auf der Seite

Normalprofil für die obersten 40 m im Domleschgerbecken

Tiefe ab Terrain		k-Wert m/s
0 — 1,5 m	Nollaton (Kolmatierung)	10^{-5} bis 10^{-6}
1,5— 8,0 m	Sand, Fein- und Grobkies, Steine bis 20 cm Durchmesser. Gerölle verschiedener Herkunft, u. a. Kristallin	10^{-3}
8,0— 9,0 m	Leicht verlehmter Sand und Kies	10^{-4}
9,0—16,0 m	Sand mit gut gerundetem Kies und Steinen bis 15 cm Durchmesser	10^{-3}
16,0—19,0 m	Stark tonig-siltiger Sand und Kies	10^{-4} bis 10^{-5}
19,0—25,0 m	Grauer toniger Silt, Feinsand und Feinkies, hart gelagert	10^{-6}
25,0—35,0 m	Gelber toniger Silt, Geschiebe von Moräne bis 40 cm Durchmesser. Grundwasserstauer!	10^{-5} bis 10^{-6}
35,0—40,0 m	Viel toniger Silt, Linsen von Sand und Kies, hartgelagert	10^{-5}

Zusammenstellung der Analysenwerte des Grundwassers im Grundwasserbecken Domleschg-Heinzenberg (Dez. 1975)

Entnahmestelle	Gesamthärte fH °	Eisen Fe mg/l	Mangan Mn mg/l	Sauerstoff-sättigung %	pH-Wert	Bakteriologischer Befund ±
Thusis, Pumpwerk	11,4	< 0,01	< 0,1	—	—	+
Sils, Pumpwerk	22,1	0,02	< 0,1	76,0	7,4	+
Cazis, Rohr 3 A	26,5	< 0,01	< 0,1	100,0	7,35	+
Cazis, Rohr 5 B	19,5	< 0,01	< 0,1	84,5	7,52	+
Pratval, Rohr 5 C	27,0	< 0,01	< 0,1	90,2	7,21	+
Anstalt Realta, Rohr 7 B	24,7	< 0,01	< 0,1	100,0	7,24	+
Anstalt Realta, Rohr 8 B	24,0	< 0,01	< 0,1	54,9	7,26	+
Paspels, Rohr 9 C	24,2	< 0,01	< 0,1	68,1	7,34	+
Paspels, Rohr 10 B	23,5	< 0,01	< 0,1	75,8	7,45	+
Unterrealta, Rohr 9 D	29,0	< 0,01	< 0,1	77,2	7,17	+
Unterrealta, Rohr 11 A	26,5	< 0,01	< 0,1	61,3	7,32	+
Rothenbrunnen, Pumpwerk	23,0	< 0,01	< 0,1	58,0	6,85	+

Heinzenberg sind mit einer Schicht von 1 bis 2 m Nollaschlamm bedeckt (Kolmatierung). Dieser feine, tonige, dichte Schlamm schützt das Grundwasser gegen Verunreinigungen von der Oberfläche her. In der Nähe von Wasserfassungen sollte diese Nollatonschicht erhalten bleiben. Das vorstehend beschriebene Grundwasserbecken von Domleschg-Heinzenberg unterscheidet sich insofern von allen talabwärts folgenden Becken, als ihm kein echtes Grundwasser zufliesst. Dieses Becken wird vorwiegend gespeist von Infiltrationsgrundwasser, das im Raum Thusis-Sils aus Hinterrhein und Albula stammt, und das im mittleren und unteren Teil des Beckens aus Hinterrhein und den Seitenbächen infiltriert. Dieses Infiltrationsgrundwasser wird auf seinem Weg nach Norden zu echtem Grundwasser und fliesst als solches demjenigen des Bergsturzgebietes von Reichenau zu.

Es ist auch auf die Mineralquellen von Rothenbrunnen und Rhäzüns hinzuweisen. Es gibt vermutlich noch mehrere Quellaustritte, die als randliche Felsquellen oder aus der Beckentiefe aufsteigen. Bei Bohrungen im Talabschnitt Rothenbrunnen-Zentrale EW Zürich können immer wieder Hinweise auf Mineralwasser im Talgrundwasser festgestellt werden, wie beispielsweise die pH-Werte der Grundwasserfassung Rothenbrunnen. Der Ertrag der Mineralquellen hängt direkt mit der Höhe des Grundwasserspiegels zusammen, indem bei hohem Grundwasserstand der Quellertrag ansteigt, ohne dass aber eine Vermischung mit dem Grundwasser beim Quellaustritt festgestellt werden kann. Das Mineralwasser ist ein Calzium-Natron-Hydrogenkarbonat-Sulfat-Säuerling, es ist 16,5 °C warm.

6.2. Das Bergsturzgebiet von Reichenau

Der Bergsturz von Reichenau nimmt sich neben dem westlich anschliessenden Flimser Bergsturz mit seinem Volumen von rund 12 000 Millionen m³ recht bescheiden aus. Dennoch geben die Sturzbahnen und Ablagerungsräume von Reichenau weit grössere Probleme auf. Drei Generationen von Geologen und in neuerer Zeit auch Geophysiker haben sich mit seinem Sturzmechanismus befasst. Eine befriedigende Antwort über den Ablauf der Ereignisse vom Abbruch bis zur Ablagerung der Gesteinsmassen wurde noch nicht gefunden. Es sind vor allem die aus Triaströmmergestein bestehenden Bergsturzkegel von Rodels und Pardisla, die 11 bzw. 9 km vom Abrissgebiet entfernt zur Ablagerung kamen. Die Achse der Talverengung zwischen Rothenbrunnen und Bonaduz zielt nicht in die grosse Ausbruchnische von Kunkels-Süd sondern westlich in die Gegend von Munt und Maliens. Dadurch ergibt sich eine sehr flache Sturzbahn, liegen doch die Triasschichten sehr tief am Hang. Nach Prof. *W. Gansser* handelt es sich aufgrund der Metamorphose der Gesteine im Domleschg nicht um solche aus dem Bergsturzgebiet. Der Erklärungen dieser Tatsachen sind viele, von Flutkatastrophen als Transportmotor, über Gleitungen auf noch vorhandenem Gletschereis im vorderen Domleschg oder auf Permafrost, bis zur Vermutung, es handle sich um verschleppte helvetische Relikte aus der Überschiebungszone zum hangenden Penninikum. Es ist hier nicht der Ort, über all die möglichen Erklärungen zu philosophieren. Die Ausbruchnische aus den hier talfallenden und unterschnittenen Schichten reicht von Trin bis über Felsberg hinaus. Ihre grösste Höhe und Tiefe erreicht diese Ausbruchnische am Säsagit 2003 m und Silberegg 1800 m. Aus der 2 km langen und 1 km breiten Abrissnische ergiesst sich nach SSE über Tamins — Ils Aults ein 3 km langer und 2 km breiter Trümmerrücken. Hier liegt die Hauptmasse des Bergsturzes von Reichenau, ein Trümmerhaufen mit vorwiegend Malmkalken. Der vereinigte Rhein hat sich unterhalb Reichenau rund 180 m tief eingeschnitten. Die Bergsturzunterlage in der Talsohle ist nicht aufgeschlossen.

Auch das Alter des Bergsturzes von Reichenau ist umstritten. Unseres Erachtens fällt dieses Ereignis in die Zeit nach dem letzten grossen Gletschervorstoss (Würm). Einzelne Partien der Bergsturzoberfläche zeigen deutliche Spuren von Moränen, vermutlich Grundmoränen. Es dürfte sich um einen lokalen Gletschervorstoss am Ende der Eiszeit handeln, der bis Chur gereicht hat, denn auch jene Bergsturzhaufen zeigen einen, wenn auch geringen Moränenüberzug an (viele Autoren, *W. Staub, J. Oberholzer, Alb. Heim).*

Der Vorderrhein und der Vereinigte Rhein bahnten sich ihren Weg talwärts durch die Bergsturzmassen von Flims und Reichenau. Die Verhältnisse am Hinterrhein liegen wesentlich anders. Von Reichenau aufwärts begleiten am rechten Rheinbord die Bergsturzmassen der Ausläufer von Ils Aults bis Plong Leula den Fluss.

Dann folgen in unregelmässigen Abständen von mehreren 100 m z. T. riesige Gesteinspakete von helvetischem Habitus. Vereinzelt tauchen sie auch aus der Alluvialebene von Rhäzüns — Bonaduz hervor. Es sind dies auf der rechten Rheinseite, um nur die wichtigsten Vorkommen zu erwähnen: Malmkalke bei Pt. 658 gegenüber Plazzas; Taminser Kristallin am und im heutigen Rheinbett ca. 500 m von Pt. 658; Trias und Dogger des Hügels von Pardisla; Trias bei der Station Rodels. Auf der linken Rheinseite: Dogger südlich Isla Pt. 649; Kristallinschollen von Plazzas; Dogger und Trias von Sogn Gieri; Malmwand unterhalb Pt. 664 ca. 300 m südlich Sogn Gieri; Malmsporn vom Schloss Rhäzüns; Ebene und Steilbord von Undrau. Alle diese Felsmassen stehen isoliert und haben keine Ver-

bindung untereinander. Wir können also annehmen, dass dem Hinterrhein auf seinem Weg nach Norden durch die Bergsturzrelikte keine durchgängigen Barrieren entgegenstanden, und dass im Raum Rhäzüns — Reichenau ein See vorhanden war. Die Nähe des zurückweichenden Gletschers und die ungeheure Schmelzwasserflut mit ihrem fluvioglazialen Geschiebe haben, in verschiedene Arme aufgeteilt, von Nieder-Juvalta bis Reichenau die Lücken zwischen den verstreut daliegenden Bergsturzmassen mit Stauschottern aufgefüllt und so die Ebenen von Undrau, Rhäzüns und Bonaduz bis Reichenau angelegt.

Diese Stauschotter sind vorwiegend Ablagerungen von Feinsand, Sand und Feinkies, eine Sedimentzusammensetzung, die einer Ablagerung in stehendes oder nur langsam fliessendes Wasser entspricht. Sicher wurde diese Sedimentation mindestens einmal durch einen lokalen Gletschervorstoss unterbrochen. Die ganze Stauschotterablagerung ist als dicht zu bezeichnen, sicher kein Grundwasserträger.

Unter 6.1. haben wir festgestellt, dass oberhalb der Schwelle südlich der Seilbahnstation Rhäzüns, die das Becken Domleschg-Heinzenberg abschliesst, ein oberes Grundwasservorkommen bis in etwa 20 m Tiefe vorhanden ist. Da auch das heutige Rheinbett nördlich der Schwelle mit dichten Stauschottern unterlagert ist, muss dieses Grundwasser in den Hinterrhein ausfliessen, oder aber es müsste sich einen Weg nach Nordosten unter dem Bergsturztrümmerhaufen von Ils Aults hindurch suchen. Wenn letzteres zutreffen würde, müsste die Moräne im Domleschger-Becken, die den oberen und unteren Grundwasserträger trennt, auch auf der Ostseite der Bergsturzhügel von Ils Aults vorhanden sein. Bohrungen im Raum Vogelsang — Emser-Werke zeigen eindeutig, dass dies nicht der Fall ist. Die Vermutung liegt nahe, dass dieses obere Grundwasser des Domleschgs in den Rhein ausläuft, ein gewisser Grundwasseranteil in die Tiefe absinkt und sich mit dem unteren Grundwasser vereinigt, dort, wo die trennende Moräne auskeilt. Nach Bohrungen beidseits des Rheins im Gebiet von Plazzas dürfte dies bereits oberhalb dieses Engnisses stattfinden.

Zur Frage nach der Untergrenze des Bergsturzes ist folgendes auszuführen: Im Bergsturzgebiet nördlich Sogn Gieri bei Rhäzüns geben uns 16 Bohrungen einen Einblick in die Lockergesteine der oberen Ablagerungen. 8 Bohrungen haben die Basis der Stauschotter oder diejenige des Bergsturzes durchfahren. Die Untergrenze der Stauschotter und diejenige des Bergsturzes liegen auf einem alten Alluvialboden. In der Achse Vorderrhein—Vereinigter Rhein dürfte er bei Kote 575 m ü. M. liegen, auf der Höhe von Rhäzüns auf Kote 595 m ü. M. Die alte Talebene, auf die der Bergsturz von Reichenau zur Ablagerung kam, hatte von Rhäzüns in Richtung Reichenau ein Gefälle von rund 0,66 %. Auch von Westen nach Osten, entlang der Vorderrhein-Rheinlinie, besteht ein Gefälle von West nach Ost, doch ist nach Ems zu kein alter Talboden mehr festzustellen, obwohl wir wissen, dass die verschiedenen Tuma in rund 25 m Tiefe auf dem Alluvialboden aufliegen.

Die wichtigsten Resultate der vorstehenden Ausführungen im Hinblick auf unsere Grundwasseruntersuchungen im Gebiet des Bergsturzes von Reichenau sind:

1. Der von einer Moräne gebildete alte Talboden im Domleschg, der das Grundwasser in zwei Stockwerke trennt, reicht im Norden nur bis in die Gegend südlich von Plazzas. Ein Teil des hochgelegenen Domleschger Grundwassers fliesst in den Hinterrhein, ein Teil sickert in den unteren, nun einzigen Grundwasserträger. Dieser im Domleschg noch tiefliegende Grundwasserträger hat also nach Norden ins Bergsturzgebiet einen freien Durchfluss, weshalb bei den Bohrungen im Domleschg auch kein gespanntes Grundwasser vorhanden war (Antwort auf Frage unter 6.1.).

2. Bei allen 8 Bohrungen, die den Kontakt Bergsturz-Stauschotter (oben) zu altem Alluvialboden (unten) erschlossen, wurden grundwasserhaltige Alluvionen angetroffen.

3. Sämtliche Rheinläufe liegen höher als der alte Talboden, auf den der Reichenauer Bergsturz niederging. Deshalb finden sich auch keine Grundwasseraustritte in die Rheinläufe.

Welchen Anteil hat nun der Vorderrhein am Grundwasserhaushalt im Bergsturzgebiet von Reichenau? Der Bergsturz von Flims hat eine ganz andere Dimension als derjenige von Reichenau. Ob vor dem Niedergang des Flimser Sturzes eine Talsohle im Bereich der heutigen Versamerschlucht vorhanden war, wissen wir nicht. Da der anstehende Fels auf der Südseite bis nahe des heutigen Rheinlaufes vorstösst, müsste ein Grundwasserträger auf der Nordseite zu suchen sein. Betrachtet man die z. T. noch zusammenhängenden Felsmassen, in denen die Tunnels der Rhätischen Bahn, RhB, liegen, gelangt man zur Feststellung, dass es wohl Gleitmassen sind, die sich aber nur über kurze Distanzen talwärts bewegt haben können. Die Wucht der mechanischen Beanspruchung hatte ein derartiges Ausmass erreicht, dass ein vorhandener Grundwasserträger zerstört werden musste.

Erst nach der Ruine Wackenau wird das rechte Rheinbord frei zur Infiltration von Rheinwasser in die nördliche Ebene von Bonaduz. Für die linke Seite bleibt nur noch ein kleiner Abschnitt vom Lawoi Tobel bis zum Zusammenfluss mit dem Hinterrhein. Der Zufluss von Grundwasser aus dem Vorderrhein in das Becken vom Bergsturzgebiet Reichenau muss als bescheiden angenommen werden, dies um so mehr, als vom Domleschger Grundwasserstrom ein ständiger Überdruck nach Norden und Nordosten bestand und heute noch besteht.

Anstatt von der Ausbreitung des nutzbaren Grundwassers im Bereich des Bergsturzgebietes von Reichenau zu sprechen, ziehen wir es vor, aufzuzählen, wo kein solches Grundwasser vorhanden ist. Es sind die Bergsturzrelikte und die Stauschotter, die in diesem Gebiet *kein* verwertbares Grundwasser führen. Beide reichen nur bis in eine bestimmte Tiefe und werden vom Talgrundwasser unterströmt. Die Gebiete, die sich für eine Grundwassernutzung *nicht* eignen, sind:

1. Alle Flussauen, die vom Talhang bis zum Rhein nur ein schmales Vorland aufweisen. Einschwemmungen vom Hang her, besonders von Feinmaterial aus Moränen und tonigen Bachschuttkegeln, setzen die Durchlässigkeit und Filtrationsfähigkeit des Untergrundes stark herab; es ist kein geordneter Schichtaufbau vorhanden. Dies gilt für das Gebiet rechts des Hinterrheins von Ravetg bis Reichenau (tiefste unterste Alluvialebene). Bestimmt liegt in 20 bis 25 m Tiefe ein guter Grundwasserträger. Immer wieder ist man versucht, die Alluvionen direkt neben dem Hauptgewässer, die ja im Infiltrationsbereich des Flusses liegen, zur Nutzung heranzuziehen.

2. Die unmittelbare Umgebung der Felsen von Sogn Gieri. Hier liegen helvetischer Dogger und Triasschiefer direkt auf den Adula-Bündnerschiefern. Ein Lockergestein, das als Grundwasserträger dienen könnte, fehlt.

3. Südsüdwestlich von Reichenau, am linken Rheinufer, liegt die Ebene von Isla. Hier wurden 4 Bohrungen abgeteuft. Ergiebige Grundwasserträger wurden nicht gefunden. Es wurden wohl einige Kies-Sand-Linsen erschlossen, die jedoch fest in Einschwemmungen von dichtem Silt und

Lehm eingepackt waren (Sedimentation von Hang- und Flussgeschwemmsel). Die *k*-Werte lagen bei nur 10^{-4} bis 10^{-6} m/s.

Zur Beurteilung des Chemismus liegen nur 4 Analysen vor. Drei davon wurden in Rheinnähe gezogen. Sie zeigen ein ziemlich hartes Wasser von 26,5 bis 28,0 fH° und einen erhöhten Mangangehalt bis 0,10 mg/l. Bei Pumpversuchen trübte sich das Wasser leicht. Nur eine Probe bei Isla wurde bakteriologisch untersucht; es wurde Coliverseuchung festgestellt. Eine Bohrung rund 200 m südlich des Kieswerkes Reichenau hat den Grundwasserträger im Becken von Reichenau erschlossen. In chemischer wie in bakteriologischer Hinsicht war das angetroffene Grundwasser einwandfrei.

In 10 bis 15 m Tiefe unter dem Rheinbett aller Flüsse im Bereich des Bergsturzgebietes von Reichenau liegt ein Grundwasserträger von beträchtlicher Höffigkeit, der einen freien Strömungsabgang in das Becken von Domat/Ems-Haldenstein hat. Qualität und Quantität dieses Grundwassers sind in Ordnung, dagegen kann aus den flussnahen Auen und Schwemmböden, in die direkt Rheinwasser infiltriert, weder nach Menge noch Güte ein befriedigendes Nutzwasser entnommen werden. Ein eigentliches oberes Grundwasserstockwerk fehlt. Erschwerend für die Grundwassernutzung wirkt sich hier die Tiefenlage der Grundwasseroberfläche unter Terrain aus. Sie bedingt die Anlage tiefreichender Brunnen und damit hohe Investitionen. Heute wird das Grundwasser aus 2 Pumpbrunnen genutzt. Einer befindet sich in Farsch westlich Reichenau auf der untersten Flussterrasse und bezieht sein Wasser direkt aus den jüngsten Schottern des Vorderrheins. Der zweite liegt beim Anschluss Tamins der N 13, südlich der RhB, bei der Pumpstation der Oleodotto del Reno. Eine dritte Anlage, ein offener Schacht, befindet sich auf dem Areal des Kieswerkes Reichenau, südlich der gleichlautenden Station der RhB.

Abschliessend sei auch noch auf die Zuflüsse von Oberflächengewässern zum Grundwasserbecken Reichenau aufmerksam gemacht. Ausser dem Lawoibach sind alle Hanggewässer als Zuschusswasser in das Grundwasser unbedeutend. Eine Mineralwasserquelle entspringt am rechten Hang südöstlich Plazzas aus dem Flysch. Diese Quelle hat viel Ähnlichkeit mit der Rhäzünser Mineralquelle.

Über die Tiefe des Beckens von Reichenau wissen wir nichts Genaues. Vermutlich beträgt sie nicht über 150 m ab heutigem Terrain. Während der Eiszeit strömten im Gebiet von Reichenau die grossen Gletscher aus dem Rheinwald bis zum Julier/Albula, und vom Tödi über Lukmanier/Medels/Safien zusammen. Dieses Zusammenstossen hat die Eisgeschwindigkeit und damit die Eiserosion gehemmt, so dass erst nach der Vereinigung der Eisströme wieder eine starke Tiefenerosion einsetzte.

6.3. Domat/Ems — Haldenstein

Die 12,5 km lange und 1,6 km breite Beckenmulde wird talaufwärts vom Bergsturzgebiet Reichenau begrenzt, talabwärts vom südlichen Felssporn von Oldis und der rechtseitigen Maschänser-Rüfe. Links flankieren autochthone und parautochthone Gesteine des Aarmassivs das Becken, rechts die vorwiegend schiefrigen Schichten des Prättigauflysches (Adulaflysch). Irgendwo in der Felssohle der Mulde zieht in der Längsachse derselben die grosse Überschiebungsfläche durch, an welcher die Basis des Penninikums über das nördliche Helvetikum überschoben wurde. Die beiden Talflanken sind unterschiedlich: Im Norden das Gebirge des Calanda mit seinen steilen Kalkwänden und Zinnen, die von den Gletschern der Eiszeit unterschnitten wurden und eine starke rupturelle Umwandlung erfahren mussten durch das Anbranden der penninischen Front; im Süden die nach Südost einfallenden, stark tonigen Flyschgesteine, deren Abwitterungsschutt zu Rüfebildungen neigt. Das Gebirge baut sich links in Form von Fels- und Blockstürzen ab, rechts erodieren stark geschiebeführende Rüfen.

Für die Abschätzung der Tiefe des Beckens steht uns auf dem Areal der Schiessanlage Rossboden eine Bohrung von 166 m Tiefe zur Verfügung. In den untersten 15 m wurde hier nur noch Schlemmsand angetroffen. Nach einem konstruierten Talquerprofil und in der Annahme, dass eine Grundmoräne über dem Fels liege, darf eine Beckentiefe von 220 m bis 250 m angenommen werden.

Insgesamt geben uns 52 Bohrungen Aufschluss über die Lockergesteine der Beckenfüllung: 46 Bohrungen mit Tiefen zwischen 15 und 25 m, 2 bis 30 m, 3 bis 40 m und 1 bis 166 m (siehe auch unter Kapitel 9.1., neuere Grundwasseruntersuchungen von R. Gartmann).

Wir dürfen annehmen, dass der sich zurückziehende Rheingletscher über dem Fels eine Grundmoräne zurückgelassen hat. Ein stehendes Gewässer suchte sich seinen Abfluss nach Norden. Ungeheure Mengen von Schmelzwasser brachten vor allem in einer ersten Phase verlehmten Silt und Sand in das Becken, während an den Flanken die Schmelzwässer steile Schuttfächer und sicher auch Felsstürze ablagerten. Es muss angenommen werden, dass diese fluvioglaziale Schüttung einmal von einem Vorstoss des Rheingletschers unterbrochen wurde, was wieder zur Anlage von Moränen führte. Mit jedem Rückzug begann das Spiel der fluvioglazialen Schüttungen von neuem. Je grösser der Abstand zwischen den Gletscherzungen vom Hinterrhein- und Vorderrheintal zum Becken von Ems-Haldenstein wurde, um so grösser wurde der Anteil der fluviatil limnischen Geschiebe.

Wenigstens für den östlichen Beckenteil steht uns die Tiefbohrung vom Rossboden zur Verfügung. Wir beschreiben dieses Profil von oben nach unten und entnehmen dem geologisch-hydrologischen Bericht folgende Daten:

— Unter einer 10 cm mächtigen Humusschicht folgt 4,20 m Kolmatierungsmaterial, bestehend aus 30 % Feinsand und 70 % Silt.

— Von 4,30 bis 7,80 m wurde eine locker gelagerte Kies-Sand-Schicht erschlossen. Eingelagert sind z. T. schlecht gerundete Gerölle bis 15 cm Durchmesser, z. T. aber auch eckige Blöcke bis 30 cm Durchmesser. Diese Felstrümmer bestehen alle aus Malm, Zeugen aus dem Streufächer des einstigen Calandabergsturzes.

— Nach unten schaltet sich eine leicht verkittete, 1,3 m mächtige Kies-Sand-Schicht ein. Die leichte Braunfärbung der Gerölle deutet auf einen alten Grundwasser-Austauschhorizont hin.

— Zwischen 19,10 und 26,00 m wurde festgelagerter Kies und Sand angetroffen, wobei die Gerölle Durchmesser bis 20 cm aufweisen. Die petrographische Zusammensetzung weist darauf hin, dass oberhalb 26 m umgelagerte Alluvionen aus der Talfüllung des Vorder- und Hinterrheins auftreten.

— Von 26 m bis in 120 m Tiefe sind die Kies-Sand-Ablagerungen recht einheitlich. Die Kornverteilung und die Durchlässigkeit schwanken in engen Grenzen. Zwischen 60 und 70 m Tiefe sind die Schichten stellenweise leicht verkittet, und zwischen 83,50 und 83,57 m tritt eine Lehmschicht auf, deren Bedeutung schwer zu interpretieren ist.

Es könnte sich um eine Restablagerung eines eiszeitlichen Gletschervorstosses handeln.

Interessantes haben die petrographischen Untersuchungen an den Geröllen aus diesem Bohrabschnitt ergeben. Während von 120 m aufwärts kristallines Gestein selten ist, nimmt sein Anteil nach oben ständig zu. Erst sind es Puntaiglas, Adula (Vals), Schamser und Mittelbündner Gesteine, weiter oben Kristallin vom Gotthard-Ost, Medelser, Septimer und Rheinwald. Es scheint, dass mit dem Rückzug der Eismassen sich das Einzugsgebiet erweiterte und Material aus höheren und weiter entfernten Lagen antransportiert wurde.

— Von 120 bis 153,20 m folgt eine Kies-Sand-Schicht mit fester Lagerung. Der Sandanteil nimmt nach unten von 40 % auf 65 % zu. Neben Kieskomponenten aus dem Hinter- und Vorderrhein-Einzugsgebiet (zum Hinterrheineinzugsgebiet gehören auch Julia und Albula) treten kristalline Gesteine aus der Silvretta auf. Diese Geröllschüttung aus Osten stammt aus der Zeit, als sich der Rhein auf hohem Niveau nach Norden entwässerte und sich die Urlandquart als östlicher Zufluss ins Becken des oberen Churer Rheintales ergoss. Leider erlaubt das gezogene Bohrgut keinen Schluss auf die Richtung der Deltaschüttung zu. Zwei Hinweise stützen die Annahme einer Schüttung der Landquart in ein stehendes Gewässer: Erstens nimmt die Geröllgrösse von der Tiefbohrung Zizers nach derjenigen vom Rossboden ab (nach dem heutigen Talgefälle sollte es eigentlich umgekehrt sein) und zweitens ist viel Feinsand bis Schluff (Seetone) in diesen rund 33 m vorhanden.

— Ab 153,20 m bis zum Bohrlochende bei 168 m wurde nur noch Schlemmsand erschlossen. Die mikroskopische Untersuchung ergab einen ausserordentlich hohen Anteil an Quarz von 96 %. Die restlichen 4 % setzen sich zusammen aus Amphiboliten, Ophioliten, Prasiniten, Kieselkalken und Ton. Der Schlemmsand wird zu 99 % aus härteren Materialien aufgebaut. Bindiges Material fehlt; dieses wurde während der Ablagerung weitertransportiert. Diese Schichten wurden in mehr oder weniger stehende Gewässer abgelagert.

Die Tiefbohrung vermittelt uns einen guten Einblick in die Zusammensetzung der Rheintal-Alluvionen. Sie hat einen rund 150 m mächtigen, grundwasserführenden Kieskörper nachgewiesen, der von einer quarzsandreichen feinen Sandschicht unterlagert ist.

Die übrigen 51 Bohrungen gestatten einen guten Einblick in die obersten 20 bis 25 m der Beckenfüllung von den Emser-Werken bis Haldenstein. Die wichtigsten Erkenntnisse aus diesen Bohraufschlüssen sind:

— Auf der Calandaseite liegen am Hangfuss steile, durchlässige Schuttkegel, vorwiegend aus Malm- und Kreidekalken. Sie sind durchlässig, und das Grundwasser kann bis zum anstehenden Fels dringen. Von der rechten Talflanke bringen zahlreiche Bäche Schuttkegel mit Flyschgesteinen, die bis in die Alluvialebene vorstossen. Nach der Beckentiefe zu trifft man immer wieder auf eine Wechsellagerung von Hangschutt mit Kies-Sand-Alluvionen. Es handelt sich um eine für die Grundwassernutzung nur wenig geeignete Formation.

— Entlang des Talhanges von Vogelsang-Süd bis zur Valparghera findet sich in den oberen Alluvionen eine Einlagerung von bis zu 5 m Mächtigkeit, die als fetter, gelbgrauer, glazialer Lehm bezeichnet werden muss.

— 80 % der Bohrprofile haben in etwa 20 m Tiefe eine verkittete, hart gelagerte, humöse Einlagerungen aufweisende Kiesschicht erschlossen. Es ist ein alter Talboden, der höhenmässig mit dem alten Talboden im Domleschg zusammenhängt.

— Auf diesem alten Talboden liegen die Tuma, Bergsturzhaufen, die isoliert wie kleine Vulkane von den Emser-Werken bis Chur aus den Alluvionen herausragen. Es sind Erosionsrelikte, meistens von Malmkalk-Bergstürzen vom Calanda stammend. Oft sind diese Tuma überprägt von Moränen, zwei sicher von Grundmoränen überkleistert, Zeugen eines interstadialen Gletschervorstosses. Die grösseren Blöcke in diesen Trümmerhaufen weisen schöne Gletscherschliffspuren auf. 15 grössere Tuma erheben sich 10 bis 80 m hoch zwischen Reichenau und Felsberg, etwa 6 kleinere tauchen unfern Chur durch den Plessurschuttkegel hervor (Lit. *W. Staub).* Es konnte festgestellt werden, dass solche Bergsturzhaufen auch unter der Talebene stecken. Sie sind dicht, und erst in etwa 20 m Tiefe, beim Durchstossen der Auflagefläche, stellt sich im Bohrloch ein Wasserspiegel ein, der höhenmässig dem umgebenden Grundwasserspiegel entspricht. Beim Abschachten besteht Grundbruchgefahr.

— Die obersten 20 bis 30 m des Alluvialbodens zeigen dieselbe Zusammensetzung der Lockergesteine wie wir sie bei der Tiefbohrung kennengelernt haben. Es erstaunt immer wieder, wie unmittelbar nach dem Durchbruch des Rheins durch die Bergsturzmassen von Reichenau das ganze Becken eine einheitliche, ruhige Sedimentation aufweist. Wechsel in den Ablagerungen können nur beobachtet werden nach der Grösse der Kornzusammensetzungen oder der Herkunft der Gerölle. Aufschlüsse, die einen Hinweis auf mögliche Deltaschüttungen geben könnten, fehlen. Im unteren Beckenviertel hat die Plessur einen dominierenden Schuttfächer weit in und über die Alluvialebene rheinwärts vorgeschoben. Dieser bildet den Baugrund, auf dem die Häuser der Stadt Chur zur Hauptsache stehen. Vom Kristallin über Dolomit, Kalk, Tonschiefer und Mergel sind alle Gesteinsarten am Aufbau der Schüttung vertreten. Zahlreiche Bauaufschlüsse und Bohrungen zeigen, dass grosse Teile des Schuttkegels durchlässig sind, und somit Grundwasser vorhanden ist, wenn auch oft nicht in der gewünschten Qualität und Quantität. Die interne Entwässerung erfolgt auf einem höheren Niveau als der Spiegel des Talgrundwassers liegt, in welches es erst in den äusseren Ausläufern des Schuttfächers gelangt. Beidseits der heutigen kanalisierten Plessur liegen Schotter, die ein eigenes Grundwasserregime führen. Es handelt sich um Stauschotter, die als mächtige Ablagerungen die Talterrassen zwischen Lüen und Langwies aufbauen und aus diesen angeschwemmt wurden.

Von Chur zum Beckenabschluss südlich Oldis dreht das Rheintal nach Norden, entsprechend dem periklinalen Schichtfallen am Calanda. Im toten Winkel der Wasserströmung (Hinterwasser) hat sich am Beckenrand nach Masans eine massige Lehmschicht abgesetzt, die früher für eine Ziegelei ausgebeutet wurde. Es handelt sich um fluviatile Einschwemmungen von feinen Partikeln aus den Schuttkegeln der Plessur und der Maschenser Rüfi in ein totes Gewässer. Das Lehmlager ist rund 10 m mächtig.

Rhein und Plessur sind die Hauptzuflüsse in das Becken von Domat-Ems/Haldenstein. Weiter fliessen viele Rüfebäche aus dem südlichen Flyschgebiet zu. Die Zuflüsse aus dem Calanda sind bescheiden. Alle diese Gewässer liefern Infiltrationsgrundwasser.

An echtem Grundwasser haben wir neben dem versickernden Hang-, Schnee- und Regenwasser vor allem den Grundwasserzufluss aus dem Domleschgerbecken unter dem Bergsturz von Reichenau hindurch. Karstwasser aus

Zusammenstellung der Analysenwerte des Grundwassers von Domat/Ems bis Haldenstein

Probenentnahme	Gesamthärte fH °	Eisen Fe mg/l	Mangan Mn mg/l	Sauerstoff-sättigung %	pH-Wert	Bakteriologischer Befund ±
Ems Vogelsang	25,0	< 0,01	< 0,1	47,7	7,15	+
Ems Vogelsang, Rohr I/IE	27,0	< 0,01	< 0,1	93,0	6,97	+
Ems, Rohr I/I a	17,0	< 0,01	< 0,1	54,1	7,19	+
Ems, Rohr I/II C	17,4	< 0,01	< 0,1	74,0	6,9	+
Ems, Rohr I/II B	17,2	< 0,01	< 0,1	77,0	7,0	+
Ems, Rohr I/II A	18,8	< 0,01	< 0,1	70,0	7,0	—
Ems, Pumpwerk (Bagliel), Rohr 2 D	22,4	< 0,01	< 0,1	45,2	6,9	+
Felsberg (Rütenen), Rohr 2 A	23,5	0,06	< 0,1	68,0	—	?
Felsberg (Rütenen), Rohr 3 A	32,0	0,13	< 0,1	45,0	—	?
Ems, Pumpwerk (Ista), Rohr 4 D	23,2	< 0,01	< 0,1	65,5	6,8	+
Ems, RhB-Station (Felsberg), Rohr 4 F	35,5	< 0,01	< 0,1	94,0	7,0	+
Felsberg, Rohr 4 A	23,8	0,08	< 0,1	58,0	—	?
Felsberg, Rohr 5 B	22,8	0,05	< 0,1	57,0	—	?
Felsberg, Rohr 6 B	18,5	0,03	< 0,1	85,0	—	?
Chur, Rohr 7 D	22,7	< 0,01	< 0,1	72,2	6,9	+
Chur, Rohr 7 B	18,5	< 0,01	< 0,1	64,0	7,0	+
Chur, Rohr 9 D	23,5	< 0,01	< 0,1	77,0	7,1	+
Chur, Rohr 9 B	18,4	< 0,01	< 0,1	72,5	7,0	+
Haldenstein, Pumpwerk, 12 B	16,3	< 0,01	< 0,1	93,8	7,10	+

dem Calandagebiet, das auf den kalkigen Hochterrassen des Felsberger und Taminser Älpli versickert, speist das Grundwasser zusätzlich.

Wie die Tabelle der Analysenwerte zeigt, kann allgemein ein gutes bis sehr gutes Grundwasser im Untersuchungsbereich gefördert werden. Allgemein liegt die Gesamthärte hoch. Eisen- und Mangangehalt sind niedrig, ausser bei Felsberg Rütenen. Es ist möglich, dass hier eisenschüssige Malmbrekzie in der Nähe der Fassung lagert. Die Sauerstoffsättigung liegt besonders tief bei den Bohrungen im Raum Felsberg. Probe A aus dem Profil I/II Ems ist bakteriologisch nicht in Ordnung, dagegen sind alle übrigen untersuchten Proben bakteriologisch nicht zu beanstanden.

Die *k*-Werte sind entsprechend der idealen Bodenzusammensetzung sehr gut. Im Talstrich schwanken sie zwischen 10^{-2} und 10^{-3} m/s, gegen den südlichen Beckenrand nimmt die Durchlässigkeit ab auf 10^{-4} bis 10^{-5} m/s, und in den Flyschschuttkegeln auf 10^{-5} bis 10^{-6} m/s. Aus der Ebene von Domat-Ems bis Haldenstein kann ein hochwertiges Grundwasser gewonnen werden. Im Gebiet Felsberg-Rossboden ist der Grundwasserträger rund 150 m mächtig. Ohne Not sollte aus dem Plessurschuttfächer mit seinem oft wechselnden Sedimentationszyklus kein Grundwasser entnommen werden.

6.4. Das Vorderprättigau

Das Grundwasserbecken des Vorderprättigaus ist 6,5 km lang und 400 bis 500 m breit. Es liegt in den Schichten des Prättigauflysches, die von Südwest nach Nordost streichen und mit rund 25 bis 35 ° nach Südosten einfallen. Die Ost-West verlaufende Talmulde wird im Süden begrenzt von den Schichtköpfen, im Norden von den talfallenden Schichtplatten. Die Beckengrenze liegt am Ausgang einer jungen Erosionsschlucht, die von Heid bis zum Fuchsenwinkel reicht. Im Westen mündet der untere Trog in die rund 800 m lange Chlus, der Durchbruch ins Rheintal.

Zur Beurteilung der Beckenfüllung stehen 16 Piezometer, angeordnet in 5 Talquerprofilen, und 2 Pumpwerke zur Verfügung. Diese Aufschlüsse reichen jedoch höchstens bis in eine Tiefe von 25 m. Über die Felstiefe in der Talmulde fehlen Anhaltspunkte; wir schätzen sie auf 80 bis 100 m. An Oberflächengewässern stehen 4 Pegel zur Verfügung.

An beiden Talflanken weisen mächtige Schotterterrassen (mindestens 3 Stadien) auf eine intensive Geschiebeführung der Landquart hin. Es darf angenommen werden, dass dieser Geschiebetransport auch nach dem letzten Gletscherrückzug in das heutige Becken anhielt. Auch die Geschiebeführung der Bäche von der rechten Talseite in den Trog ist enorm. Vor allem der berühmt-berüchtigte Schraubach, aber auch der Taschinasbach, die beide in den Flyschgebieten ihr Einzugsgebiet haben, brachten beträchtliches Geschiebe, das sich im schmalen Taltrog intensiv mit Kies-Sand der Landquart vermischte.

k-Werte von 10^{-4} bis 10^{-6} m/s dürften für den tieferen Bekkenteil die Regel sein.

Die obersten 15 bis 20 m bestehen beidseits der Landquart aus jüngeren Alluvionen, die grundwasserführend sind und *k*-Werte von durchschnittlich 10^{-3} m/s aufweisen.

Die dichten Bachschuttkegel der rechten Talflanke stossen weit in die Talsohle vor. Die heutige Landquart fliesst am linken Beckenrand an verschiedenen Stellen direkt über dem Fels, was auf eine nur untiefe Alluvialschicht hindeutet.

Zur Nutzung empfehlen sich die Gebiete rechts der Landquart, und zwar: oberhalb des Schuttkegels des Schraubaches bis Saneus, ob Grüsch in den Schwellenen und im Sand unmittelbar vor der Einmündung der Landquart in die Chlus.

An chemisch-bakteriologischen Analysen stehen uns 7 repräsentative Untersuchungen zur Verfügung. Es handelt sich um ein mittelhartes bis ziemlich hartes Wasser, das sonst zu keinen Einwendungen Anlass gibt.

Dem Vorderprättigauer Becken fliesst nur wenig echtes Grundwasser zu. Beim Einlauf oberhalb Schiers quert die Landquart eine Felsschwelle, so dass alles Grundwasser aus dem nächst höhergelegenen Trog in das Bett der Landquart austritt. Erst nach dieser Schwelle infiltriert Landquartwasser wieder in die Alluvionen. In der ganzen Schluchtstrecke ist keine Felsschwelle vorhanden. Flussbauten und die Brücke bei Felsenbach sind in Alluvionen fundiert. Die Sohle der Landquart liegt bei der westlichen Ausmündung aus der Chlus gut 50 m höher als die Talsohle des Rheintales. Beim Schüttvorgang des Landquartgeschiebes in das Rheintal müssen wir annehmen, dass die Schüttung im Laufe der Jahrtausende mit der Hebung

Zusammenstellung der Analysenwerte des Grundwassers im Vorderprättigau

Probenentnahme	Gesamthärte fH °	Eisen Fe mg/l	Mangan Mn mg/l	Sauerstoff-sättigung %	pH-Wert	Bakterologischer Befund ±
Grüsch, Rohr 67	24,2	0,05	< 0,1	72,8	7,44	+
Grüsch, Rohr 64	26,0	< 0,01	0,1	49,5	7,26	+
Grüsch, Rohr 63	19,5	0,05	0,1	61,8	7,49	+
Grüsch, Rohr 59	19,0	0,05	0,1	68,6	7,54	+
Schiers-Grüsch, Rohr 56	20,0	0,05	0,1	67,4	7,56	+
Schiers, Rohr 54	16,7	< 0,01	< 0,1	68,0	7,63	+
Schiers, Pumpwerk, Rohr 51 A	15,8	< 0,01	< 0,1	77,0	7,67	+

des Rheintales auch gehoben wurde und heute beträchtlich über der einstigen Schluchtsohle liegt. Die heutige Füllhöhe der Chlusschlucht dürfte 30 bis 40 m betragen. Es darf angenommen werden, dass Grundwasser aus dem Becken des Vorderprättigaus durch den Kieskörper in der Chlusschlucht direkt in den Schuttkegel der Landquart im Rheintal und von dort ins Rheintalgrundwasser gelangt.

6.5. Trimmis — Landquart — Maienfeld

Die Felsflanken, die das Becken von Trimmis — Landquart — Maienfeld begrenzen, sind rechtsseitig auf Flyschgesteinen aufgebaut. Linksseitig bis unmittelbar südlich Mastrils bestehen sie überwiegend aus parautochthonen Kalken und Kalkschiefern, und bis zum unteren, nördlichen Beckenabschluss aus eingewickelten helvetischen Flyschgesteinen. Betrachten wir die topographische Karte oder ein Luftbild des Talabschnittes Trimmis — Maienfeld, so fällt der deutliche Knick des Rheintales bei Landquart auf. Trimmis — Landquart und gerade vorwärts geht's über die alte Rheinspur der Luzisteig und weiter nach Weite/Wartau. Die Wasserscheide der Luzisteig entwässert im Norden nach Balzers, im Süden fliesst das Wasser unterirdisch dem grossen Schuttkegel zwischen Fläsch und Maienfeld zu. Im Gebiet der Taminamündung in den Rhein treffen die beiden Schuttkegel frontal aufeinander und bilden so den nordwestlichen, sichtbaren Beckenabschluss. Der Grundwassertrog Trimmis — Landquart — Maienfeld ist gut 15 km lang und etwa 1,5 km breit.

Der mächtige Schuttfächer der Landquart hat von der Chlus bis gegen die Häuser von Landquart eine Länge von 3,5 km und einen ebensolchen seitlichen Streubereich. Seine Oberfläche fällt mit rund 1,5 % dem Rhein zu. In diesem Schuttkegel liegt ein hochgelegenes Grundwasser, das direkt in das Rheintalgrundwasser infiltriert. Im Kapitel 7 werden wir uns näher mit den Zusammenhängen befassen. An weiteren Zuflüssen von Oberflächengewässern sind auf der linken Talseite ausser dem Cosenzbach bei Untervaz nur unbedeutende Gerinne vorhanden. Auf der rechten Talseite sind es vor allem Rüfibäche, die zur Schnee-

Bild 6.5.1. Der Rhein bei Fläsch, Blick talaufwärts. St. Galler Seite mit Wuhren, die um die Jahrhundertwende erstellt und später erhöht wurden. Der Rhein führt etwa 100 m³/s.

schmelze und bei grossen Niederschlägen beträchtliche Mengen Wasser und Schutt zu Tal bringen. Zwischen Trimmis und Landquart sind es deren 5, und zwischen Landquart und Maienfeld deren 3.

Für den Grundwasserhaushalt im Talbecken spielt die Verkarstung der unteren und oberen Calandadecke eine bedeutende Rolle. Dies ganz besonders zur Zeit der Schneeschmelze und bei grösseren Niederschlägen. Die Malm- und Kreideschichten sind vor allem im Gebiet von Haselboden, südlich der Zementfabrik, bis Hischau, 1 km südlich Mastrils, stark verkarstet. Die Karstkanäle münden nicht auf einen bestimmten Gesteinshorizont an die Oberfläche; das Wasser tritt bis zu 150 m Höhe über der Talsohle aus. Die Wasseraustritte werden in Untervaz als Frangga-Gräben bezeichnet. Diese Karstwasseraustritte setzen schlagartig ein und gehen rasch wieder auf Null zurück, wobei Ergüsse von 3 m^3/s pro Kanal keine Seltenheit sind. Es muss auch angenommen werden, dass an diesem Hang ein tiefliegender Sickerhorizont direkt unter der Talebene in die Alluvionen entwässert. Dafür sprechen einzelne Quellaustritte in der unteren Hangpartie, die ganzjährig fliessen und für die Wasserversorgung genutzt werden.

Am Rand der linken Beckenflanke, 2 km nördlich von Untervaz, treten bei Friewis vier subthermale Quellen aus. Die Temperatur des Wassers beträgt 16,3 °C. Der Stickstoffgehalt ist hoch; Sauerstoff fehlt vollständig. Die grösste Halbtherme entspringt direkt dem Korallenkalk und hat einen minimalen Ertrag von etwa 300 l/s. Die Höhe des Quellaustrittes wird gesteuert durch die Höhe des Grundwasserspiegels. Die oft geäusserte Vermutung, zwischen dieser Halbtherme und der Therme von Pfäfers bestehe ein Zusammenhang, muss aufgrund eingehender Untersuchungen verneint werden.

Ein linksseitiger Zufluss, der Fluppibach, entspringt aus Quellen und zusammenfliessendem Oberflächenwasser in der hochgelegenen Talmulde vom St. Margretenberg und fliesst über Pfäfers—Fluppi dem Ragazer Giessenparksee zu. Dieser kleine See liegt am Südrand des Taminaschuttkegels, der den unteren Beckenabschluss bildet. Er entwässert nicht in die Tamina, die auf dem Schuttkegel und somit zu hoch liegt. Wir müssen annehmen, dass das Seewasser in das darunter liegende Grundwasser versickert. Das Wasser im Giessenparksee wird nur schwach erneuert, und zudem fliesst das Thermalwasser aus den Bädern in den See, welches bei der Einmündung immer noch 32 °C warm ist; die Wasserqualität wird dadurch schlecht.

Der Anteil an echtem Grundwasser liegt im Becken von Trimmis — Landquart — Maienfeld schätzungsweise bei 80 %. Neben Schnee-, Regen- und Hangwasser fliesst, wenn auch in einer schmalen Rinne, Grundwasser aus dem Vorkommen von Domat-Ems/Haldenstein, aus dem Becken Vorderprättigau, und auch Karstwasser in das Becken von Trimmis — Landquart — Maienfeld. Infiltrationsgrundwasser aus den Oberflächengewässern spendet der Rhein, die Landquart, die randlichen Rüfen und Bäche sowie die Mühlbäche von Landquarter Fabriken und Maienfeld.

Es muss noch auf den Anteil von Karstwasser im Beckenabschnitt Trimmis — Landquart hingewiesen werden. Das helvetische Gebirge taucht nach Osten unter das Rheintal ab. Von der Tödikulmination nach Osten kann ein stetes Fallen im gesamten Gebirgskörper beobachtet werden, was einer Längsentwässerung zum Rheintal hin gleichkommt. 1976 wurden am Ostabhang des Calanda zwischen Oldis und Mastrils vom 2. bis 5. November sämtliche Quellen, die Karstwasseraustritte und die Wasseraustritte in den Stollen Mapragg — Saralli der Kraftwerke Sarganserland AG gemessen. Der Erguss aller an und über der Talsohle austretenden Wässer betrug 112 320 m^3/Tag, oder rund 41 Mio m^3/Jahr; eine Wassermenge, die grösser ist, als es dem Einzugsgebiet des Calanda-Ostabfalls entsprechen würde. Zu dieser sichtbar anfallenden Wassermenge fliesst unterhalb der Talsohle bestimmt noch ein zusätzlicher Karst-Zufluss dem Taltrog zu.

Über die Zusammensetzung der Talbeckenfüllung geben uns 76 Bohrungen mit versetzten Piezometerrohren, die in 19 Talprofilen angeordnet sind, sowie 15 Grundwasserfassungen Auskunft. Bei einer Tiefbohrung in den Viertellösern bei Zizers (170 m) wurde der Fels nicht erreicht. Dazu kommen 8 primitive Grundwasserfassungen und 8 Pegel an Oberflächengewässern.

Die Beckentiefe dürfte bei 270 m liegen. Über die Zusammensetzung der Trogfüllung orientieren wir uns am besten am geförderten Bohrgut aus der Bohrung in den Viertellösern bei Zizers, die im Auftrag des Amtes für Gewässerschutz Graubünden abgeteuft wurde.

Standort: Viertellöser, Koordinaten 760.990/201.550

Bodenkote: 524,1 m ü. M.

Die Tiefbohrung Zizers sollte die diluvialen und alluvialen Ablagerungen der Beckenfüllung im Raum Zizers erschliessen und wenn möglich den anstehenden Felsuntergrund anbohren. In 170 m Tiefe blieb die Bohrung im Seeton stecken.

Das Bohrprofil

— Die Deckschicht besteht aus 40 cm Humus und 1,5 m Silt (Kolmatierung), wobei die genaue Abgrenzung schwer zu ermitteln ist.

— Es folgt dann bis —12,50 m eine locker gelagerte Kies- und Sandschicht mit gerundeten Steinen bis 30 cm Durchmesser.

— Die folgenden 13,50 m, ebenfalls in lockerer Lagerung, zeigen eine Abnahme der Gerölle auf 15 cm Durchmesser. Erst zwischen 27,00 und 33,50 m ist eine feste Lagerung festzustellen. Dabei fällt auf, dass die Durchlässigkeit dieser tieferen Schicht sehr gut ist. Wir vermuten bei 27 m Tiefe eine Grenze zwischen älterem und jüngerem Talboden. Juliergranit, Gneise und Sedimentgesteine herrschen vor.

— Zwischen 33,50 und 43,50 m treten vorwiegend Kalke (Calanda) und Kalkschiefer als Gerölle auf. In dieser Ablagerungsperiode scheint kein Zufluss des Rheins über Reichenau abwärts stattgefunden zu haben, oder aber nur mit geringer, nicht geschiebeführender Wassermenge.

— Von 43,50 bis 69,50 m nimmt der Sandanteil von 65 % auf 80 % zu; die Geröllgrösse nimmt von 15 auf 10 cm Durchmesser ab.

— Ab 69,50 m abwärts fällt der Sandanteil wieder auf 55 % ab, steigt dann stetig und erreicht in 109,60 m 85 %. Bis 93 m sind nur Gerölle aus dem Hinterrhein- und Vorderrhein-Einzugsgebiet festzustellen. Ab 93 m treten plötzlich die Komponenten aus dem Silvrettakristallingebiet mit Durchmessern bis zu 20 cm auf.

— Die 12,90 m mächtige Ablagerung zwischen 109,60 und 122,50 m zeigt vorwiegend grauen Sand (vom Typus Bündnerschiefer), beigemischt ist Feinkies, meist Quarz, runde und eckige Komponenten halten sich die Waage. Man gewinnt den Eindruck, es handle sich um eine Ablagerung in einen See.

— Von 122,50 m bis zum Bohrende bei 170 m treten Silt und Seeton, zum Teil mit Warfenbildungen auf, typische Seeablagerungen.

Zusammengefasst darf das Bohrprofil wie folgt kommentiert werden: Der Bohraufschluss ergab von —1,90 m bis

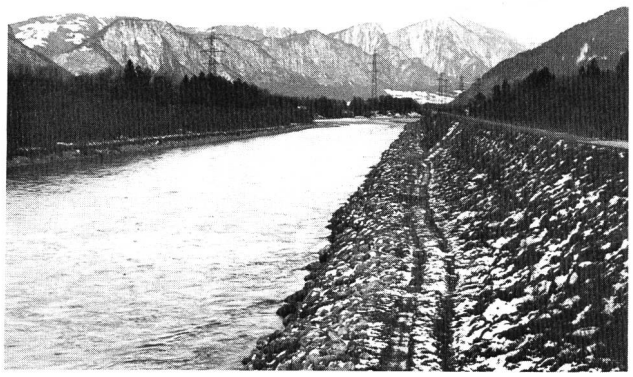


Bild 6.5.2. Der Rhein bei Untervaz-Mastrils, Blick talabwärts, Falknis. Die linke Seite ist unbewuhrt. Die Blocksteinwuhre auf der rechten Seite stammt von verschiedenen Bauetappen, sie ist zum Teil sehr alt.

109,60 m eine 107,70 m mächtige Kies-Sand-Schicht, die als nutzbare Grundwasserträger angesprochen werden kann. Nach der Tiefe zu folgt eine 12,90 m mächtige Sandschicht mit Feinkieseinstreuungen und dann 47,50 m Silt und Seetone. Bei — 27 m, — 69,50 m, — 93 m, — 109,60 m und — 122,50 m kann ein deutlicher Wechsel im Ablagerungszyklus festgestellt werden.

Die Durchlässigkeitswerte liegen alle bei $k = 10^{-3}$ m/s, nähern sich ab —60 m einem k von 10^{-4} (Folge des hohen Sandanteils). Im Seeton dürften sie um $k = 10^{-6}$ liegen. Eine Grundwasserentnahme ist bei guter Ergiebigkeit in den obersten 50 m zu empfehlen. Es wurden keine Pumpversuche durchgeführt.

Silt und viel Seeton ab 122 m bis zum Bohrlochende bei 170 m weisen auf einen See hin, der längere Zeit bestanden hat. Bei der Beschreibung der Tiefbohrung vom Rossboden bei Chur wurde darauf aufmerksam gemacht, dass unterhalb 120 m Tiefe Sand bis faustgrosse Gerölle aus dem Einzugsgebiet der Silvretta, typisches Landquartgeschiebe auftritt. In der Tiefbohrung Zizers findet sich diese fluviatile Schüttung in einer Tiefe von 93 bis 110 m mit Geröllgrössen bis zu 20 cm. Auch hier ein Indiz für eine Schüttungsrichtung der Landquart aus dem unteren Prättigau über Zizers — Chur nach Reichenau.

Der Talabschnitt Landquart — Maienfeld/Ragaz zeigt eine ruhigere Sedimentation als der obere Beckenteil. Es darf angenommen werden, dass die Beckensohle tiefer liegt als im Süden, und der Stauer ebenfalls von mächtigeren Alluvionen überlagert ist.

Nördlich Untervaz liegt die Malmplatte der Unteren Calandadecke, die hangparallel zu Tal fällt. Aus dieser Kalkplatte ist es besonders unterhalb des Zweienspitzes zu grösseren Felsablösungen und damit Blockstürzen auf die Alluvionen gekommen. Diese wurden nachträglich wieder eingeschottert, so dass sie nur am Rheinbord und bei Niederwasser im Rheinbett selbst festgestellt werden können. Die mächtigen Lehmschichten auf der rechten Talseite wurden im Hinterwasser von Landquart und Rhein abgelagert. Diese fluviatilen Einschwemmungen sind bis zu 20 m mächtig. Die Lehmvorkommen liegen vorwiegend innerhalb des Dreiecks Ganda — Igis — Landquart Fabriken. Oft sind sie nur von einer 15 cm mächtigen Humusschicht überdeckt und reichen bis aufs Grundwasser. Gegen den östlichen Talhang kann ein Übergang von grauem, fettem Lehm zu gelblichem, ausgeschwemmtem Moränenlehm festgestellt werden. Der nach Westen vorspringende Rand keilt bei der RhB-Station Igis aus. Der graue Lehm wird in den Ziegeleien Landquart industriell verarbeitet.

Die Tabelle über den chemisch-bakteriologischen Befund zeigt, dass wir es mit einem ziemlich-harten bis harten Wasser zu tun haben, ausser bei den Proben auf der linken Rheinseite zwischen Landquart und Bad Ragaz. Die Sauerstoffsättigung ist allgemein befriedigend. Eisen und Mangan sind ohne Bedeutung. Der pH-Wert bei hangnahen Grundwasservorkommen tendiert zu vermehrtem Säureanteil, d. h. Grundwasserpumpwerke, die der Allgemeinheit dienen, sollten in einer Mittelstellung zwischen Hangfuss und Rhein angelegt werden. Bakteriologisch sind alle Proben einwandfrei.

In der Talebene von Trimmis über Landquart bis Maienfeld/Bad Ragaz steht ein nach Menge und Güte gutes Trink- und Brauchwasser zur Verfügung.

Zusammenstellung der Analysenwerte des Grundwassers im Becken Trimmis — Landquart — Maienfeld

Probenentnahme	Gesamthärte fH °	Eisen Fe mg/l	Mangan Mn mg/l	Sauerstoffsättigung %	pH-Wert	Bakteriogischer Befund ±
Trimmis, Rohr 16 C	23,8	< 0,01	< 0,1	83,8	6,9	+
Untervaz, Rohr 16 A	21,3	< 0,01	< 0,1	86,0	6,8	+
Untervaz, Rohr 17 A	18,6	< 0,01	< 0,1	83,5	7,1	+
Untervaz, Rohr 18 C	28,5	< 0,01	< 0,1	116,0	6,8	+
Untervaz, Rohr 20 I/A	26,1	< 0,01	< 0,1	73,0	6,8	±
Zizers, Pumpwerk, 20 D	32,3	< 0,01	< 0,1	69,8	6,7	+
Zizers, Tiefbohrung, 170 m	23,5	0,01	0,1	46,7	7,35	+
Igis, Rohr 22 B	24,6	< 0,01	< 0,1	71,0	7,0	+
Igis, Rohr 22 E	28,0	< 0,01	< 0,1	64,2	6,8	+
Igis, Rohr 22 G	36,0	< 0,01	< 0,1	88,3	6,7	+
Landquart, Rohr 23 C	30,3	< 0,01	< 0,1	71,0	7,2	+
(Marschlins) Landquart, Rohr 22 H	34,0	0,04	< 0,1	103,0	—	?
Landquart, Rohr 24 B	29,4	< 0,01	< 0,1	84,0	6,7	+
Malans, Rohr 24 A	29,0	< 0,01	< 0,1	69,0	7,2	+
Malans, Rohr 24 C	21,0	< 0,01	< 0,1	74,0	7,3	+
Jenins, Rohr 25 A	26,6	< 0,01	< 0,1	73,0	6,6	+
Jenins, Rohr 26 B	31,2	< 0,01	< 0,1	70,0	6,7	+
Maienfeld, Rohr 30 C	29,3	< 0,01	< 0,1	100,0	7,0	+
Sarelli, Pumpwerk	17,5	< 0,01	< 0,1	73,2	7,1	+
Bad Ragaz, Pumpwerk	18,2	< 0,01	< 0,1	76,0	7,0	+

6.6. Das Sarganserbecken

Der Alpenrhein fliesst nach der Querung der sich gegenüberstehenden Schuttfächer von Tamina und Gleck in die weite Ebene von Sargans aus. Die Talgabelung von Sargans ist eine der eindrücklichsten Talbildungen der Ostschweiz. Die Anlage ist tektonisch vorgezeichnet, sie war aber auch abhängig von der unterschiedlichen Resistenz gegen die Erosion an schräggestellten Sedimenten.

Auf der Westseite des Sankt Galler Rheintals tauchen die helvetischen Decken flexurartig ab. Die Ostflanke des Tales wird durch den westlichen Erosionsrand der penninischen und ostalpinen Deckenfront gebildet. In der Seez-Walensee-Talung legte die Erosion die Jura-Kreide-Teildecken des Helvetikums frei, südwestlich die Schichtplatten, nordöstlich die Schichtköpfe. Die Schichtplatten lösten sich von ihrem Untergrund und glitten als Gleitbretter nach Nordosten ab, zugleich einzelne Gleithorizonte in eine disharmonische Faltung ausbildend.

Über den Nordausgang des Sarganserbeckens nach Trübbach-Mäls haben wir uns im Abschnitt 2.5. unterhalten. Der Übergang vom Sarganserbecken in dasjenige des Seeztales ist einer eingehenderen Diskussion wert. In der Pliozänzeit flossen Schils und Seez noch dem Rhein zu. Die Eiserosion im Diluvium verlagerte die einstige Schwelle zwischen Prodchamm und Sichelchamm ständig talaufwärts gegen Mels. Die Schwelle wurde weitgehend abgetragen, so dass es zur heutigen ebensohligen Talgabelung von Sargans kam. Die erste Saarmelioration während des Ersten Weltkrieges tangierte den Grundwasseraustausch zwischen Sargans und Mels kaum. Die zweite Saarmelioration brachte den Grundwasseraustausch bei Niederwasser zum Erliegen. Die dritte Saarmelioration unterband jeglichen Durchfluss von Grundwasser aus dem Sarganserbekken ins Seeztal. Die an den beiden Talrändern gelegenen Grundwasserfassungen der Gemeinde Mels und der Chemischen Fabrik in Plons wurden weitgehend trockengelegt. Bohrungen im Abschnitt Mels-Sargans haben ergeben, dass nur wenige Meter unter der Talebene eine Schwelle aus Liaskalk und Schiefern liegt.

Zur Beurteilung der Bodenzusammensetzung stehen 33 Piezometer, 17 Schachtbrunnen und 6 Grundwasserwerke zur Verfügung. Insgesamt 56 Aufschlüsse, die z. T. eingeordnet sind in 11 Grundwasserprofile. Dazu kommt eine grosse Zahl von Aufschlüssen wie Kiesgruben, Aushub für Bauten, unterirdische Kanäle. Alle diese Aufschlüsse gewähren jedoch nur einen Einblick in die Bodenzusammensetzung bis in eine Tiefe von gut 20 m; eine einzige Bohrung reicht bis 40 m.

Wollen wir die Trogtiefe im Sarganserbecken schätzen, müssen wir uns die Strömungsverhältnisse im Eis während der Eiszeiten vergegenwärtigen. Einerseits fliesst das Eis laminar, entsprechend den Gesetzen der Dynamik viscoplastischer Massen, andererseits gleitet es auf der Felsunterlage, was zusätzliche Differenzialbewegungen im Eis bewirkt. Diese Gleitarten lassen sich bei rezenten Gletschern beobachten. Wir dürfen annehmen, dass die Fliessgeschwindigkeit des Eises im Becken von Sargans nur klein war, und damit die Tiefen- und Breitenerosionen unterdurchschnittlich blieben. Der Rheingletscher als grosser Eislieferant wurde am Gonzen in zwei Arme gespalten: nach Norden dem Bodensee zu, nach Nordwesten zum Walensee. Zahlreiche Seitengletscher störten den ungehemmten Eisfluss, wie diejenigen aus dem Taminatal, dem Falknisgebirge, und praktisch als gegenläufige Kraft der grosse Eisstrom des Weisstannentales mit seiner Stossrichtung nach Nordosten. Die verschiedenen Stadien von Moränen und Stauschottern im Becken von Sargans und die Verschiedenartigkeit der Eratischen Blöcke nach Herkunft und Transportweg lassen auf eine bewegungsarme Eismasse im Becken schliessen. Aufgrund solcher Überlegungen darf eine Beckentiefe von gut 200 m angenommen werden.

Über dem Felsuntergrund des Taltroges, der mit einer Schale von breiter Ausladung vergleichbar ist, muss mit fluvioglazialen Ablagerungen gerechnet werden, die zu Ende der Würmeiszeit auch den lokalen Gletschervorstössen widerstanden haben.

Mit dem Rückzug der Gletscher und dem Transport ungeheurer Wasser- und Geschiebemengen begann eine rasche Auffüllung des Beckens. Der Rhein verlor in der breit ausladenden Schale seine kanalisierte Kraft. Gestört durch die zuströmenden Seitenbäche konnte sich keine längerdauernde, einheitliche Sedimentation einstellen. Sand, Kies, Silt und Lehm wechselten in rascher Folge, und in Hinterwässern kam es auch zu Torfbildungen. Gegen die unteren Beckenausgänge dürfte sich ein grösserer See gebildet haben, worin sich Tone ablagerten. Diese wurden oft durch fluviatile Einschüttungen unterbrochen. Erst in den obersten 50 m ab heutigem Talboden verändert sich die Zusammensetzung der Alluvionen deutlich, weil die endgültige Schleifung der Barre von Schollberg-Fläscherberg den Rhein zügig und ungehemmt in Richtung Bodensee abfliessen liess. Im östlichen Teil der Sarganserebene, entlang dem Fläscherberg, wurde eine bis 1,5 km breite und rund 40 m mächtige Kies-Sand-Schicht abgelagert. Die Gerölle in diesem vorzüglichen Grundwasserträger stammen ausschliesslich aus dem Rheineinzugsgebiet. Während vermutlich ein kleinerer linker Rheinarm zusammen mit der Tamina und dem Chrinnenbach oberhalb Baschärhof die linke Talseite mit Alluvionen auffüllte, wo Gerölle aus dem Einzugsgebiet der Tamina vorherrschen, bildete sich talabwärts entlang dem Talhang eine rund 500 m breite schottererfüllte Flussrinne aus. Diese südwestliche Rinne führt vom Saarfall über Vilters, Wangs in Richtung Mels. Der bergseitige Rand dieser Alluvialrinne wird oft unterbrochen durch Einschwemmungen aus den verschiedenen Bachschuttkegeln. Dieser mit Alluvionen gefüllte alte Tallauf floss nun aber nicht über die Schwelle oberhalb Mels, sondern wurde an dieser nach rechts in Richtung Sargans abgelenkt, zog um den südlich vorspringenden Sporn des Sarganser Schlosshügels, und vereinigte sich oberhalb der Sarganser Au mit den eigentlichen Alluvionen der Rheinschüttung.

Zwischen diesen beiden, heute mit Schottern gefüllten Flussarmen, liegen Ablagerungen vorwiegend fluviatil limnischen Ursprunges. Es sind vor allem Einschwemmungen aus den seitlichen Randpartien der zwei Kies-Sand-Schüttungen. Es darf auch ein geringer Anteil an fluvioglazialen Ablagerungen aus den oberen Hängen des Pizolgebietes angenommen werden. Diese Sedimentationsreihe wurde in ein praktisch stehendes Gewässer abgelagert; sie besteht aus Lehm, Silt, Sand und Torf. Westlich, südlich und südwestlich Sargans ist sie in grosser Mächtigkeit anzutreffen. Beim Bau von Strassen, Brücken und Hochbauten werden meist komplizierte und aufwendige Fundationen nötig.

Am nordwestlichen Talhang zwischen Vild und Schollberg, zwischen der Kantonsstrasse Sargans—Trübbach und dem Gonzenhang, dem tiefstgelegenen Talstrich der Sarganserebene, wurden in typischem Hinterwasser lehmig-feinsandige Lockergesteinsmassen abgelagert.

Die grundwasserhöffigen Alluvionen im Becken von Sargans oberhalb dem Baschärhof, und dann rechts der Bahn-

Zusammenstellung der Analysenwerte des Grundwassers aus dem Raum Bad Ragaz—Sargans

Probenentnahmen	Gesamthärte fH °	Eisen Fe mg/l	Mangan Mn mg/l	Sauerstoff-sättigung %	pH-Wert	Bakteriologischer Befund ±
Bad Ragaz	27,75	0	0	67,4	7,32	+
Vilters, Pumpwerk	19,75	0	0	61,8	7,45	+
Sargans, Pumpwerk	25,50	0	0	50,4	7,33	+
Sargans, Pumpwerk (Bergwerk)	24,25	0,67	0,075	4,2	7,3	+
Fläsçh, Pumpwerk	31,00	< 0,01	< 0,1	85,0	6,7	+
Fläsch, Rohr 36	81,00	< 0,01	< 0,1	—	6,4	?

linie Baschärhof—Sargans—Schollberg reichen bis 40 m tief. Am linken Talhang auf der Höhe vom Baschärhof zieht eine 500 m breite, grundwasserführende Zone über Vilters-Wangs zum Grossfeld westlich Sargans und mündet in den unteren Beckenteil zum Rheintal hin. In dieser Zone dürfte der Grundwasserstauer in etwa 30 m Tiefe liegen. Der Taminaschuttkegel links des Flusses ist gut durchlässig, als Grundwasserträger korrespondiert er mit demjenigen unter der Talebene.

Der Hauptzufluss an echtem Grundwasser kommt aus dem Becken von Trimmis—Maienfeld, er durchfliesst den Schuttkegel der Tamina. Infiltrationsgrundwasser liefern vor allem der Rhein, die Tamina und die Seitenbäche. Von Fläsch abwärts fliesst rechtsrheinisch viel Grundwasser dem Rhein zu.

6.7. Das Seeztal

Das Seeztalbecken als südöstliche Fortsetzung des Walensees wird 1,2 km oberhalb dem Bahnhof Mels durch eine untief unter Schutt verborgene Felsschwelle vom Sarganserbecken getrennt. Noch in den Jahren 1930 bis 1950 floss bei hohem Grundwasserstand in der Sarganserebene Grundwasser über diese Felsschwelle in Richtung Seeztal ab. Durch die Meliorationen in der Sarganserebene wurde der Grundwasserspiegel derart abgesenkt, dass heute eine Speisung in das Seeztal nicht mehr stattfindet.

Über die Tiefe des Seeztalbeckens fehlen verbindliche Anhaltspunkte. Vermutlich sinkt der Felstrog von oberhalb Mels stetig nach Nordwesten ab bis zum tiefsten Punkt im Seebecken des Walensees, minus 145 m.

Der Aufbau des helvetischen Gebirges beidseits des Seeztales zeigt ein weitgehend einheitliches Schichtfallen von Südwest nach Nordost. Auf der linken Talseite herrschen die schiefrigen Gesteine Flysch und Verrukano vor. Sie liefern eine feine, dichte Fraktion in den Ablagerungsraum. Die weit nach Südost ausgreifenden Einzugsgebiete bauen mächtige Schuttfächer in den Alluvionen auf, auf denen die Dörfer Mels und Flums stehen. An der rechten Talseite stehen die aus harten Gesteinen, Lias, Dogger, Malm und Kreide bestehenden Schichtköpfe an. Die kurzen, steilen Bachläufe und Runsen bringen ein grobes, gut durchlässiges Geschiebe in und auf den Talboden.

Im Seeztal fehlen Kiesvorkommen von Bedeutung, obwohl der Rhein sicher einige Zeit in Richtung Walensee geflossen ist. Der Schichtaufbau der Seeztaltrogfüllung zeigt, dass eine mächtige Kies-Sandablagerung nur während den Zwischeneiszeiten stattgefunden hat, die jedoch bei einem erneuten Gletschervorstoss wieder ausgeräumt wurde. Erst die Ablagerungen am Schluss der Würmeiszeit und teilweise auch Rheinalluvionen haben den mittleren und tieferen Trog mit Kies und Sand gefüllt. Die südwestlichen Zuflüsse haben eine 15 bis 20 m mächtige, dichte Übergussschicht abgelagert, die bis zu dreiviertel die südwestliche Talebene eindeckt. Die heutige Seez fliesst durch diese dichten Ablagerungen und trägt nur wenig zur Speisung des Grundwassers bei. Trotzdem trifft man in diesen obersten Schichten Grundwasser an, das jedoch nach Menge und Güte für eine Nutzung nicht ausreicht.

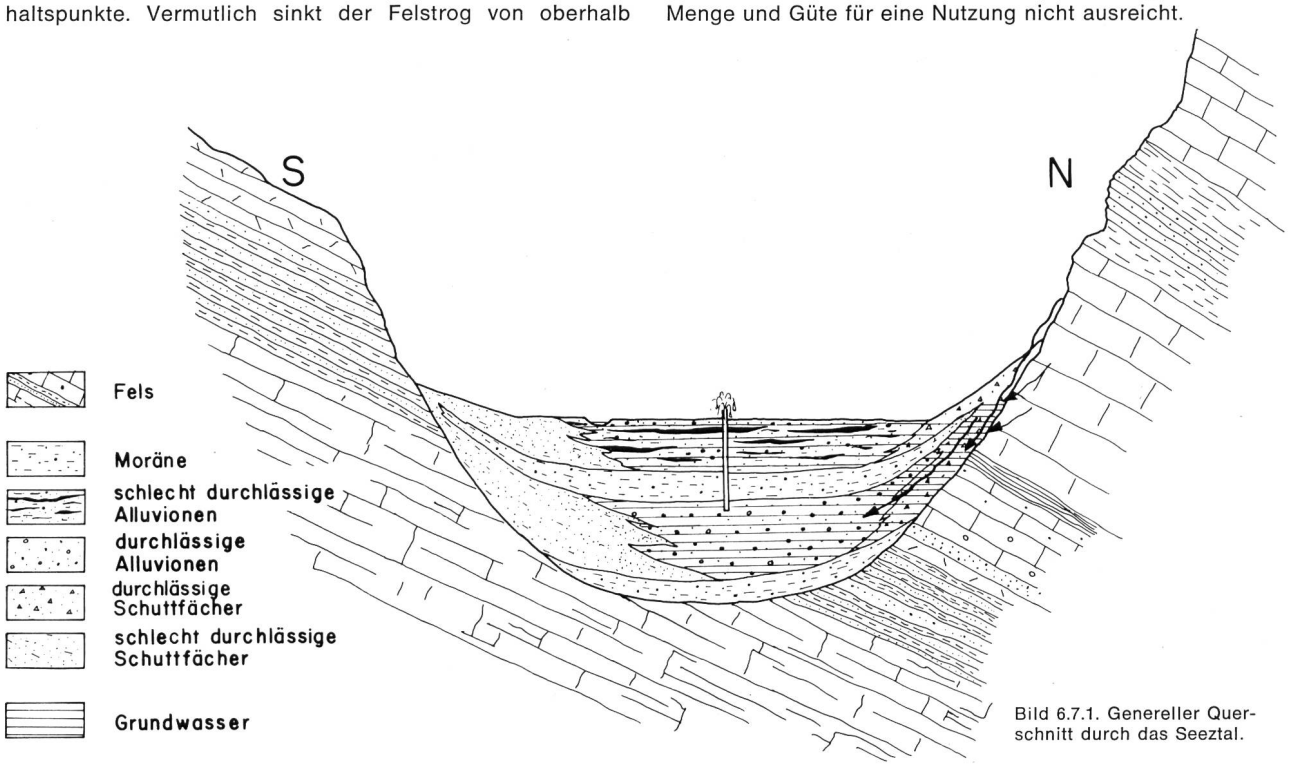


Bild 6.7.1. Genereller Querschnitt durch das Seeztal.

Die nördlichen Zuflüsse von den Palfrieshängen zeigen bessere Möglichkeiten für eine Grundwasseranreicherung. Sie kommen aus mehrheitlich kalkigem Gebirge, und ein Teil ihres Wassers versickert in den randlichen Talschuttkegeln. Im Abschnitt Halbmil-Tscherlach bis zu den ersten Häusern von Walenstadt befindet sich ein echter, tiefgründiger Grundwasserträger. Grundwasseraufstösse und Giessen können beobachtet werden. Dieses Grundwasser steht in Verbindung mit den durchlässigen Alluvionen unter den Übergussschichten, so dass sich in der Tiefe ein hydrostatischer Druck aufbaut, der in zahlreichen artesischen Brunnen zwischen Tiergarten und Walenstadt genutzt wird. Oberhalb des Tiergartenkopfes kann dem Boden nur sehr beschränkt Grundwasser entzogen werden. Das zeigen die Pumpwerke von Plons, Zeughaus Mels und der Gemeinde Mels, in denen Fördermengen von 100 bis 200 l/min nicht ganzjährig garantiert werden können. Auch das Deltagebiet am Walensee eignet sich nicht für eine Grundwassernutzung, teils wegen der feinkörnigen Sedimente, teils wegen des Rückstaus durch den Walensee. Das Wasser ist arm an Sauerstoff und reich an Eisen.

Den vorstehenden Erläuterungen liegen folgende Aufschlüsse zugrunde:

— 4 Pumpwerke, wovon nur dasjenige von Walenstadt gute Ertragsverhältnisse aufweist;

— 36 Piezometer, die über 12 Jahre beobachtet wurden;

— 15 artesische Brunnen. Diese Brunnen wurden durch die Übergussschichten in die Kies-Sandschichten des alten Talbodens geschlagen. Sie fliessen jahrelang, ihr Ertrag ist abhängig vom Rohrdurchmesser.

Die artesischen Brunnen sind bakteriologisch in Ordnung, dagegen weist ihr Wasser einen hohen Eisengehalt und eine Sauerstoffsättigung unter 40 % auf. Das Wasser aus den Fassungen im Raume Mels ist sowohl chemisch wie bakteriologisch zu beanstanden. Das Pumpwerk Walenstadt zeigt folgende Werte: Gesamthärte FH ° 24,75; Fe mg/l 0,47; Mn mg/l 0,063; Sauerstoffsättigung in % 9,4; pH-Wert 7,15; bakteriologischer Befund gut/positiv.

Zusammenfassend können wir feststellen, dass wir im Seeztal zwei Grundwasserspiegel haben. Ein tiefliegender unter den Übergussschichten, der am rechten Talrand bis nahe an die Oberfläche steigt und sein Wasser aus der rechten Talflanke via durchlässige Schuttkegel bezieht, und ein oberer, unbedeutender Wasserträger, der von Regen und Schmelzwasser aus der Talebene selbst gespeist wird. Grundwasser zu Trinkzwecken kann nur aus dem tiefliegenden Wasserträger gefördert werden, wobei je nach Chemismus eine Wasseraufbereitung nötig wird.

6.8. Trübbach—Eschen

Im Abschnitt 3.6. wurde dargelegt, warum das langgezogene Becken von Trübbach bis Montlingen längs einer Linie Gams, Haag, Eschen (Eschental eingeschlossen) zweigeteilt wurde. Wir verfügen über eine grosse Anzahl von Bohraufschlüssen: Profile von 15 Pumpwerken, 41 Bohrungen zu 2", 80 Bohrungen mit versetzten Piezometern zu 4" und im Gebiet des Fürstentums Liechtenstein über 8 Bohrungen von rund 100 m Tiefe. Diese Aufschlüsse zeigen folgenden Sedimentationsvorgang bei der Auffüllung des Taltroges:

1. Die aquitane Hauptabflussrinne (Bild 3), die über die Luzisteig, Vaduz, Buchs zum Appenzeller Molassedelta führt, hat diagonal durch den Taltrog eine mächtige Kies-Sandschicht abgelagert. Das Niveau dieses Geschieberückens hatte mindestens die Höhe der Luzisteig, wenn nicht gar diejenige der Ansteinhöhe erreicht. Während des Diluviums wurde dieser Nord—Süd verlaufende Schuttriegel wohl niedergewalzt, doch von den vorstossenden Eismassen nicht vollständig ausgeräumt.

2. Während den Zwischeneiszeiten bildeten sich südlich und vor allem nördlich des unter 1 genannten Geschieberückens stehende Gewässer, die bei den Gletscherrückzügen mit feineren fluvioglazialen Ablagerungen aufgefüllt wurden. Diese Ablagerungen fielen bei neuerlichen Gletschervorstössen meist wieder der Eiserosion zum Opfer.

3. Erst der Durchbruch des Rheins durch die Felssperre bei Montlingen-Götzis und die endgültige Etablierung des Rheins westlich um den Fläscherberg im Alluvium brachten die endgültige Einschüttung des Taltroges. Südlich des alten Geschieberückens kam es zur Ablagerung von Rheinschottern auf trockenes Vorland, nördlich davon wurden in ein stehendes Gewässer feinsandig-lehmige Sedimente abgelagert.

4. Mit der weiteren Ausräumung der Sperre von Montlingen-Götzis und der damit verbundenen Zunahme des Erosionsgefälles schob sich auch die gröbere Fraktion des Rheingeschiebes über den alten Geschieberücken hinweg nach Norden. Es wurden grundwasserhaltige Bodenschichten in den obersten 20 bis 25 m im Mäanderbereich des Rheins und seiner zahlreichen Nebenarme abgelagert. Ausserhalb dieser gut durchlässigen Alluvionen bildeten sich ausgedehnte Hinterwasser und von der Zirkulation abgeschnittene Verlandungszonen mit feinsandig-lehmigen Schichten, die an der rechten Talflanke direkt an die Schuttfächer der Seitenbäche anschlossen.

Im Bereich des aquitanen Geschieberückens, der das Rheintal auf einer Linie Balzers—Vaduz—Buchs—Grabs quert, sowie südlich und westlich davon liegt ein tiefgründiger Rheinschotter. Bohrungen haben bis in 50 m Tiefe produktive Bodenschichten nachgewiesen. Rheintalabwärts, nördlich des aquitanen tiefliegenden Geschieberückens, kam eine rund 20 m mächtige, ebenfalls produktive Alluvialschicht zur Ablagerung, die von einer mächtigen Feinsedimentation (Ablagerung in ein Seebecken) unterlagert ist. Die produktive Alluvialschicht befindet sich vor allem im Bereich des Hauptstromes, seiner Nebenarme und Mäander. Seitlich gehen diese Flussschotter in Feinsande über und bilden die Umgrenzung grösserer Verlandungsflächen mit Silt, Lehm und Torf. Das Wechselspiel in der Sedimentation zwischen stark, mittel und schwach durchlässigen Schichten zeigt sich in den zahlreichen Bohraufschlüssen. Ein ständig sein Bett ändernder, ungebändigter Fluss hat diese Schichten abgelagert. Grundwasserhöffige Schichten, die einen befriedigenden Ertrag bringen, sind an die Schotter alter, heute verlassener Talläufe gebunden. Im Fürstentum Liechtenstein, rechts des heutigen Rheins, bildet die Talebene nur ein schmales Band zwischen Rhein und den Hangschuttkegeln. Beim südlichen Beckenabschluss mündet von Südosten her die alte Rinne der Luzisteig bei Balzers in die Talebene. Im oberen Teil nimmt der durchlässige Schuttkegel der Ansrüfi das anfallende Wasser auf. Oberhalb Balzers breitet sich ein ausgedehntes Riet aus; es liegt in einem typischen Hinterwasser ausserhalb des grossen Talstromstriches, wo sich viel Feinsedimente und Torf abgelagert haben.

Im Südteil von Balzers ist die Rheinebene von einer rund 10 m mächtigen Übergussschicht bedeckt. Darunter folgt die mächtige Kies-Sandschicht, ein guter, ergiebiger Grundwasserträger. Dieser reicht vom Ellhorn bis Schaan, nur kurz unterbrochen von weniger ergiebigen Alluvionen westsüdwestlich Vaduz und Schaan. Von Schaan zieht die Grenze der grundwasserhöffigen Kies-Sande nach Nord-

westen zum Rhein, den sie 2,5 km unterhalb der Strassenbrücke Schaan—Buchs erreicht und überquert. Nach Westen geht sie weiter, zwischen Grabs und Gams durch. Nördlich und östlich dieser Grenze dehnt sich das Vaduzer Riet aus; es ist 3 km breit und ebenso lang. Dieses Riet enthält in seinem Untergrund Grundwasser, jedoch von unterschiedlicher Quantität und Qualität.

In diesen Abschnitt gehört auch das nördlich anschliessende Eschner Tal. Die zwischen Gams und Nendeln 7 km breite Rheinebene wird durch den aus helvetischen Kreidekalken gebildeten Sporn des Schellenbergs in zwei schmälere Talböden getrennt, es sind dies:

— der Abschnitt des heutigen Rheintals, der von Bendern in Richtung Nordnordosten durch das St. Galler und Vorarlberger Rheintal zum Bodensee verläuft;

— und der vom Gebiet Eschen-Nendeln in Richtung Nordosten gegen Mauren—Tisis—Feldkirch verlaufende Talboden. Dieses «Eschner Tal» ist wahrscheinlich während der Diluvialzeit durch Fluss- und Gletschererosion geschaffen, eine Zeit lang von den Schmelzwässern des Rheingletschers als Abflussweg benützt, und schliesslich wieder verlassen worden. Das Tal wird heute nicht mehr wie in der Diluvialzeit von einem grossen Fluss von Südwesten nach Nordosten, sondern nur noch von der kleinen Esche mit geringem Gefälle in umgekehrter Richtung durchflossen.

Über das Gebiet des Fürstentums Liechtenstein steht uns eine umfassende Arbeit der Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz, EAWAG, Dübendorf, aus dem Jahre 1976 zur Verfügung, ausgeführt unter der Leitung von Dr. *P. Nänny*. Sie enthält Bohrresultate, *k*-Wert-Bestimmungen, Isohypsen der Grundwasseroberfläche, Strömungsrichtungen, Grundwasserhöffigkeit, Hydrogeologie und chemisch-bakteriologische Untersuchungen.

Wechseln wir mit unseren Betrachtungen nun hinüber auf die linke, schweizerische Talseite. Es fehlen Angaben über die Mächtigkeit der Beckenfüllung. Vermutlich dürfte der Taltrog zwischen Sevelen und Vaduz gut 250 m unter die heutige Talsohle hinabreichen. Von Trübbach bis Buchs erstreckt sich eine tiefgründige, gut durchlässige, grundwassergesättigte Alluvialschicht. Grundwasseraufstösse oberhalb Weite deuten auf ein reiches Wasservorkommen hin. Hier beginnt der Werdenberger Binnenkanal, der die Giessen, Wiesenfurten und Hanggewässer sammelt, und bei Büchel, rund 20 km talabwärts dem Rhein übergibt, denn das Rheinbett liegt bis zur Illmündung höher als die Talebene. Reiches grundwasserhöffiges Gebiet ist auch nördlich Buchs anzutreffen, und zwar längs einem 1 km breiten und 2,5 km langen Streifen unmittelbar links des Rheins. Gegen Haag zu geht dann die produktive Bodenschicht sehr rasch in mächtige Sand-Silt-Schichten über, mit mittlerer bis geringer Höffigkeit an Grundwasser. Am besten sind die Durchlässigkeitsverhältnisse noch in Rheinnähe, aber auch dort sind sie sehr unterschiedlich. Die Feinsedimentation in das nördliche Seebecken macht sich bereits bemerkbar.

Bei Buchs öffnet sich das Rheintal zu einer breiten Ebene zwischen Nendeln, Grabs und Gams. Zwischen dem Grundwassergebiet westlich des Rheins und einem rund 300 bis 500 m breiten Landstreifen von Buchs über Grabs, Gams und Sax liegt Rietgebiet. Diese an die 20 m tiefe Schwemmebene setzt sich zusammen aus siltig-lehmigen Rheinablagerungen in flaches, stehendes Wasser und ausgeschwemmtem Feinmaterial aus den seitlichen Schuttfächern. Am Hangfuss und im Bereich der Siedlungen liegt gröberes Schuttmaterial der Seitenbäche. Darin sammelt sich vor allem Karstwasser. Das Bett der Bäche ist kolmatiert und nach der Tiefe zu dicht. In der hangnahen Zone ist der Grundwasserträger unabhängig vom Talgrundwasser; er entwässert sich in diesen. Die Karstwasserzuflüsse, die aus den nach Norden abtauchenden Malm- und Kreideschichten der nördlichen, helvetischen Alpen stammen, sind bedeutend. Dieses abgetrennte Grundwasservorkommen setzt sich von Buchs gegen Süden fort bis nach Sevelen, nur fliesst in diesem Abschnitt das Karstwasser direkt ins Talgrundwasser.

Weite Gebiete der produktiven Bodenschichten sind von einer Kolmatierungsschicht bedeckt. Diese besteht vorwiegend aus Silt mit *k*-Werten von 10^{-5} bis 10^{-6} m/s, bietet also einen vorzüglichen Schutz vor oberflächlicher Verschmutzung.

Der Anteil an echtem Grundwasser ist hoch, da neben dem Hauptwasserstrom des Rheintals auch das Karstwasser hinzukommt. Der Anteil aus Oberflächengewässern ist gering. Bei hohem Rheinstand wird der Anteil an Rheininfiltrat besonders im Vorland bedeutend.

Der Chemismus des Grundwassers ist in Kapitel 8 beschrieben.

6.9. Von Haag, Eschen bis Montlingen, Götzis

Das Vorarlberger Rheintal bis zum Bodensee wird im Abschnitt 6.11. von Dr. *H. Loacker* beschrieben.

Von wenigen Lücken abgesehen ist dieser 17,5 km lange Talabschnitt des Alpenrheins sicher derjenige, in welchem die Grundwasserverhältnisse am intensivsten erforscht wurden. Neben zahlreichen Bohrungen und Untersuchungen durch die Gemeinden wurden nachstehende geologisch-hydrologische Abklärungen durchgeführt: Grundwasseruntersuchungen längs dem Trasse der Nationalstrasse N 13; Untersuchungen in Zusammenhang mit der Pipeline (Oleodotto del Reno); Abklärung der Verhältnisse in Zusammenhang mit Raffinerie und Grosstanklager Sennwald; Abklärung der Grundwasserverhältnisse im Saxerriet; hydrologische Untersuchungen in Zusammenhang mit dem Projekt Kernkraftwerk Rüthi; Versuchsfeld zur Abklärung der Beziehungen Rheinstände—Grundwasser bei Oberriet durch die Rheinbauleitung (32 Piezometer auf 7 Talquerprofilen); Abklärung einer Wasserbezugsmöglichkeit für die Stadt St. Gallen aus dem Raum Oberriet-Montlingen-Eichenwis (Geologie, Geoelektrik, Bohrungen mit ausgedehnten Pumpversuchen). Die Ergebnisse der hydrologischen Untersuchungen für das Projekt Kernkraftwerk Rüthi sind im Abschnitt 9.2. aufgeführt.

Für die Grundwasserbeobachtungen stehen 136 Bohrungen mit versetzten Piezometern von 18 bis 35 m Tiefe zur Verfügung; 6 Piezometer reichen bis in 80 m Tiefe und eine Tiefbohrung von 130 m erreichte den Fels; 10 Pumpwerke stehen in Betrieb.

Die Tiefe des Beckens dürfte auf der Höhe von Salez zwischen 250 und 300 m betragen. Wir müssen annehmen, dass nach Norden die Felssohle ansteigt, denn unterhalb Sennwald tauchen bereits die ersten Inselberge aus der Alluvialebene auf. Die an Querbrüchen treppenförmig in das Rheintal absteigenden Kreidefalten des Säntis queren nicht allzu tief die Rheinebene und bauen in gleicher Weise am Vorarlberger Talrand das Gebirge wieder auf. Man gewinnt den Eindruck eines Grabenbruches. Die Einschotterung der Talschwelle erlaubt nur den höchsten Erhebungen einen Durchbruch über das heutige Talniveau hinaus. Ab Sennwald-Ruggell läuft der heutige Rheinlauf dem linken Beckenrand entlang. Vermutlich zog ein alter

Rheinlauf von Salez-Ruggell nach Nordosten, rechts vom Bergle oberhalb der Illmündung auf Vorarlberger Gebiet, und dann über Meiningen zur Durchbruchfurche zwischen Montlingerberg und Kummaberg. Die Vermutung, dass sich die Felssohle des Taltroges nach Norden anhebt, wird bestätigt durch die Tiefbohrung rheinwärts von Rüthi. Hier wurde der Fels (Schrattenkalk) in einer Tiefe von 125,20 m erschlossen.

Zur Interpretation der Beckenfüllung stehen uns für den tieferen Teil 4 Bohrungen zur Verfügung, 3 reichen bis auf 85 m, 1 bis auf 130 m hinunter. In 3 Bohrungen wurde der Fels erschlossen. Im Normalprofil zeigt sich folgendes:

0 — 2,00 m	Sandiger Silt (Kolmatierungsschicht)
2,00— 20,50 m	Kies und Sand
20,50— 56,70 m	Silt mit Linsen von Feinsand; toniger, plastischer Silt
56,70—122,60 m	Ton, leicht siltig mit Warfen, hochplastisch
122,60—123,00 m	Silt mit kantengerundeten Geröllen bis 10 cm Durchmesser
123,00—124,80 m	blauer Lehm
124,80—125,20 m	Silt und Sand mit kleinen Geröllen
125,20	Fels, blank

Vorstehendes Normalprofil fasst bis in 80 m Tiefe die Ergebnisse der drei Bohrungen zusammen, während ab 80 m Tiefe die längste Sondierung herangezogen wurde. Die Übergänge am Kontakt Beckenfüllung—Fels sind überall dieselben. Vereinfachend können wir festhalten, dass über dem Fels keine Moräne liegt, und dass nur im obersten Teil der Talebene ein rund 20 m mächtiger Grundwasserträger vorhanden ist. Diese produktive Bodenschicht ist entlang des Rheins vorhanden und reicht landeinwärts bis zum Binnenkanal. Aus älteren Rheinarmen, die eingeschottert sind, lässt sich ebenfalls ein gutes Grundwasser gewinnen. Doch sind diese Rheinarme durch eine Kolmatierungsschicht überdeckt und deshalb schwer festzustellen.

Die zahlreichen Sondierungen nach Grundwasser im rheinnahen Gebiet haben gezeigt, dass in diesen Alluvionen zum Teil mächtige Sand- bis Feinsandlinsen stecken, die auch bei langen Pumpversuchen kein klares Wasser liefern. Es ist zu empfehlen, die Brunnen möglichst nahe am Rheinvorland abzuteufen. Die Aussichten, gutes Wasser zu gewinnen, sind oberhalb der Illmündung ungünstiger als unterhalb derselben, da das Grundwasser im höhergelegenen Illschuttkegel zusätzlich Wasser dem Rheingrundwasser zuführt, dies obwohl der Illschuttfächer nicht unter dem Rhein durchreicht.

Wenden wir uns noch dem Gebiet Oberriet-Montlingen zu. Der Rhein, die Binnenkanäle und die Seitenbäche stehen meist in Wechselwirkung mit dem Grundwasser. Zwischen dem Rhein und dem Rheintalischen Binnenkanal findet in den gut durchlässigen Schichten eine intensive Grundwassererneuerung statt. Der Rhein liefert Infiltrationswasser, während der Binnenkanal als Vorfluter wirkt. Westlich der Binnenkanäle sind die Strömungsgeschwindigkeiten des Grundwassers sehr klein, was die Verweilzeit des Grundwassers im Boden stark verlängert. Dies hängt zusammen mit der geringen Durchlässigkeit des Bodens, in dem Torf-, Feinsand- und Lehmschichten einen hohen Anteil haben. Aus den obenstehenden Ausführungen geht hervor, dass qualitativ hochwertiges Grundwasser in grösseren Mengen nur aus dem Gebiet zwischen Rhein und Binnenkanal bezogen werden kann. Dabei bleibt man mit Vorteil in Rheinnähe, ja sogar im Rheinvorland, um bei niederem Rheinstand und geringer Infiltration vom Rhein her ein Zufliessen von landseitigem schlechtem Grundwasser zum Pumpbrunnen zu vermeiden.

Der Grundwasserträger links des Rheins, der für eine Nutzung in Frage kommt, ist von Haag bis nördlich Oberriet rund 20 m mächtig. Darunter folgen Seetone, Seeablagerungen und feinstes fluvioglaziales Schwemmaterial, aus denen kein Grundwasser gewonnen werden kann.

Die produktive obere Alluvialschicht von rund 20 m Mächtigkeit geht nach Norden bei der einstigen Sperre von Montlingen-Götzis in eine tiefe Rinne über. Bohrungen im Bereich des Zapfenbaches zeigen 48 m mächtige grundwasserhaltige Alluvionen. Diese Rinne zielt genau auf den Durchbruch zwischen Montlinger Berg und Kummaberg. Es ist der letzte und tiefste Durchbruch des vereinten Rhein—Ill-Stromes nach dem heutigen Bodensee.

Westlich der Binnenkanäle, aber auch in einzelnen Abschnitten derselben besteht die Beckenfüllung über den feinkörnigen fluvioglazialen und fluviatil limmnischen Seeablagerungen aus unproduktiven, ebenfalls feinkörnigen jungen Hinterwasserablagerungen. Diese Übergussschichten sind stark mit organischem Material durchsetzt, so dass aus einzelnen Bohrlöchern Methangas entströmt. Dies gilt besonders für die Gegend unmittelbar nördlich und nordwestlich von Oberriet.

Den Anschluss zum Talhang bilden die zahlreichen Bachschuttkegel, wobei besonders die kalkreicheren unter ihnen (nördlich von Sax) Grundwasser führen. Einen grossen Anteil an diesem Grundwasser hat auch hier — wie im oberen Talbecken — das Karstwasser. Dieses hat sein Einzugsgebiet nordwestlich des Grates Kreuzberge—Hoher Kasten. Fälensee und Sämtisersee liefern sehr viel Karstwasser, das längs Querbrüchen dem Rheintal zufliesst. Zahlreiche Quellen können beobachtet werden, aber auch ein beträchtlicher Teil des Karstwassers entwässert direkt in die Schuttkegel am Talfuss.

Ein gutes Grundwasserfeld liegt rund 30 m über dem Grundwasserspiegel der Rheinebene unterhalb Lögert-Sennwald.

Zur Abrundung des Bildes über die Beckenfüllung sind noch zwei Ablagerungen zu erwähnen:

Erstens der Bergsturz von Sennwald. Ein Frontalausbruch unterhalb des Stauberenfirst führte zum Absturz von rund 90 Mio m³ helvetischem Kreidegestein, das linksrheinisch zur Ablagerung kam und eine Fläche von rund 6,3 km² bedeckt. Heute noch können die Bergsturzblöcke des äussersten Wurfkegels im Rheinbett festgestellt werden. Die Tiefe des Bergsturzes dürfte ab der Taloberfläche etwa 15 m betragen. Der Sturz dürfte in die Alluvialzeit fallen, da Anzeichen einer glazialen Überarbeitung fehlen. In und unter den Trümmermassen ist Grundwasser vorhanden, jedoch von minderer Qualität. Unweit des Bades Forstegg befindet sich eine Mineralquelle, die heute nicht mehr genutzt wird.

Zweitens verdienen die rund 20 m mächtigen Lehmablagerungen bei der ehemaligen Ziegelei Oberriet-Eichenwis Erwähnung. Sie sind wie diejenigen von Chur und Landquart im Hinterwasser des Rheinstromes, abgedeckt durch den östlich vorspringenden Blattenberg, durch fluviatile Aus- und Einschwemmungen entstanden. Auch hier ist die Überdeckung des Lehms mit 20 cm Humus gering. Es handelt sich um einen grauen, fetten Lehm mit sehr wenig Siltanteil.

Über die Beckenfüllung und die Grundwasserhöffigkeit der einzelnen Talabschnitte kann zusammenfassend folgendes ausgesagt werden:

— Entlang des Rheins bis zu den Binnenkanälen steht generell ein 20 m mächtiger Grundwasserträger zur Verfügung, der von einer bis auf den Grund des Beckens reichenden Seeablagerung mit feinen fluvioglazialen und flu-

viatilen Ablagerungen vermischt, unterlagert wird. Letztere enthält kein nutzbares Grundwasser. Die produktive, 20 m mächtige Kies-Sand-Schicht ist von Haag abwärts bis in die Gegend der Illmündung oft durchsetzt mit mächtigen Sand- und Feinsand-Linsen, also z. T. unproduktiv. Von der Illmündung an abwärts liegt eine Kies-Sand-Schicht von guter Durchlässigkeit vor, die nach der alten Sperre von Montlingen-Götzis an Mächtigkeit zunimmt.

— Landeinwärts von den Binnenkanälen, im Bereich der grossen Rietbildungen, finden sich mächtige Ablagerungen fluvioglazialer und fluviatil limmnischer Art. Diese führen kaum nutzbares Grundwasser.

— Am Talhang, im Bereich der Schuttkegel, findet sich ein weiteres Grundwasservorkommen, das in seinem Abfluss zum Talgrundwasser durch die mittlere, schwachdurchlässige Schicht rückgestaut wird. Dieses mengenmässig beschränkte Vorkommen wird vorwiegend durch Karstwasser aus dem Säntisostabfall gespiesen.

Für die Infiltrations- und Strömungsverhältnisse sei auf den Abschnitt 9.2. über das Gebiet Rüthi-Blattenberg verwiesen. Es sei hier lediglich festgehalten, dass der Hauptanteil am Talgrundwasserstrom Infiltrationswasser aus dem Rhein ist. Je nach Wasserstandsverhältnissen im Rhein und im Binnenkanal, je nach Karstzufluss, ändert sich der Anteil an Rheininfiltration, Binnenkanalinfiltration und Karstwasser. So kann bei tiefem Rheinstand Karstwasser zum Binnenkanal und von dort zum Rhein vorstossen. Im Normalfall, und das sicher während gut 10 Monaten, dient der Binnenkanal als Vorfluter. Langjährige Messungen im Versuchsfeld Oberriet der Rheinbauleitung zeigen, dass im Normalfall der Grundwasserspiegel vom Rhein zum Binnenkanal durchschnittlich um 3,31 m abfällt. Interessenten stehen die graphischen Auswertungen bei der Rheinbauleitung zur Verfügung.

Die Durchlässigkeit (*k*-Wert) des Grundwasserleiters wurde aus zahlreichen Pumpversuchen in Sondierbohrungen und in Pumpbrunnen sowie aus den Betriebsverhältnissen in den bestehenden Fassungen bestimmt. Sie schwanken zwischen $3{,}2 \cdot 10^{-4}$ m/s und $6{,}3 \cdot 10^{-3}$ m/s. Die mittlere Durchlässigkeit dürfte bei $2{,}5 \cdot 10^{-3}$ m/s liegen.

Unter der Leitung des Ingenieurbüros K. Schwizer, St. Gallen, wurden im Raum Oberriet zuhanden der Stadt St. Gallen umfangreiche Sondierbohrungen und Untersuchungen vorgenommen. Als Beispiel über die Ergiebigkeit des Grundwasserträgers im obersten Teil der Alluvialebene diene nachstehender Pumpversuch:

Pumpversuch Oberriet

Standort: Rhein-Vorland bei Oberriet, Koord. 762.100/242.500

Durchmesser der Bohrung: 1600 mm; ab Tiefe 21,50 m: 1450 mm

Tiefe der Bohrung: 26,50 m. Die untersten 3 m in hart gelagertem, blauem Lehm

Durchmesser des Filters: 1000 mm

Länge der Filterstrecke: 11,25 m (ab 25,75 m Tiefe)

Pumpversuch vom 20. 1. bis 10. 2. 1975

Entnahmeleistung	ca. 10 000 l/min (ca. 167 l/s)
Dauer des Pumpversuches	21 Tage
Totale Fördermenge	302 400 m³

Grundwasserabsenkung im Brunnen		6,50 bis 7,00 m
Pegelstände:	Rhein, Oberriet	419,77 bis 420,48 m ü. M.
	RBC, Blatten	418,37 bis 419,00 m. ü. M.

In den Beobachtungsrohren bis zu 90 m Abstand vom Pumpbrunnen schwankten die Absenkungen während des Pumpversuchs zwischen 0 und 25 cm. Das Beobachtungsrohr rechts des Rheins auf der Vorarlberger Seite zeigte keine Absenkung. Bei einem weiteren Pumpversuch mit einer Entnahmeleistung von 6360 l/min betrug die Grundwasserabsenkung im Brunnen 3,37 m. Das geförderte Grundwasser war bakteriologisch und chemisch einwandfrei. Lediglich der Sauerstoffgehalt lag unter dem wünschbaren Wert (BSB_5 0,6 mg O_2/l).

Zwischen dem Rhein und Binnenkanal kann ein quantitativ befriedigendes Grundwasser gefördert werden, wenn auch oberhalb der Illmündung die grundwasserhöffigsten Abschnitte noch durch Sondierungen geortet werden müssen. Ein Grundwasservorkommen im Bereich der Karstausläufe erlaubt ebenfalls eine Nutzung, wenn auch in bescheideneren Mengen. Über die chemisch-bakteriologischen Verhältnisse in diesem Beckenabschnitt sei auf Kapitel 8 verwiesen.

6.10. Der Abschnitt Montlingen—Götzis bis zum Bodensee

Über die Tiefe der Beckenfüllung gibt uns nur ein Bohraufschluss in Dornbirn Auskunft (siehe Abschnitt 6.11. über das Vorarlberger Rheintal). Die Bohrung liegt am Rande des Talbeckens. Der Felsuntergrund wurde in 336,50 m Tiefe erreicht, so dass angenommen werden kann, dass die grösste Beckentiefe (bei der Ausmündung in das Bodenseebecken) gegen 400 m beträgt. Die Zusammensetzung der tieferen Beckenfüllung muss anhand des geförderten Bohrgutes abgeleitet werden. Wie in den Tiefbohrungen von Rüthi wurde auch hier keine Grundmoräne erbohrt. Dagegen wurde eine wenig mächtige Schicht von kantengerundeten Geröllen festgestellt, die als umgelagertes Moränenmaterial klassifiziert werden könnte. Darüber, bis unterhalb rund 50 m, besteht die Beckenfüllung ausschliesslich aus tonigen bis feinsandigen Seeablagerungen. Es folgen Kiessande in Wechsellagerung mit fluvioglazialen und fluviatil-limnischen Sedimenten, eine produktive Grundwasserschicht.

Im Abschnitt 6.9. wurde festgestellt, dass unmittelbar oberhalb des Durchbruches von Montlingen-Götzis die grundwasserführende Schotterrinne sich bis auf 50 m hinunter vertieft. Deshalb könnte talabwärts dieser Talverengung eine ebenso mächtige Schotterschicht vorhanden sein, wie aus der Bohrung Dornbirn hervorgeht. Dies ist nicht der Fall. Wir haben beidseits des alten, noch unkorrigierten Rheins und seiner bedeutenderen Seitenarme wohl eine tiefe produktive Kiessand-Schicht; sie geht jedoch seitlich rasch in Sand-, Lehm- und Torfgebiete über. Dies zeigen Untersuchungen im Vorarlberger Rheintal und die auf Schweizerseite zur Verfügung stehenden Beobachtungsstellen. Es sind dies: 16 Schächte, 114 Bohrungen mit Piezometern und 15 Grundwasserpumpwerke.

Aus diesen Aufschlüssen geht hervor, dass der Hauptstrom des Rheins nach der Durchbruchstelle bei Montlingen-Götzis nach rechts in die Schleife von Diepoldsau floss, und zwischen Lustenau und Dornbirn nach Norden zum Bodensee. In Lustenau und westlich gegen den Rhein können verschiedene Molassevorkommen festgestellt werden, die im Rheinbett selbst oder nur etwa 6 m unter den Alluvionen anstehen. Ein zweiter, grösserer Strang trennte sich östlich von Lustenau vom Hauptstrom nach Nordwesten und Norden ab und suchte seinen Weg um das Horn bei St. Margrethen zum Delta von Altenrhein.

Mit dem Bau der Durchstiche von Diepoldsau und Fussach sowie des Rheintaler Binnenkanals änderte sich auch das Grundwasserregime. Der neue, kanalisierte Rhein kam nun auch über Ablagerungen zu liegen, die einen ergiebigen Grundwasseraustausch in das Vorland und zum Binnenka-

nal verunmöglichte. Dies trifft vor allem für den Abschnitt zwischen Kriesern und Diepoldsau zu.

Der Rhein, die Binnenkanäle und verschiedene kleinere, den Hang entwässernde Seitenbäche stehen in Wechselwirkung mit dem Grundwasser der Rheintalebene. Zusätzlich wird das Grundwasser durch Hangwasser gespeist. In der Ebene von Thal—Rheineck kann in einem hangwärtigen Zwischenbecken aus drei Pumpwerken gutes Grundwasser gefördert werden.

Zwischen Rhein und Rheintalischem Binnenkanal ergibt sich oft eine intensive Grundwassererneuerung. Während Rheinwasser hauptsächlich infiltriert, wirkt der Rheintalische Binnenkanal mehrheitlich als Vorfluter. Westlich des Binnenkanals sind in den mächtigen, wenig durchlässigen Torf-, Feinsand- und Lehmschichten die Strömungsgeschwindigkeiten des Grundwassers sehr klein, so dass sich das Grundwasser lange im Boden aufhält.

Aus dem technischen Bericht über den Wasserhaushaltplan der Region Rheintal (Ingenieurbüro *Schwizer, Spalt und Schäublin,* St. Gallen) wird nachstehend ein Auszug wiedergegeben, worin das Ergebnis intensiver Erforschung der Grundwasserverhältnisse in diesem untersten Abschnitt des Alpenrheins dargelegt wird.

Erschlossenes Grundwasser

Das Grundwasserdargebot kann heute durch Fassungsanlagen von öffentlichen Wasserversorgungen bis auf rund 40 000 m³/d ausgeschöpft werden. Zusätzlich wird es von kleineren, privaten Fassungen zu rund 6250 m³/d genutzt. Schliesslich besitzt die Viscosuisse (Widnau) Grundwasserfassungen, die eine Gesamtleistung von rund 27 360 m³/d erbringen können. Das Grundwasser ist demnach heute durch Fassungsanlagen mit einer Förderleistung von rund 73 610 m³/d erschlossen.

Die ältesten Grundwasserfassungen liegen nahe bei den Ortschaften, meistens westlich des Rheintalischen Binnenkanals. Dadurch konnten lange Transportleitungen umgangen und der früher bestehenden Überschwemmungsgefahr ausgewichen werden. Allerdings war das Grundwasser oft schlecht und musste aufbereitet werden. Heute sind von diesen alten Fassungen drei Brunnen (Widnau, Balgach und Rebstein) stillgelegt. Sie werden nur noch für Zivilschutzzwecke und für den Löschwasserbezug benutzt.

Die neuen, leistungsfähigen Fassungen liegen zwischen Binnenkanal und Rhein. Vor allem längs dem Uferabschnitt unterhalb der Strassenbrücke Widnau—Wiesenrain (unterhalb dem Diepoldsauer Durchstich, Rheinkilometer 80,0 bis 84,2) können 60 000 m³/d (einschliesslich zwei Horizontalfilterbrunnen der Wasserversorgung St. Margrethen) entnommen werden. Dies entspricht einer spezifischen Filtratleistung (Uferfiltratmenge pro Laufmeter Ufer und Zeiteinheit) von rund 0,165 l/sm. In einem Uferabschnitt von 1,3 km Länge unterhalb von Oberfahr (Rheinkilometer 82,0 bis 83,3) wird noch kein Grundwasser gewonnen. Wird nur die genutzte Uferstrecke von 2,9 km Länge berücksichtigt, so beträgt die spezifische Filtratleistung 0,24 l/sm.

Aus qualitativen Gründen musste einer der beiden Vertikalfilterbrunnen der Wasserversorgung Diepoldsau am Alten Rhein aufgegeben und eine neue horizontale Fassung gebaut werden. Die ungenügende Qualität des Grundwassers aus der vorerst noch betriebenen vertikalen Fassung zwang schliesslich die Wasserversorgung, diese ebenfalls aufzugeben. Aus dem neuen horizontalen Brunnen dürfte nach Einbau einer dritten Pumpe die Entnahmemenge maximal 6480 m³/d betragen. Es bleibt zu hoffen, dass die gute Qualität des Wassers aus dem neuen Brunnen erhalten bleibt. Eine weitere Aufbereitung — das Grundwasser wird zurzeit belüftet — oder der Bau von anderweitigen Versorgungsmöglichkeiten (eigene Fassungsanlage am Rhein, Anschluss an eine linksrheinische Wasserversorgung) wäre andernfalls nicht zu umgehen.

Ungenutzte Grundwasservorkommen

Vorbemerkung

Aus quantitativen wie aus qualitativen Gründen ist das massgebende, unerschlossene Grundwasserpotential längs des Rheins zu suchen. Wohl können die bestehenden Grundwasserfassungen westlich des Rheintalischen Binnenkanals durch einen weiteren Ausbau der örtlichen Wasserversorgungen ergänzt werden. Die geringe Ergiebigkeit und eine kaum zu umgehende Aufbereitung lassen es fraglich erscheinen, ob ein solcher Ausbau zweckmässig sei. Grundwasservorkommen dieser Art sind im Gebiet Baffles, Altstätten und im Gebiet Wiesen, Berneck anzutreffen. Die zusätzlichen Entnahmemengen aus diesen beiden Vorkommen dürften höchstens 1000 bzw. 8600 m³/d betragen, sie können hier vernachlässigt werden. Eine Nutzung dieser Grundwasservorkommen hängt vor allem von der Wirtschaftlichkeit und von der eventuell höheren Versorgungssicherheit gegenüber andern Versorgungsmöglichkeiten ab (Wasserverbund, eigene Fassungsanlagen in Rheinnähe).

Aus den dargestellten Gründen konzentrierten wir unsere Abklärungen auf das Grundwasser, welches längs dem linken Rheinufer gewonnen werden kann. Die weiteren Ausführungen beschränken sich auf dieses Dargebot.

Hydrogeologische Verhältnisse

Die ungenutzten Grundwasservorräte können aufgrund der hydrogeologischen Angaben aus Sondierbohrungen, aus speziellen, auf die Grundwassererkundung angesetzten Versuchen und aus den Erfahrungen mit in Betrieb stehenden Grundwasserfassungen abgeschätzt werden.

Im Zusammenhang mit dem Nationalstrassenbau wurde der Untergrund durch eine grosse Anzahl von Sondierbohrungen auf seine Tragfähigkeit hin untersucht. Zusammen mit den eigens für die Grundwassererkundung abgeteuften Sondierbohrungen lässt sich ein praktisch lückenloses hydrogeologisches Längenprofil erstellen. Daraus ist ersichtlich, dass der Grundwasserstauer (undurchlässige Sohle) stufenartig nach jedem Engnis (Tütsch—Blattenberg, Kummaberg—Montlingerberg) abfällt. Die durchlässigen Schichten erreichen praktisch überall den mittleren Winterwasserspiegel des Rheins. Lediglich zwischen Kriessern und Diepoldsau schiebt sich eine markante undurchlässige Schicht aus Schwemmsand und Torf bis zum Rhein vor.

Die Durchlässigkeitswerte (*k*-Werte) des Grundwasserleiters wurden aus zahlreichen Pumpversuchen in Sondierbohrungen und in Probebrunnen, sowie aus den Betriebsverhältnissen in den bestehenden Fassungen bestimmt. Sie schwanken zwischen $3{,}2 \cdot 10^{-4}$ m/s und $6{,}3 \cdot 10^{-3}$ m/s. Die mittlere Durchlässigkeit dürfte bei $2{,}5 \cdot 10^{-3}$ m/s liegen.

Fassungsgebiete

Aus hygienischen Gründen können die Grundwasserfassungen nicht unmittelbar am Rheinufer erstellt werden. Auf einer Fliessstrecke, die etwa 100 m betragen sollte, werden die gelösten Schmutzstoffe vermindert und die Keime weitgehend abgetötet. In Engnissen (Blattenberg bei Oberriet, Heldsberg bei Au), wo zusätzlich Verkehrswege und Kanäle Platz beanspruchen, ist deshalb eine (im Falle Heldsberg eine weitere) Grundwassernutzung nicht möglich. Für eine Grundwassernutzung ist bei Rüthi ein Uferabschnitt von 1,5 km, das Rheinvorland vom Zollamt Blatten bis un-

terhalb Kriessern (Uferabschnitt 7,2 km) und von der mittleren Durchstichbrücke und der Brücke Au—Lustenau (Uferabschntt 4,5 km) geeignet. Mit dem bereits genutzten Uferabschnitt bei Au (Gruppenwasserversorgung Au-Balgach-Rebstein-Widnau und Wasserversorgung Au-Monstein) beträgt der gesamte, für die Grundwassernutzung in Frage kommende Uferabschnitt in der Region Rheintal rund 13,7 km.

Das Grundwasserdargebot des 1 km langen Uferabschnitts beim möglichen Kernkraftwerk Rüthi kann einmal zur Bedarfsdeckung des Kraftwerkes beigezogen werden, es wurde in der Bilanzrechnung nicht berücksichtigt.

Das Fassungsgebiet bei Rüthi liegt westlich von Autostrasse und Pipeline. Das infiltrierende Grundwasser unterquert diese Bauwerke. Den hygienischen Anforderungen kann durch eine grössere Sickerstrecke Rechnung getragen werden. Das Rheininfiltrat ist durch Pipeline und N 13 zusätzlich gefährdet. Weil aber der Sauerstoffgehalt des Grundwassers im Bereich Rüthi auch bei grösseren Abständen vom Rheinufer noch genügend ist, können die Wasserfassungen in genügendem Abstand von den genannten Gefährdungen erstellt werden. Das bedingt allerdings Schutzmassnahmen im Zusammenhang mit dem Bau der zweiten Fahrbahn.

Die übrigen Fassungsgebiete liegen im unüberbauten Rheinvorland, das nur extensiv genutzt wird (Weidgang, Graswirtschaft). Allerdings ist das Gelände hinter dem Hochwasserdamm teilweise überbaut (Wohn- und Industriezonen, Nationalstrasse, Pipeline). Die Gefahr einer Beeinträchtigung durch verunreinigtes, landseitiges Grundwasser ist nicht auszuschliessen. Angesichts des kleinen Anteils an landseitigem Grundwasser würde sich aber eine solche Beeinflussung auf die Gewässergüte nur in einem kleinen Umkreis auswirken.

Grundwasserertrag

Zur Abschätzung der gewinnbaren Grundwassermenge konnten wir unsere Untersuchungen auf die Grundwasseruntersuchungen im Raum Montlingen—Oberriet und auf die Fassungsanlagen der Viscosuisse (Widnau) abstützen.

Im Raum Montlingen—Oberriet wurde zur Ermittlung der Entnahmemenge ein Probebrunnen erstellt. Aus dessen Beobachtung wurde schliesslich über ein Modell die Gesamtergiebigkeit des Untersuchungsgebietes rechnerisch ermittelt.

Obwohl die Fassungsanlagen der Viscosuisse uneinheitlich und nicht optimal angeordnet sind, kann aus den Betriebserfahrungen und Beobachtungen doch auf die Ergiebigkeit des genutzten Grundwasserleiters geschlossen werden.

Vergleichen wir die beiden Grundwasservorkommen und deren Ergiebigkeit miteinander, so zeigt sich, dass das Grundwasservorkommen Montlingen—Oberriet bessere hydrogeologische Verhältnisse aufweist. Das Verhältnis der Transmissibilität (Mass für die Ergiebigkeit eines Grundwasserleiters) beträgt etwa 2,5 : 1. Wird die in der Modellrechnung Montlingen—Oberriet ermittelte spezifische Filtratleistung um den Faktor 2,5 vermindert, ergeben sich vergleichbare Leistungen von 0,11 l/sm für den Winter und von 0,21 l/sm für den Sommer. Diese — im Vergleich zur Betriebserfahrung der Viscosuisse — etwas tieferen Werte dürften auf die in der Modellrechnung berücksichtigten Sicherheitszuschläge zurückzuführen sein. Die beiden voneinander unabhängigen Untersuchungen ergeben aber ähnliche miteinander vergleichbare Werte. Die mögliche spezifische Filtratleistung im Gebiet Montlingen—Oberriet ist damit aufgrund von Betriebserfahrungen belegt.

Über die Beziehung zwischen Transmissibilität und spezifischer Filtratleistung bei winterlichen und sommerlichen Abflussverhältnissen des Rheins wurde folgendes ermittelt:

Die spezifische Filtratleistung im Winter beträgt 55 bis 75 % der im Sommer zu erwartenden Filtratleistung. Ob die dargestellte Beziehung zwischen Transmissibilität und spezifischer Filtratleistung linear ist, kann heute noch nicht eindeutig festgestellt werden. Aufgrund von theoretischen Überlegungen dürfte es sich eher um eine konvexe Kurve handeln (spezifische Filtratleistung bei hoher Transmissibilität durch Sohlenpassage begrenzt), so dass unsere Annahmen eher auf der sicheren Seite (geringere Filtratleistungen) liegen. Die hydrogeologischen Unsicherheiten dürften durch einen nicht weiter belegten Schwankungsbereich von ±10 % genügend berücksichtigt sein.

Mit diesen hydrogeologischen Randbedingungen, wie sie für die möglichen Fassungsgebiete ermittelt wurden, lassen sich die einzelnen Grundwasserentnahmemengen bestimmen. In der Rechnung wurden die Unsicherheiten durch den erwähnten Schwankungsbereich von ±10 % berücksichtigt.

Aus den bisherigen Untersuchungen lassen sich folgende Entnahmemengen aus dem Uferabschnitt zwischen Rüthi und Au erwarten:

im Winter
2,850 bis 3,310 m^3/s oder 225 000 bis 260 000 m^3/d
im Sommer
4,340 bis 5,275 m^3/s oder 340 000 bis 400 000 m^3/d
(22stündiger Pumbetrieb)

Verglichen mit der Abflussmenge des Rheins (Messstation Schmitter) würde die Entnahme zwischen folgenden Grenzwerten schwanken:

Unterer Wert: 1,3 % (minimale Entnahme von 2,85 m^3/s im Winter bei mittlerem Abfluss von 224 m^3/s).

Oberer Wert: 6,2 % (maximale Entnahme von 5,275 m^3/s im Sommer bei mittlerem 18tägigem Niederwasser von 85,3 m^3/s).

Etwas mehr als die Hälfte des gesamten gewinnbaren Uferfiltrats lässt sich aus dem Abschnitt Oberriet—Kriessern gewinnen, während die Anteile aus den Abschnitten Diepoldsau—Au 24 % und aus dem Abschnitt Rüthi 14,5 % betragen.

Die angegebenen Werte beruhen auf der Annahme, dass die Fassungsanlagen entlang dem gesamten Uferanstoss im Grundwassergebiet gleichmässig verteilt sind. Ferner soll zwischen Fassungsanlagen und Rheinufer aus hygienischen Gründen eine 100 m lange Sickerstrecke eingehalten werden. Die Anpassung der Entnahmemenge an die Rheinwasserführung, die disperse Verteilung der Fassungen sowie deren Abstand zum Rhein bieten genügend Gewähr, dass das Grundwasser auf der österreichischen Seite des Rheins nicht unzulässig beeinflusst wird.

Überprüfung der Ergebnisse

Die bisher erläuterten Untersuchungen beruhen auf punktartigen Aufschlüssen des Grundwasserleiters. Durch Bohrprofile, aus Pumpversuchen von Sondierbohrungen und aus den vorhandenen Fassungen lassen sich nur die lokal herrschenden Verhältnisse erfassen. Dies kann zu grösseren Unsicherheiten führen, falls die hydrogeologischen Verhältnisse auf kurze Strecken stark ändern. Die bisher ermittelten Grössen wurden deshalb durch eine zweite, unabhängige Untersuchung überprüft. Für das Einzugsgebiet des Rheintalischen Binnenkanals zwischen Oberriet (Blatten) und St. Margrethen wurde die folgende Wasserbilanzrechnung aufgestellt.

Die mögliche Grundwasserentnahme ist jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen. Dies hängt mit der Wasser-

spiegellage von Rhein und Rheintalischem Binnenkanal zusammen. Ähnliche jahreszeitliche Schwankungen treten auch für die natürliche Infiltration des Rheins in den Binnenkanal auf. Die Infiltrationsstärke ist abhängig von der Filterleistung der Flusssohle, von der Durchlässigkeit und der Mächtigkeit des Grundwasserleiters (zusammengefasst in der Transmissibilität) und vom Grundwasserspiegelgefälle. Aufgrund der bisher verwendeten hydrogeologischen Daten lässt sich im untersuchten Abschnitt im Sommer eine Infiltration von durchschnittlich 1,580 m³/s und im Winter eine solche von 0,360 m³/s berechnen. Im Jahre 1974 verzeichnete der Rhein bei Schmitter einen mittleren Abfluss von 231 m³/s, dieser wurde nur an rund 130 Tagen überschritten. Unter der Annahme, dass während fünf Monaten Sommer-Infiltrationsverhältnisse und während den restlichen sieben Monaten Winter-Infiltrationsverhältnisse herrschten, betrug die mittlere Infiltration im Jahre 1974 rund 0,870 m³/s.

Damit betrug die mittlere natürliche Filtratleistung im Jahre 1974 rund 0,05 l/sm. Durch den Betrieb von Fassungsanlagen in Rheinnähe wird das Grundwasserspiegelgefälle vergrössert. Dadurch nimmt auch die spezifische Filtratleistung zu und erreicht so eine Grössenordnung von 0,15 bis 0,50 l/sm.

In der Bilanzrechnung werden Zuflüsse und Abflüsse zum und aus dem Testgebiet untersucht. Während die Wasserführung des Rheintalischen Binnenkanals und die Niederschlagsmenge bekannt sind, müssen Infiltration und Verdunstung geschätzt werden.

Wird die mittlere Infiltration berücksichtigt, wie sie sich aus den hydrogeologischen Grundlagen ergibt, so beträgt die Verdunstung 4,3 m³/s oder 68 % der Niederschlagsmenge, ein hoch erscheinender Wert.

Anstatt von der zu bestimmenden Infiltration auszugehen, kann über die Verdunstung die Infiltration ermittelt werden. Über die Wasserbilanz von verschiedenen kleineren Testgebieten, welche das Eidg. Amt für Wasserwirtschaft untersucht, wurde für das Kalenderjahr 1974 die Beziehung zwischen Verdunstung und mittlerer Meereshöhe des Einzugsgebietes ermittelt. Die Verdunstung (in % des Niederschlags ausgedrückt) nimmt mit zunehmender Höhenlage des Einzugsgebietes ab. Die mittlere Höhe des untersuchten Einzugsgebietes, welches der Rheintalische Binnenkanal zwischen Oberriet, Blatten und St. Margrethen entwässert, liegt etwa auf 550 m ü. M. Die aus der Wasserbilanz errechnete Verdunstung von 68 % des Niederschlags liegt im Bereich der übrigen, aus andern Testgebieten ermittelten Werte.

Durch weitere Überlegungen wurde versucht, die Genauigkeit der aufgestellten Wasserbilanz abzuschätzen. Mit Hilfe der Fehlertheorie und den bekannten Messfehlern für Niederschlag und Abfluss wurde der mutmassliche Schwankungsbereich der Verdunstung ermittelt. In dieser Berechnung wurde vorausgesetzt, dass die zweite Unbekannte — die Infiltration vom Rhein — 0,87 m³/s betrage.

Gesamtes Wasserdargebot der Region Rheintal

	Minimum m³/d	Mittel m³/d
Quellwasser	4 155	9 490
zur Zeit genutztes Grundwasser		
westlich dem Rheintalischen Binnenkanal	15 950	15 950
in Rheinnähe	57 650	57 650
unerschlossenes Grundwasser in Rheinnähe		
unterer Wert	167 350	282 350
oberer Wert	202 350	342 350
Zusammen		
unterer Wert	245 105	385 440
oberer Wert	280 105	425 440

Nicht enthalten sind die Erträge der zwei Horizontalfilterbrunnen der Wasserversorgung St. Margrethen, welche nicht in der Region Rheintal genützt werden; ebenfalls nicht enthalten ist Grundwasser, welches westlich des Rheintalischen Binnenkanals zusätzlich gewonnen werden könnte, aber aufbereitet werden müsste; der Rheinanstoss von 1 km Länge im Bereich eines allfälligen Kernkraftwerkes bei Rüthi ist auch nicht berücksichtigt.

Die Niederschlagsmenge im Untersuchungsgebiet wurde aus dem Jahresniederschlag 1974 der Messstationen Schwäbrig (Messfehler 10 bis 15 %), Altstätten (Messfehler 5 bis 8 %) und Widnau (Messfehler 5 bis 8 %) ermittelt. Der räumlichen Ausdehnung entsprechend wurde das Untersuchungsgebiet den drei Regenmessstationen zugeordnet. Dadurch lässt sich für das Jahr 1974 eine mittlere Niederschlagshöhe von 1390 mm berechnen.

Die Messgenauigkeit der durchschnittlichen Jahresabflussmenge des Rheintalischen Binnenkanals beträgt sowohl in Oberriet (Blatten) als auch in St. Margrethen 97 bis 98 %.

Werden die Messfehler proportional zur absoluten Grösse ihrer Messwerte gewichtet, so resultiert für die Verdunstung ein relativer Fehler von ± 6,1 %. Dies entspricht einem absoluten Fehler von ± 0,260 m³/s. Die Wahrscheinlichkeit, dass die Verdunstung im Bereich von 4,040 bis 4,560 m³/s liegt oder 63,8 bis 72,0 % der Niederschlagsmenge erreicht, liegt bei 72,7 %.

Wird nun umgekehrt der berechnete Messfehler der Verdunstung von ± 0,260 m³/s mit der mittleren Infiltration von 0,870 m³/s verglichen, so ergibt sich daraus ein Schwankungsbereich von ± 30 %.

Diese Fehlerrechnungen und Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen sind als Anhaltspunkte für die Abschätzung der Genauigkeit der aufgestellten Wasserbilanz zu betrachten. Zur genaueren Angabe des wahrscheinlichen Schwankungsbereiches der Bilanzrechnung fehlen die Messreihen für die einzelnen Messgrössen.

Zusammenstellung der Analysenwerte des Grundwassers im Raum Montlingen—Bodensee

Probenahmen	Gesamthärte fH°	Eisen Fe mg/l	Mangan Mn mg/l	Sauerstoffsättigung %	pH-Wert	Bakteriologischer Befund ±
Montlingen	20,25	0,275	Spur	6,6	7,1	—
Altstätten (Aach) Pumpwerk	38,50	0,15	0,05	17,2	—	+
Kriessern	14,75	< 0,01	< 0,01	22,9	—	?
Diepoldsau Pumpwerk	25,50	0,015	0	19,0	7,25	+
Balgach Pumpwerk	43,75	0,19	0,012	6,35	7,0	+
Widnau Pumpwerk	44,50	> 0,01	0	7,05	7,05	+
Au	55,00	2,92	0,63	2,2	6,9	+
St. Margrethen	42,50	1,58	0,32	0	6,95	+
Thal	35,00	~ 1,0	—	—	—	+

Schlussfolgerungen

Abschliessend kann festgestellt werden, dass die Wasserbilanzrechnung die hydrogeologischen Werte, mit denen bis anhin gerechnet wurde, der Grössenordnung nach bestätigt.

Aus der Tabelle geht hervor, dass der Quellwasseranteil am Gesamtdargebot nur etwa 2 % beträgt. Mit den vorhandenen Fassungsanlagen können im Winter rund 1/4, im Sommer 1/6 des in Rheinnähe vorhandenen Wasserdargebotes ausgeschöpft werden. Der verbleibende Anteil von 3/4 bzw. 5/6 des unerschlossenen Rheinfiltrates bildet die Reserve der Region Rheintal.

Der chemisch-bakteriologische Zustand des Grundwassers

Die hydrogeologischen Randbedingungen spiegeln sich in der Qualität des Grundwassers wider, aber auch in der Ergiebigkeit der bestehenden Fassungen. Das landseitige Grundwasser enthält vielfach keinen oder wenig Sauerstoff, dafür weist es gelöstes Eisen und Mangan, hohe Stickstoffgehalte und organische Belastungen auf, was eine Nutzung ohne Aufbereitung nicht erlaubt. Demgegenüber weist das in Rheinnähe gefasste Grundwasser keine derartigen negativen Qualitätsmerkmale auf. Lediglich der Sauerstoffgehalt ist allgemein niedrig, so dass das gewonnene Grundwasser neben einer allfälligen Belüftung direkt ins Netz eingespeist werden kann.

Schlussbemerkungen

In gewissen Abschnitten längs des Rheins kommt es beim Betrieb von Grundwasser-Pumpanlagen zu einer direkten Beeinflussung der beidseitigen Grundwasserspiegel. Pumpenleistungen im Pumpwerk Mäder (Rheinvorland Vorarlberg) von 10 000 l/min senken das Grundwasser auf dem Gebiet Altstätten um 14 cm ab. Eine Koordination der Planung von neuen Pumpwerken links und rechts des Rheins ist unerlässlich.

Was ist beim überrheinischen Nachbarn sonst noch geplant? Fabriken, die wassergefährdende Flüssigkeiten verarbeiten, Deponien, Kiesgruben, Überbauungen, Abwasseranlagen usw.?

Das Problem der Bodenseeregulierung ist ungelöst. Bei Hochwasserstand wird das Grundwasser zurückgestaut und teilweise mit Bodenseewasser vermischt. Der Rückstau reicht 7 bis 8 km talaufwärts. Für die Qualität des Grundwassers kann in diesem untersten Talbereich nicht mehr garantiert werden. Es ist nötig, dass dieser — man könnte sagen natürlichen — Grundwasserverschmutzung Einhalt geboten wird.

6.11. Das Vorarlberger Rheintal

Hermann Loacker

Die Ausgestaltung des Tales während und nach der Eiszeit

Während der letzten Eiszeit war das Rheintal von einem mächtigen Eisstrom bedeckt. Die Spuren früherer Vergletscherungen sind verwischt. Die Rückzugsstadien des Rheingletschers nach der Würmeiszeit sind jedoch auch heute noch, als jetzt trockengelegte Schmelzwasserrinnen am Hang, gut erhalten. Der Gletscher hat in mehreren Eiszeiten das Tal je nach Gesteinshärte und tektonischer Zerrüttung des Gesteins verschieden tief in einzelne Bekken und Rücken ausgekolkt. Die Rücken ragen heute z. T. als Inselberge über die Talfüllung heraus.

Die Tiefe der Talfüllung wurde früher von verschiedenen Bearbeitern zwischen 150 und 400 m geschätzt. Im Jahre 1961 hat die Bohrung Dornbirn I in 336,50 m unter Terrain die Felsoberfläche angefahren. Die Bohrung liegt nicht in der Mitte des Talbeckens, sondern am Rand. Es kann daher angenommen werden, dass in Beckenmitte die Felsoberfläche tiefer als 400 m unter Terrain liegt. In der Bohrung Dornbirn I besteht die Beckenfüllung unterhalb 50 m fast ausschliessslich aus tonigen bis feinsandigen Seeablagerungen. Grundmoräne wurde in dieser Bohrung nicht angetroffen, wohl aber, knapp über der Oberfläche des Felsuntergrundes, Lagen von kantengerundeten Schottern, die als umgelagerte Moränen oder als Eisdriftsedimente gedeutet werden können. Es wird angenommen, dass im Schatten von ins Tal vorragenden Felsspornen und von Inselbergen über der Felsoberfläche mächtige Moränenmassen liegen.

Die Rückzugsstadien des Rheingletschers und die Deltaablagerungen der Ur-III

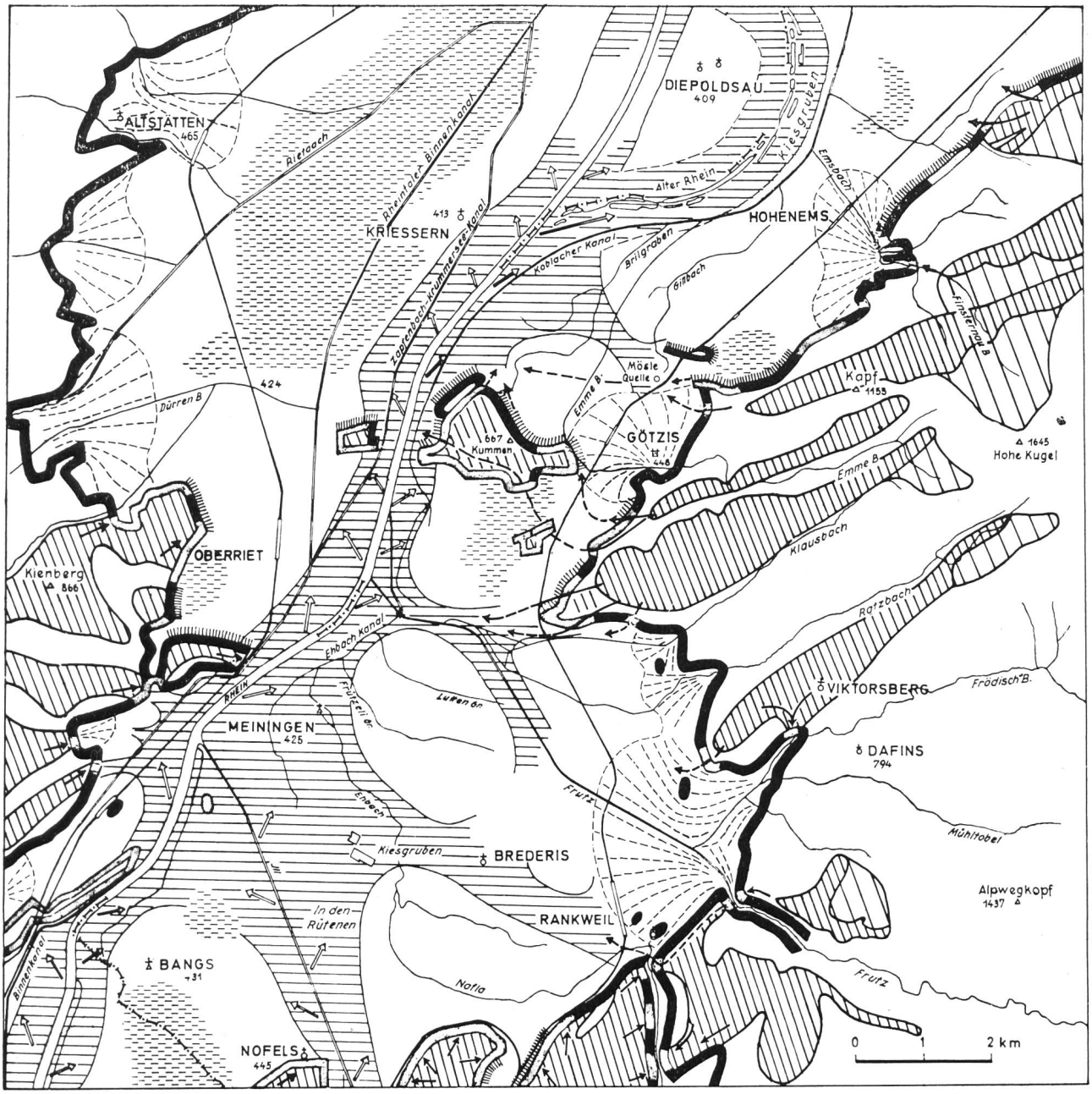
Der Rückzug des Würmgletschers verlief nicht gleichmässig. Es lassen sich im Bereich des oberen Vorarlberger Rheintales mehrere Rückzugsstände nachweisen. Diese beurkunden Zeiten, in denen der Gletscher längere Zeit stationär blieb oder sogar noch etwas vorstiess.

Zur Zeit als das Rheintal noch vollständig mit Eis bedeckt war, war schon ein grosser Teil des Einzugsgebietes der Bregenzerache eisfrei. Die Schmelzwässer dieses Gebietes führten zuerst mehr Feinsedimente, wie Tone und Schluffe, später auch mächtige Deltaschotter in den alten trogförmigen Tallauf der Bregenzerache zwischen Kennelbach und Langen. Die Bregenzerache hat nach Abschmelzen des Rheingletschers an der südlichen Seite des alten Tales eine junge Schlucht in die Molassegesteine eingeschnitten.

Etwas später wurden auch die Bregenzer Bucht und der Talrand bis zur Ortsgrenze von Schwarzach im Süden eisfrei. Diese Bucht wurde nach *J. Blumrich, 1921,* durch den Hauptstamm des Rheingletschers, der westlich des Molasseinselberges des Klosters Riedenburg lag, vom eigentlichen eisfreien Bereich des Bodensees abgetrennt. Eine Gletscherzunge reichte von Norden her noch in den Bereich Feldmoos hinein. Der Spiegel des Sees lag bei 430 m. In diesen See schüttete die Bregenzerache die Deltaschotter der Terrassen von Wolfurt und vom Ölrain.

Mächtige Schmelzwassersedimente im Innern des Dornbirnerachtales zeigen an, dass auch das Einzugsgebiet der Dornbirnerache bedeutend früher eisfrei war als das Haupttal.

Die Schmelzwässer der Ur-III flossen am östlichen Rand



Einzugsgebiete von Karstwässern

Karstwasserzufluß

Wahrscheinliche Austrittsstellen des Karstwassers u. sein möglicher Verlauf im Tal (nur in Vorarlberg)

Talrand mit dichtem Felsuntergrund

Talrand mit infolge Verkarstung durchlässigem Felsuntergrund

Unter der Talebene vergrabene durchlässige Schutthalden (Grundwasser wechselnder Qualität, oft mit großer Ergiebigkeit)

Begleitgrundwässer und Bergwasserströme (meist gute Qualität und oft große Ergiebigkeit)

Infiltrationswasser (vom Rhein zu den Binnenkanälen)

Sonstige oberflächennahe Grundwässer der Talebene (meist geringere Qualität und oft geringe Ergiebigkeit)

Schuttkegel der Bäche (Grundwasser von wechselnder Qualität in größerer Tiefe, meist geringe Ergiebigkeit)

Torfboden (Grundwasser schlechter Qualität, geringe Ergiebigkeit)

Bild 6.11.1. Hydrogeologische Karte 1 : 100 000 des Vorarlberger Rheintales (Aus R. Oberhauser: Zur Hydrogeologie des Vorarlberger Rheintales zwischen Feldkirch und Hohenems-Klien mit besonderer Berücksichtigung der Bergwasserzuflüsse. Verh. Geol. B.-A., Jahrgang 1970, H. 2, S. 346—352, Wien, Juni 1970).

des Rheingletschers ab und sind am Hang durch Eisrandterrassen und tief ausgekolkte Schmelzwasserrinnen belegt. Die Erosion war zu dieser Zeit, bedingt durch mächtige, vom Gletscher freigelegte, nicht bewachsene Moränenmassen, besonders stark. Bei ihrer Einmündung ins eisfreie Tal schüttete die Ur-Ill jeweils Deltas in den Rheintal-Bodensee. Diese mächtigen, meist aus Schotter bestehenden Deltas spielen als Grundwasserträger im oberen Vorarlberger Rheintal eine grosse Rolle. Sie sind den Feinsedimenten der Rheintalfüllung eingelagert; die Schwemmkegel der heutigen Nebenbäche sitzen vielfach diesen alten Ur-Illdeltas auf.

R. Handke, 1970, gibt im Rheintal zwischen Dornbirn und der Grenze zu Liechtenstein folgende Eisrandlagen an: Herbrugg—Dornbirn; Widnau—Hohenems; Altstätten—Altach; Montlingen—Götzis; Rüthi—Rankweil; Bühel—Feldkirch; Sennwald—Tisis.

Die Schwemmfächer der Ur-Ill während der nördlichen drei Eisrandlagen sind völlig unter den Feinsedimenten der Rheintal-Beckenfüllung verschwunden. Die diesen Eisstadien zugehörigen Schmelzwasserrinnen der Ur-Ill können am Hang jedoch noch gut verfolgt werden. Während dieser Zeit wurden am Götznerberg Verbauungsschotter abgelagert.

Zur Zeit der Eisrandlage Montlingen—Götzis wurde das Delta der Ur-Ill im Raume Götzis aufgebaut. Dieses Delta sitzt untiefen Felsrippen, welche von Götzis zu den Inselbergen im Untergrund durchlaufen, auf. Dieses alte Delta wird vom Schwemmfächer des Emmebaches überlagert.

Die zur Eisrandlage Gruppen—Rüthi—Hirschensprung—Rankweil zugehörige Schmelzwasserrinne verläuft über das Fritzen- und Rosstobel zur heutigen Frutzmündung. Der Schwemmfächer der Frutz sitzt diesem Ur-Illdelta auf.

Während der Eisrandlage Sennwald—Bühel—Feldkirch entwässerte die Ur-Ill zuerst über das Valdunatal. Sie baute bei Brederis ein mächtiges Delta in den Rheintal-Bodensee, dessen Scheitel wahrscheinlich im Bereich der Strasse Meiningen—Brederis—Rankweil begraben liegt. Durch kleinere Gletschervorstösse des Walgaugletschers wurde dieser Wasserweg über das Valdunatal wieder abgeriegelt. Die Talung Schildried—Göfis Kirchdorf wurde mit Moränenmaterial verschoppt und ein östlicher Seitenlappen folgte dem damals vor dem Bergsturz vom Spiegelstein noch bedeutend breiteren Tal des Schwarzen Sees und baute den schönen Endmoränenwall zwischen Düns und Agasella auf. Bei Maria Grün kam es zu Ablagerungen sowohl des Walgau- als auch des Rheingletschers. Die Ebene zwischen diesen beiden Moränenwällen wird von einem kleinen Moor eingenommen.

Zu dieser Zeit wurde wahrscheinlich durch einen an der Stirn des Walgaugletschers entspringenden Gletscherbach die Schlucht der Felsenau neu angelegt oder wieder reaktiviert, die dann beim weiteren Rückzug des Rheingletschers als Abfluss für die Ill benutzt wurde.

Die nächstfolgende Position war ein Gletscherstand von Bühel—Altenstadt. Während dieser Eisrandlage war der Abfluss der Ur-Ill, die durch die Ur-Landquart noch verstärkt wurde, durch die untere Illschlucht durch einen Gletscherstand bei Gisingen blockiert. Die Ur-Ill floss über Levis—Altenstadt ab und schotterte diese Talmulde zwischen Ardetzenberg und Amberg zu. Nach Rückzug des Gletschers in Gisingen erfolgte die Entwässerung durch die entweder interglazial oder spätglazial schon früher angelegte Schlucht zwischen Veits- und Margaretenkapf. Die Talung bei Tosters zwischen Schellenberg und Blasenberg wurde nach weiterem Abschmelzen des Gletschers sicherlich noch für einige Zeit als Abfluss der Ur-Landquart und der bereits eisfreien Gebiete in Liechtenstein in den Rheintal-Bodensee benützt.

Die Verlandungsgeschichte des Rheintal-Bodensees

Nach dem Rückzug des Würmgletschers blieb im Bodensee-Rheintal ein fjordartiger See zurück, der weit bis ins Alpeninnere reichte und über den Walensee mit dem Zürichsee in Verbindung stand (Rhein-Linth-See). Die Strandlinien der späteiszeitlichen Spiegelhöhen des Bodensees (415 m, 410 m und 405 m), die nach *W. Schmiedle,* 1942, an den Ufern des nordwestlichen Bodensees beobachtet werden können, sind im oberen Vorarlberger Rheintal verwischt. Lediglich im Raume Bregenz sind sie nach *J. Blumrich,* 1921, am Fusse der Ölrainterrasse noch erhalten. Im Jahre 1968 wurden durch *W. Krieg* in einer Kiesgrube im mittleren Teil des Illschwemmfächers 16 m unter Terrain (in 416 m Seehöhe) Reste von Wurzelstöcken und Baumstämmen geborgen. Eine absolute Altersbestimmung ergab ein Alter von 10 000 Jahren. W. Krieg will damit um diese Zeit ein nahes Bodenseeufer im Illschwemmfächer nachweisen.

In diesen nacheiszeitlichen Rhein-Linth-See schob der Rhein sein Mündungsdelta nordwärts; der Zürich- und der Walensee wurden durch die Ablagerungen der Linth getrennt, der Rheintal-Bodensee und der Walensee durch die Ablagerungen der Seez geteilt. Neben dem Hauptdelta des Rheins im Norden — die Auflandung durch das Delta des Rheins ist nach *J. Blumrich,* 1942, bis in die Gegend Fläscherberg—Vaduz sehr rasch gegangen — schütteten die Nebenbäche ihre Deltas in den unterhalb des Fläscherberges sehr breiten Rheintal-Bodensee. Diese Deltas lassen sich in einen wurzelnahen Teil mit viel Grobmaterial und einen wurzelferneren Teil gliedern. Im letzteren verzahnen sich die Schotter- und Sandeinschübe der Nebenbäche mit den Feinsedimenten der Beckenfüllung. Im inneren Teil des Beckens wurde zur Hauptsache lehmiger Feinsand abgelagert.

Nach dem Verlanden des Rheintal-Bodensees pendelte der Fluss in der breiten Talebene. So wurde z. B. der Schwemmkegel von Götzis im Norden, im Bereich der neuen Sportanlage, von einer alten Rheinschlinge (Rheinschlinge von Altach) angeschnitten. Dieser Anschnitt lässt sich als Versteilung vom Kummenberg bis Altach verfolgen. Die Breite und Mächtigkeit der Geschiebeablagerungen des Rheins nimmt von Süden nach Norden ab, unterhalb der Talverengung Kummenberg—Montlingerberg ist die Mächtigkeit der Schotter und Grobsande mit mehr als 50 m besonders gross. An der damaligen Rheinmündung konnten nach *Krapf,* 1901, erst ab 1830 Kiesbänke beobachtet werden; es dauerte daher sehr lange, ehe der Geschiebestrom dem Schlammdelta nachgerückt war.

Die Ill ist für den Unterlauf des Rheins der Hauptgeschiebebringer. Die Illschotter erreichen im Bereich des Illschwemmfächers eine Mächtigkeit von 20 bis 26 m; darunter liegen lehmige Feinsande. Diese Feinsedimente entstammen einem Schlammdelta des Abflusses des ehemaligen Walgausees. Der Walgau war zu dieser Zeit noch nicht verlandet, und die Geröllmassen aus dem Illeinzugsgebiet konnten noch nicht bis ins heutige Illdelta vordringen.

Die Schotter im Bereich des Schwemmfächers der Bregenzerache sind bedeutend mächtiger. Eine Bohrung im Grundwasserschutzgebiet des Mehrerauer Waldes, also schon im randlichen Teil des Schwemmfächers, zeigte eine Schottermächtigkeit von 32 m. Das Delta der Bregenzerache drang schon in sehr früher Zeit in den Rheintal-Bodensee vor.

In denjenigen Gegenden, die weder von den Deltas der Seitenbäche noch vom Hochwasser des Hauptstroms direkt erreicht wurden, bildeten sich Seen. Diese langsam verlandenden Wasserflächen blieben bis in jüngste Zeit erhalten. Zahlreiche Flurnamen im Rheintal erinnern daran. Durch die Produktion von pflanzlichem Material, das unter Wasser vertorfte, verlandeten diese Seen. Bei grossen Hochwässern des Rheins wurden diese Seelachen überflutet, so dass vielfach Lehm und Torf in Wechsellagerung auftreten. Die Nebenbäche pendelten etwas hin und her und schütteten im wurzelferneren Bereich Grobsedimente in diese Moorlandschaft. Im Randbereich der Schwemmfächer der Frutz, der Dornbirnerache und weiterer kleinerer Nebenbäche wechsellagern daher Torf, Schotter, Lehm und Sand.

Die heutigen Grund- und Bergwasserverhältnisse im Tal- und Talrandbereich

Wie schon erwähnt, besteht die Beckenfüllung des alten Bodensee-Rheintales in Vorarlberg aus lehmigen Feinsanden, die als Grundwasserträger uninteressant sind. Gröbere Lockermassen als Grundwasserträger finden sich nur im Bereich der Rheinbegleitschotter, in den Schwemmfächern der Nebenbäche und den Deltas der Ur-Ill. Wichtig für die Alimentation des Grundwassers ist ausser der Versickerung des Niederschlages im Talbodenbereich die Infiltration der Fliessgewässer Rhein, Frutz, Ill, Dornbirnerache, Bregenzerache und weiterer Nebenbäche ins Grundwasser, auch die Einspeisung von Bergwässern in die Talauffüllung. Die Böschungen zum tiefen alten Seeboden des Rheintal-Bodensees tragen über anstehendem Fels meist Moräne und vielfach, insbesondere unter den fast unmittelbar aus dem Tal aufsteigenden Felswänden im Bereich zwischen der Grenze Hohenems—Dornbirn und Klaus und im Bereich Feldkirch, eine mächtige Hangschuttüberdeckung. Dieser Hangschutt ist sperrig und locker gelagert und hat teilweise ein Porenvolumen bis über 40 Prozent. In diesem Hangschutt kann sich Grundwasser in grossen Mengen anreichern. Infolge der grossen Durchlässigkeit können die Wässer hier rasch fliessen und längs der Talränder auf weite Strecken zirkulieren. Sie finden entweder einen Anschluss an ein Grundwasserfeld oder sie treten in Tiefpunkten als Quellen aus. Inwieweit die das Rheintal unterquerenden Schrattenkalkzüge für eine Grundwassergewinnung brauchbar sind, müsste näher untersucht werden.

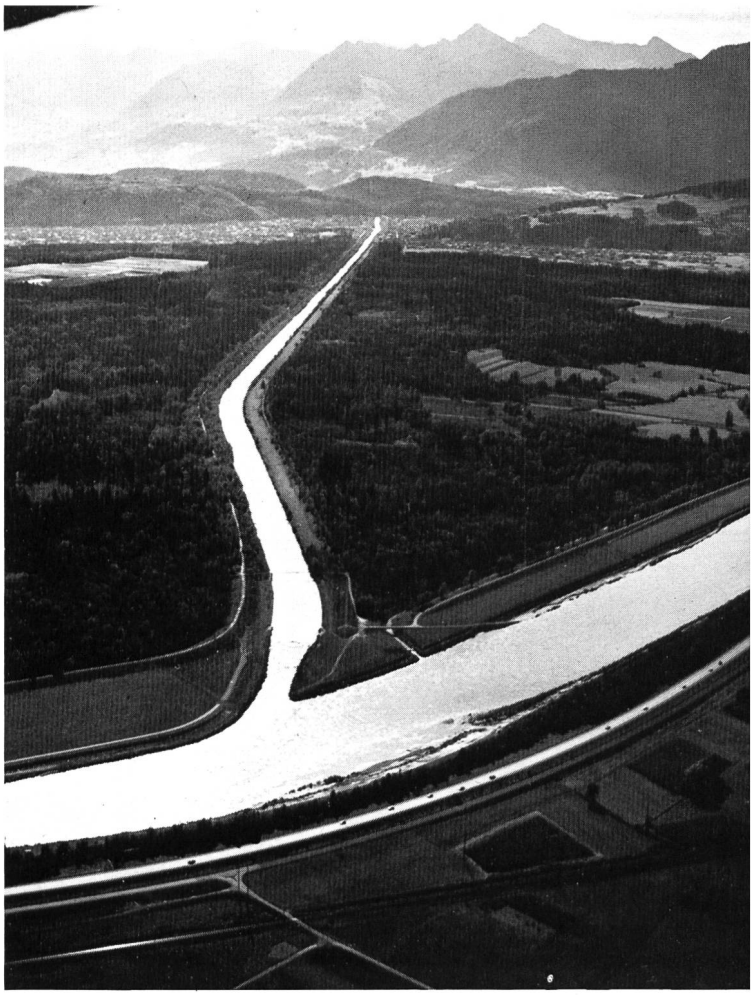
Es ist geplant, über das gesamte Vorarlberger Rheintal ein Grundwasserpegelnetz zu errichten. Das derzeitig beobachtete Grundwasserpegelnetz umfasst nur den engen Raum des Illschwemmfächers unterhalb Gisingen. In der Rheinaue zwischen Koblach und Meiningen ist ein Grundwasserpegelnetz erstellt, wird jedoch derzeit noch nicht regelmässig beobachtet. Zurzeit wird im Bereich des Schwemmfächers der Bregenzerach ein Grundwasserpegelnetz aufgebaut.

Der Illschwemmfächer und der Schwemmfächer der Ur-Ill über Feldkirch—Levis—Altenstadt

Das bedeutendste Grundwasserhoffnungsgebiet im Vorarlberger Rheintal ist der Schwemmfächer der Ill. Er ist in seinem unteren und zentralen Teil unbesiedelt und zum grössten Teil mit Wald bedeckt. Die Illschotter sind zwischen 20 und 26 m mächtig. Im Jahre 1969 wurde von den Vorarlberger Illwerken in diesem Gebiet ein Grundwasserpegelnetz errichtet, das seit dem Jahre 1973 vom Landeswasserbauamt betreut wird. Der Verlauf der Grundwasserströmungsrichtungen ist daher hier gut bekannt.

Bild 6.11.2. oben. Blick von Norden ins Vorarlberger Rheintal bei Hohenems.

Bild 6.11.3. unten. Ill und Illmündung.



Bedingt durch die Felsschwellen in den beiden Illschluchten muss sich das Grundwasser in den Bereichen von Feldkirch—Levis—Altenstadt und Nofels—Gisingen neu bilden. Im Gebiet von Nofels—Gisingen—Tosters liegt der Grundwasserspiegel daher sehr tief unter Terrain. In vier Kernbohrungen, die an der Bangserstrasse für die Bundesbahn-Unterführung Nofels im Mai 1972 ausgeführt wurden, wurde der Grundwasserspiegel in 17 m Tiefe nicht erreicht, er lag also tiefer als 434 m ü. A. Nach Mitteilung von Einheimischen wurde in einem Brunnen im Ried von Tosters-Hub unter einer Überdeckung von 8 m Torf und Lehm ein Grundwasserträger angefahren. Das Grundwasser war artesisch gespannt und stieg bis auf 2 m unter Terrain an. Es besteht also entgegengesetzt zur Oberflächenentwässerung, die nach SW über die Esche nach Liechtenstein erfolgt, ein Gefälle des Grundwasserspiegels nach NE in Richtung Tosters. Eine teilweise Entwässerung der groben liechtensteinischen Wildbachschuttkegel in Richtung Tosters wäre daher denkbar. Durch die allseitig abfliessenden Bergwässer der Inselberge Ardetzenberg, Blasenberg und Schellenberg wird das Grundwasser zusätzlich genährt. Neben der Versickerung von Niederschlägen im Schwemmfächer spielt die Erneuerung des Grundwassers durch Ill-Infiltrat eine sehr grosse Rolle. Im Frühjahr 1976 wurde der Restabfluss der Ill im Raum Feldkirch—Gisingen — der Hauptteil des Illwassers war über den Kraftwerkkanal der Feldkirchner Stadtwerke und der Firma F. M. Hämmerle ausgeleitet — an drei Stellen gemessen.

Unterhalb des Wehres in der Felsenau befanden sich 93 l/s in der Ill, im Bereich der unteren Illschlucht 46 l/s und in Gisingen vor der Wasserrückgabe durch den Unterwasserkanal der Firma F. M. Hämmerle 26 l/s. Es versickerten also im Raum Feldkirch 47 l/s und im Raum Nofels—Gisingen 23 l/s im Illbett (bei minimaler Wasserführung).

Für die Jahre 1969 bis 1972 liegt eine Auswertung der Grundwasserstandsmessungen durch die Vorarlberger Illwerke AG vor. Im oberen Teil der Ill-Auwälder von Nofels bis zur Linie Stall bei Paspelsried-Unterried zwischen Nofels und Matschels ist das Gefälle des Grundwasserspiegels sehr flach, es beträgt hier 0,7 bis 1 ‰. Bei Hochstand des Grundwassers steigt der Grundwasserspiegel im Bereich dieser Linie über die Illsohle an, im übrigen Bereich ober- und unterstrom dieser Linie liegt der Grundwasserspiegel auch bei Hochstand dauernd unter der Sohle des Illbettes. Der Bereich oberhalb dieser Linie kann als Nährgebiet dieses Grundwasserfeldes bezeichnet werden. Unterhalb dieser Linie versteilt sich das Gefälle auf 2,5 bis 3,5 ‰. Die Gefällsverhältnisse sind bei Hoch- und Tiefstand des Grundwassers dieselben. Diese Versteilung des Grundwassers wird durch die Nähe der Vorfluter (Rhein, Ehbachkanal und Quellen in Matschels) verursacht.

Der Grundwasserstrom aus dem Ur-Illschwemmfächer Feldkirch—Levis—Altenstadt zieht in einem Bogen um den Ardetzenberg herum über Gisingen zum heutigen Illschwemmfächer. Diese Umlenkung wird durch lehmige Sedimente im Norden verursacht. Dieser Grundwasserstrom kann nach *P. Stark,* 1970, chemisch vor allem durch den hohen Sulfatgehalt des Grundwassers, das der Illinfiltration im Raume Feldkirch entstammt, nach Norden hin abgegrenzt werden.

Rechts der Ill im Raume Gisingen verläuft die Grundwasserströmung im oberen Teil des Schwemmfächers je nach der Höhe des Grundwasserstandes in einem Winkel von 10 bis 20° zur Ill hin und quert diese spitzwinklig. Im mittleren Teil des Auwaldgebietes, zwischen den Rüttenen und dem Stall von Paspelsried, verläuft die Grundwasserströmungsrichtung parallel und biegt dann mit einem Winkel von 20 bis 30° von der Ill auf den Hauptvorfluter in diesem Bereich, den Ehbachkanal zu, um. Hier, im Raume Meiningen, vereinigen sich die Grundwasserströme der Ill und des Rheins.

Die Entwässerung erfolgt linksufrig in das Bach- und Kanalsystem des Ehbaches und untergeordnet auch in den Rhein selbst. In den Jahren 1971 bis 1973 wurde der Ehbach von den Vorarlberger Illwerken kurz nach Zusammenfluss des Mühlebaches und Naflabaches zum Ehbach und vor der Unterquerung des Ehbaches unter der Frutz mehrmals gemessen. Es konnte hier ein Zufluss gemessen werden, der zwischen 647 l/s am 27. 4. 1972 und 1475 l/s am 21. 7. 1971 schwankte. In diesem gemessenen Zufluss sind nicht nur die Grundwasserabflüsse des Illschwemmfächers allein, sondern auch untergeordnet Abwasser aus Meiningen und Brederis, die Grundwasserabflüsse des alten Schwemmfächers der Ur-Ill aus dem Valdunatal und die linksufrigen Grundwasserabflüsse des Frutzschwemmkegels enthalten.

Links der Ill sind die Strömungs- und Abflussverhältnisse einfacher. Die Grundwasserströmung verläuft hier im ganzen Bereich mit einem Winkel von 10 bis 40° von der Ill weg zu den Vorflutern, den Quellen im Unterried und Matschels und dem Rhein. Der Rhein ist der Hauptvorfluter. Die Grundwasseraustritte direkt in den Rhein können zu Niederwasserzeiten gut beobachtet und durch Temperaturmessungen bestätigt werden. Während Trockenzeiten bzw. Niederwasser des Rheins versickert der Spirsbach auf österreichischem Gebiet teilweise oder vollständig und entwässert unterirdisch in den Rhein. Die Austritte von Spirsbachwasser lassen sich im Winter aufgrund ihrer niedrigeren Temperatur von dem zufliessenden wärmeren Illgrundwasser gut abtrennen.

Oberhalb der Brücke Meiningen—Oberriet beeinflussen die Schwankungen des Rheinwasserspiegels das Grundwasser nur im alleruntersten Teil durch Rückstau (Hochwasser im Rhein) und Entwässerung des Grundwassers in den Rhein (Niederwasser im Rhein). Unterhalb der Brücke Meiningen—Oberriet wird das Rheinbegleitgrundwasser, wie die Schichtenlinien der Grundwasserstände im Bereich der Frutzmündung zeigen, bei Rheinhochwasser durch Rheininfiltration gespeist.

Die Schwankungen des Grundwasserstandes zwischen dem Hochstand im Sommer und dem Tiefstand im Winter betragen im oberen Teil des Illschwemmfächers 2 bis 2,5 m, im unteren Teil sind sie bedeutend niedriger.

Seit Beginn der ersten Grundwasserstandsbeobachtungen im Jahre 1954 ist der Grundwasserspiegel im Illschwemmfächer im allgemeinen abgesunken. Diese Senkung des Grundwasserspiegels muss vor allem mit der insbesonders seit dem Jahre 1950 festgestellten Tieferlegung der Rheinsohle in Zusammenhang gebracht werden.

Die Überdeckung des Grundwasserträgers durch Feinsedimente ist im Illschwemmfächer lückenhaft. Lediglich in den Bereichen Sinders und Matschels werden die Schotter von mächtigeren Hochflutlehmen und Feinsanden überlagert. Im Zuge der Erkundung der Grundwasserfelder im Vorarlberger Rheintal hat die Preussag 1969 den *k*-Wert, das Porenvolumen und die Fliessgeschwindigkeit im Bereich Matschels ermittelt. Der *k*-Wert beträgt $3{,}9 \cdot 10^{-3}$ m/s, das Porenvolumen 25 Prozent und die Fliessgeschwindigkeit 7,5 m pro Tag.

Der Schwemmfächer der Ill ist im Vorarlberger Rheintal das grösste Grundwasserhoffnungsgebiet. Die naturnahen Verhältnisse in den Rheinauen sind für den Trinkwasserschutz ideal. Die Mülldeponie der Stadt Feldkirch in den Rüttenen wurde aufgelassen, es besteht der Plan, den hier

Bild 6.11.4. Der Frutz-Schuttkegel.

Bild 6.11.5. Mäander der Dornbirner Ach.

abgelagerten Müll im Zuge des weiteren Schotterabbaues und einer grosszügigen Sanierung des Gebietes Rüttenen wieder zu entfernen und andernorts unschädlich zu deponieren. Die günstigsten Wasserentnahmestellen befinden sich links der Ill im Staubereich vor dem Bergle von Matschels. Hier ist der Grundwasserträger an der Oberfläche durch Feinsedimente abgedeckt. Rechts der Ill, in den Augebieten westlich Meiningen, wäre eine Grundwasserentnahme ebenfalls möglich, der Grundwasserträger ist hier jedoch nicht durch Hochflutlehm geschützt, ein wirksamer Grundwasserschutz ist in diesem unbesiedelten Augebiet jedoch kein Problem. Linksufrig der Ill ist der Bereich unterhalb des Bergles von Matschels für die Trinkwassergewinnung unbrauchbar, da durch Messungen nachgewiesen wurde, dass der stark verschmutzte Spirsbach in diesem Gebiet versickert.

Zurzeit wird das Grundwasserangebot dieses Gebietes wenig genutzt. Nur die Hausbrunnen der Gemeinde Meiningen — die Gemeinde hat keine zentrale Trinkwasserversorgung — und einige Industriebrunnen beziehen ihr Wasser aus diesem grossen Grundwasserfeld. Das nutzbare Angebot an Grundwasser wird auf 500 bis 1000 l/s geschätzt und könnte durch eine hier gut mögliche Grundwasseranreicherung noch bedeutend erhöht werden.

Das Delta der Ur-Ill aus dem Valdunatal und seine Alimentation aus dem Gebirge

Zwischen Brederis und Meiningen schliesst an das Grundwasserfeld des Illschwemmfächers ein weiteres Grundwassergebiet, das dem z. T. überdeckten Delta der Ur-Ill folgt, an, die zu Beginn der Eisrandlage Sennwald—Bühel—Feldkirch über das Valdunatal abfloss und hier ihre Schottermassen in den Rheintal-Bodensee ablagerte. Es wird angenommen, dass der längs der Strasse Brederis—Meiningen feststellbare Schotterkörper, der beidseitig von lehmigen Sedimenten überdeckt ist, den Scheitel dieses alten Schwemmfächers andeutet.

Das heutige Einzugsgebiet dieses Grundwasserfeldes fällt mit dem Einzugsgebiet des Naflabaches zusammen. Dem Walgaugrundwasser ist der Übertritt ins Becken von Göfis und ins Valdunatal durch dichte Grundmoräne und wahrscheinlich auch durch eine Felsschwelle zwischen Schildried und Göfis-Kirchdorf versperrt.

Zusätzlich zu den Versickerungen im Einzugsgebiet wird dieses Grundwasserfeld noch durch Karstwasser aus dem Schrattenkalk der Waldgebiete zwischen Rankweil und Übersaxen sowie aus dem Gebiet Rungels—Hoher Sattel und durch Kluftwasser aus dem Bergsturz- und Bergzerreissungsgebiet des Spiegelsteins gespeist. Die Drainage des verkalkten Schrattenkalkes erfolgt dabei meist in der Streichrichtung der helvetischen Faltenzüge NNE—SSW zur Nafla. Ein weiterer Anteil zur Alimentation des Grundwassers in diesem Gebiet ist die Versickerung aus dem Mühlbach. Im Gebiet Paspels vereinigt sich dieser Grundwasserstrom mit dem der Ill.

Die Nutzung dieses Grundwasserstromes erfolgt durch die Grundwasserpumpanlagen der Brunnengenossenschaft Rankweil im Valdunatal (50 l/s Kondenswassermenge), durch eine Grundwasserpumpanlage der Stiftung Jupident in Tufers, durch die Wassergenossenschaft Weitried, Pumpanlagen einiger Industriebetriebe und Hausbrunnen.

Der Schwemmkegel der Frutz und der Frödisch und jene des Ratz- und Klausbaches

Wie schon erwähnt, sitzt der Frutzschwemmkegel einem Delta der Ur-Ill während der Eisrandlage Gruppen—Rüthi—Hirschensprung—Rankweil auf, das ihm von unten her Wasser entzieht und die absoluten Spiegelhöhen zum unteren Teil des Illschwemmfächers orientiert. Der wurzelnahe Teil des Schwemmfächers besteht zum Hauptteil aus groben Schottern. Zwei Bohrungen in der Nähe des Bahnhofes von Rankweil trafen bis in eine Tiefe von 40 m nur tonig-schluffigen Fein- bis Grobkies an, dem einzelne dünne Ton-, Schluff- und Feinsandlagen zwischengeschal-

tet sind. Diese Abfolgen können als Auflage des Frutzschwemmkegels auf dem alten Illdelta gedeutet werden. Im wurzelferneren Teil des Schwemmkegels der Frutz überwiegen Feinsedimente, er sitzt im unteren Teil Lehm- und Torfschichten auf. Im wurzelnahen Teil des Schwemmkegels der Frutz liegt der Grundwasserspiegel sehr tief; 25 bis 31 m unter Terrain (also etwa 431 bis 437 m ü. A.) wurden im Bereich des Bahnhofes gemessen. Auch die Autobahnbohrungen zeigen linksufrig der Frutz einen tiefen Grundwasserspiegel an.

Bergwasserzuflüsse nehmen weitgehend den Umweg über das Valdunatal. Der Talrand zwischen Frutz und Frödisch besteht zur Hauptsache aus undurchlässigen Gesteinen. Lediglich die z. T. stark sandigen Verbauungsschotter und Seitenmoränen von Zwischenwasser sind etwas wasserführend und bringen es unterirdisch in den Schwemmkegel. Der grösste Teil davon tritt jedoch schon am Hang an der Grenze zur mergeligen Felsoberfläche an Tiefpunkten aus und wird für die lokale Wasserversorgung verwendet.

Neben der Versickerung von Niederschlägen im Schwemmkegelbereich (durchwegs überbautes Gebiet) hat die Versickerung von Frutz- und Frödischwasser den grössten Anteil an der Grundwasseralimentation. Linksufrig der Frutz entwässert der Grundwasserstrom in den Luttengraben und in einen Quellgraben nahe der Frutz. Im Juli 1971 wurden durch die Vorarlberger Illwerke im Luttengraben 32 l/s und im Graben nahe der Frutz 105 l/s gemessen (Hochstand des Grundwassers und der Frutz). Rechtsufrig nährt der Grundwasserstrom aus dem Frutzschwemmkegel im Bereich der Brücke Koblach—Meiningen die Quellbäche des Koblacher Kanals.

Ein Teil dieser Grundwasser erreicht bei der Frutzmündung den Begleitgrundwasserstrom des Rheins. Alte, jetzt trockene Quellnischen zwischen der Bundesstrasse und der Eisenbahnlinie zeigen an, dass der Grundwasserstand vor der Regulierung der Frutz bedeutend höher lag.

Die Schwemmkegel des Klaus- und Ratzbaches sind stark verlehmt und wenig durchlässig (hauptsächlich Mergel im Hinterland). Das Grundwasser wird gespeist durch Versickerung des Niederschlages in den stark besiedelten Schwemmfächern, durch Bachversickerung und durch die Entwässerung eines grossen Schrattenkalkgebietes, das sich von Röthis über Viktorsberg in Richtung First erstreckt.

Bild 6.11.6. Motiv aus dem Lauterbacher Riet.

Die Trink- und Brauchwasserversorgung aus dem Bereich der Schwemmfächer der Frutz, der Frödisch, des Ratz- und des Klausbaches beschränkt sich auf einige Industriebetriebe.

Die Schwemmkegel des Emme- und Emsbaches

Der Schwemmkegel des Emmebaches, der einem alten Ur-Illschwemmfächer aufsitzt, ist stark verlehmt, das Grundwasser wird durch einige Industriebetriebe genützt.

Zwischen Klaus und der Grenze zwischen Hohenems und Dornbirn ist die helvetische Kreide am Talrand aus einer Wechsellagerung von mächtigen Kalken und Mergel aufgebaut. Diese Kalke sind vielfach verkarstet und entwässern nicht nur ihr eigenes Einzugsgebiet, sondern vielfach, durch Versickerungen von Bächen aus Mergelgebieten in den verkarsteten Kalken, auch benachbarte Gebiete. In den sperrig gelagerten Hangschuttmassen am Talrand können sich die Bergwasser anreichern und rasch zirkulieren, bis sie den Anschluss an ein Grundwasserfeld finden oder als Quelle austreten.

Der verkarstete Schrattenkalk des Schönbauergewölbes leitet Bergwasser aus dem Bereich Hohe Lug über die Klauser Platte, Tschütsch und Sattelberg beidseitig des Sattelbergspornes unter der dichten Talfüllung nach Westen in Richtung Frutz, wohin sich zweifellos auch der verkarstete Schrattenkalk in geringer Tiefe fortsetzt. Diese treten wahrscheinlich dann gemeinsam mit dem Begleitgrundwasserstrom der Frutz als Quellbäche des Koblacher Kanals aus oder finden Anschluss an das Grundwasserfeld des Rheins.

Der Hangendschenkel des Götzner Gewölbes zieht von Meschach über den Zworms und St. Arbogast zum Talrand am Kalkofen südlich von Götzis. Am Talrand befinden sich mehrere Quellen. Im Spätwinter und im Frühjahr 1973 wurde dieser Bergwasserzudrang im Vorfluter dieses Gebietes, dem Kaltenbrunnenbach, gemessen. Zwischen dem Talrand und der Bundesstrasse erhöhte sich die Wasserführung des Kaltenbrunnenbaches von 9 auf 39 l/s (10. 2. 1973) und von 8 auf 51 l/s (7. 4. 1973). Diese namhaften Zuflüsse entwässern Karst- und Hangschuttquellen, z. T. über Drainagen. Auch hier wäre über die Inselberge eine Verbindung mit dem Rheingrundwasser möglich.

Der bedeutendste Karstwasserträger ist der Schrattenkalk im Nordschenkel des Götzner Gewölbes, der vom Bocksberg nördlich Ebnit bis zum Lusbühel bei Götzis-Kobel zieht. Er nimmt einen grossen Teil der im Bereich seines Ausbisses und bergwärts davon versickernden und abfliessenden Niederschläge auf und leitet sie nach Südwesten ab.

Dieses Karstwassersystem ist der Hauptzubringer für die Grundwasseraustritte im «Mösle», das heute durch die Grundwasserpumpanlage der Gemeinde Götzis genützt wird. Ein Teil dieses Karstwassers dürfte in den grossteils vergrabenen Hangschutt der hier steil aufragenden Felswände im Bereich Fallenkobel über die Bützenbachquelle der Hohenemserache zufliessen. Die Bützenbachquelle steht wahrscheinlich auch über den Hangschutt mit den Kalken des bei Hohenems-Schwefel unter der Talfüllung eintauchenden Ranzenberggewölbes in Verbindung.

Die verkarsteten Kalke des Gewölbes von Hohenems stehen über den hier sehr mächtigen Hangschutt miteinander in Verbindung, in dem auch ein Teil des Wassers der Bäche aus dem Gebiet Ems—Reute versickert. Am Tiefpunkt zwischen Ober- und Unterklien treten Quellen aus, die von den Stadtwerken Dornbirn genutzt werden. Die Qualität dieses Quellwassers wurde durch den Hangschuttabbau bei Oberklien zeitweise stark beeinträchtigt.

Die Schwemmfächer der Dornbirnerache und der nördlich und südlich anschliessenden Nebenbäche

Im Einzugsgebiet der Dornbirnerache stehen neben Kalken und Sandsteinen auf grosse Flächen tonreiche Gesteine an. Glaziale Ablagerungen, und zwar lehmreiche Grundmoränen und leicht verlehmte Verbauungsschotter sind im Tal der Dornbirnerache ebenfalls sehr häufig. Die Schotter und Sande im Schwemmfächer sind daher z. T. stark verlehmt und nicht so durchlässig wie z. B. die Illschotter. Am Talrand stehen meist wenig durchlässige Gesteine an, die Alimentation des Grundwassers des Schwemmfächers mit Bergwässern ist daher gering.

Die Schwemmfächer der Dornbirnerache und der nördlich und südlich davon anschliessenden Nebenbäche liegen z. T. übereinander. Die Schichtfolge ist daher auch im wurzelnahen Teil des Schwemmfächers sehr wechselhaft, immer wieder sind den durchlässigen Schotter- und Sandlagen Einschaltungen von undurchlässigen Feinsedimenten zwischengelagert. Im wurzelferneren Teil des Schwemmfächers verzahnen sich die Grundwasserträger immer mehr mit Feinsedimenten und werden dadurch in mehrere Stockwerke gegliedert. Infolge des Einfallens der einzelnen Sand- und Schotterlagen und -zungen ins Innere des Rheintalbeckens steht das Grundwasser in tieferen Stockwerken unter artesischem Druck. Starke Grundwasserentnahmen erzeugen einen tiefen Setzungstrichter und führten schon zu Gebäudeschäden.

Die Alimentation des Grundwassers erfolgt aus Versickerung der Niederschläge im Schwemmfächer (dicht verbaut) und hauptsächlich aus Versickerung von Wasser der Dornbirnerache und ihrer Nebenbäche. Das Grundwasser wird durch mehrere Pumpwerke der Stadtwerke Dornbirn und einiger Industriebetriebe stark genützt. Die Abhängigkeit der Stadt Dornbirn von diesem etwas gefährdeten Grundwasser ist durch den Anschluss der Stadt an die Rheintalwasserversorgung in Mäder nicht mehr so gross wie früher. Die Gemeinde Schwarzach betreibt ein Grundwasserpumpwerk im Bereich des Schwemmfächers des Schwarzachbaches.

Der Schwemmfächer der Bregenzerache

Etwas unterhalb des Wehres Kennelbach verlässt die Bregenzerach das in Fels eingeschnittene, junge, nacheiszeitliche Erosionstal und verläuft nun auf ihrem eigenen, flachen, breiten Schwemmfächer zum Bodensee. Die Alimentation des Grundwassers im Schwemmfächer durch Bergwässer ist gering. Die in den Schwemmfächer von Osten hereinstreichenden Sandstein- und Konglomeratlagen der Molassezone führen wohl Bergwasser, die Menge ist jedoch im Verhältnis des gesamten Wasserangebotes des Schwemmfächers zu vernachlässigen.

Der alte, mit Schotter gefüllte Tallauf der Bregenzerach zwischen Kennelbach und Langen streicht über dem heutigen Talboden aus. Die alten Schotter stehen nicht in Verbindung mit den Schottern des Bregenzerachschwemmfächers und entwässern in die in sie eingeschnittenen Nebenbäche (Wendelinsbach, Wirtatobelbach).

Neben der Versickerung in dem schon stark besiedelten und nur geringmächtig und lückenhaft durch Feinsedimente oberflächlich geschützten Schwemmfächer, erfolgt die Alimentation hauptsächlich aus Infiltration von Bregenzerachwasser. Die Bregenzerach hat noch ausgesprochenen Wildbachcharakter. Die Wasserführung beim Pegel Kennelbach schwankt zwischen 3 m^3/s (NNQ) und 910 m^3/s am 10. Juni 1965 (hydrologisches Gutachten zur Autobahnführung im Bereich Bregenzerach von Prof. *Nemecek).* Das Geschiebe ist hier laufend in Bewegung und das Flussbett kann sich nicht verschlämmen oder abdichten.

Der Flussabschnitt der Bregenzerach im Bereich des Schwemmfächers hat zwei Fixpunkte: die Fortsetzung des Riedenburger Felsspornes im Achbett bei der Eisenbahnbrücke und das Wehr bei km 1,3. Anhand der Grundwasserschichtenlinien ist die beidseitige Infiltration der Bregenzerach oberhalb des Wehres bei km 1,3 gut zu erkennen. Unterhalb des Wehres entwässert — bei niedrigem Wasserstand im Flussbett gut zu erkennen — das Grundwasser in die Bregenzerach. Die Felsschwelle im Achbett bei der Eisenbahnbrücke wird vom Grundwasser umströmt.

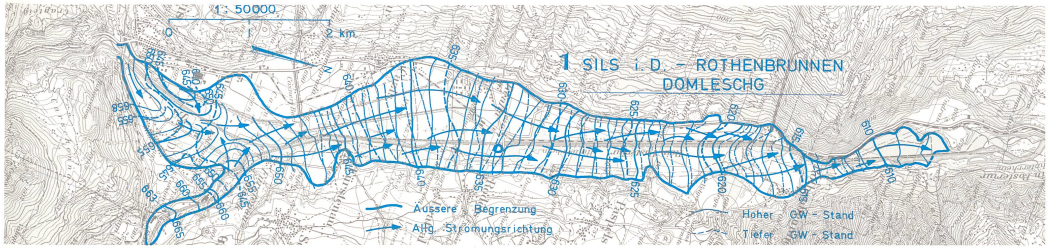
Die Grundwasserschwankungen hängen stark von den Niederschlägen und der Wasserführung der Bregenzerach ab. Infolge der hohen Durchlässigkeit der Schotter — der *k*-Wert wurde im Grundwasserfeld des Mehrerauer Waldes in den ersten 20 m mit $7{,}0 \cdot 10^{-3}$ m/s und in Tiefen von 20 bis 32 m mit $1{,}0 \cdot 10^{-3}$ m/s (Grundbauberatungs-AG, St. Gallen, Hydrologischer Bericht über den Mehrerauer Wald vom 29. 9. 1966) ermittelt — bewirken Schwankungen der Wasserführung und stärkere Niederschläge sehr rasch auch Schwankungen der Höhe des Grundwasserspiegels. In der Nähe des Bodensees folgt der Grundwasserspiegel den Wasserstandsschwankungen des Bodensees.

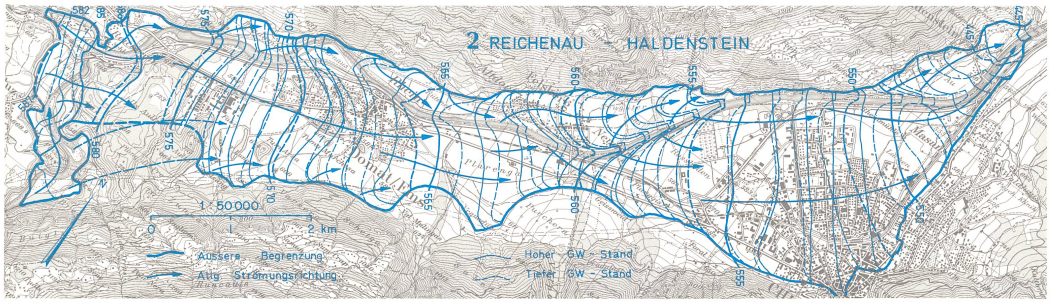
Die Grundwasserpumpwerke der Stadt Bregenz, der Marktgemeinde Hard, der Gemeinden Wolfurt und Lauterach und mehrerer Industriebetriebe nutzen dieses Grundwasserfeld.

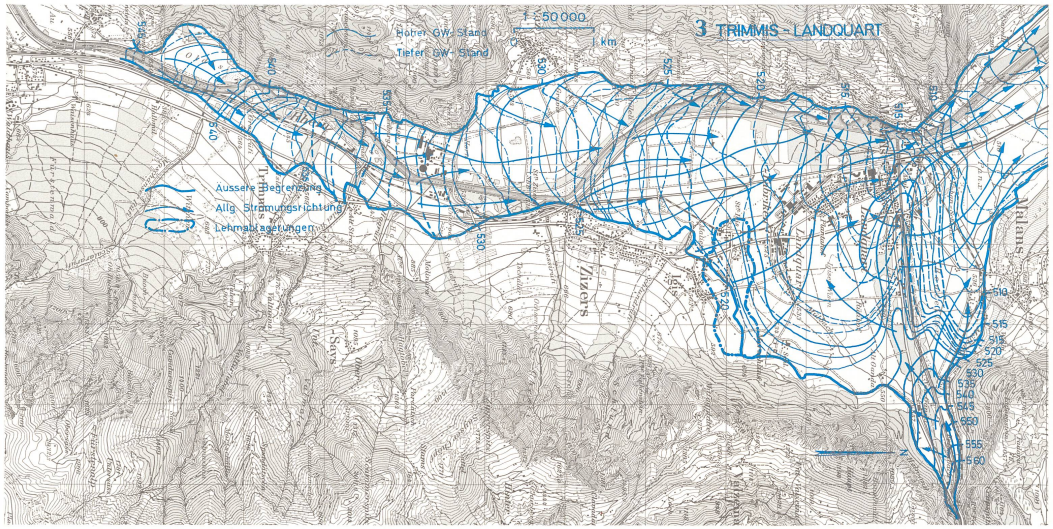
Der Begleitgrundwasserstrom des Rheines

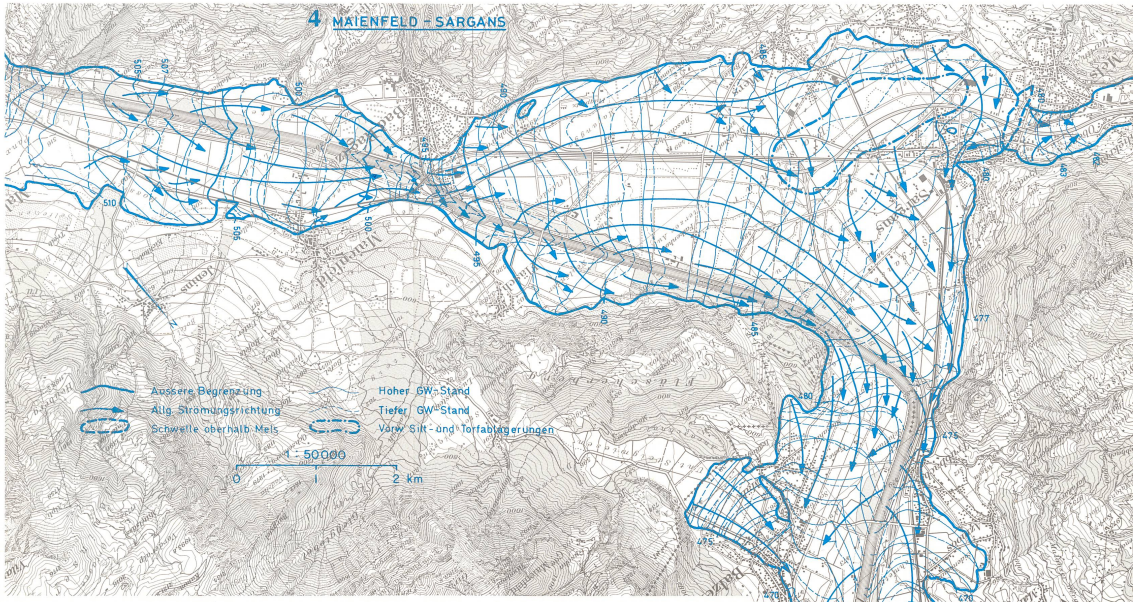
In der Talaue, dem Bereich, in dem der Rhein nach verlanden des Rheintal-Bodensees mäandrierte, hat der Rhein in jüngster Zeit ebenfalls Grobsedimente abgelagert. Wie schon erwähnt, wird die Mächtigkeit der Rheinschotter von Süden nach Norden im allgemeinen immer geringer, nur unterstrom von Einengungen des Talquerschnittes nimmt die Mächtigkeit sprunghaft zu. Südlich von Meiningen verzahnen sich die Rheinschotter mit den Schottern des Illschwemmfächers. Im Bereich der Frutzmündung ist die rechtsrheinische Talaue sehr schmal, verbreitert sich im Raum Koblach auf 1 km und zieht westlich des Kummenberges, stark eingeengt, nach Mäder. Nordöstlich von Mäder reicht ein alter Rheinmäander bis zum Mösle (neues Sportstadion) bei Götzis. Hier erreicht die rechtsrheinische Talaue eine Breite von 3 km. Westlich von Hohenems ist die Rheinaue entlang der Diepoldsauer Rheinschleife des Alten Rheines sehr schmal. Die Torf- und Lehmablagerungen drängen sich hier nahe an den Lauf des Alten Rheines heran. Der Grund für die Diepoldsauer Rheinschleife ist nach *Blumrich,* 1941/42, ein vergrabener Molasse-Inselberg bei Lustenau, wo man zwischen Kirche und Rhein beim Brunnengraben mehrmals schon in 6 m Tiefe anstehenden Molassefels angetroffen habe. Bei Lustenau verbreitert sich die Rheinaue und zieht dann zum Rheindelta.

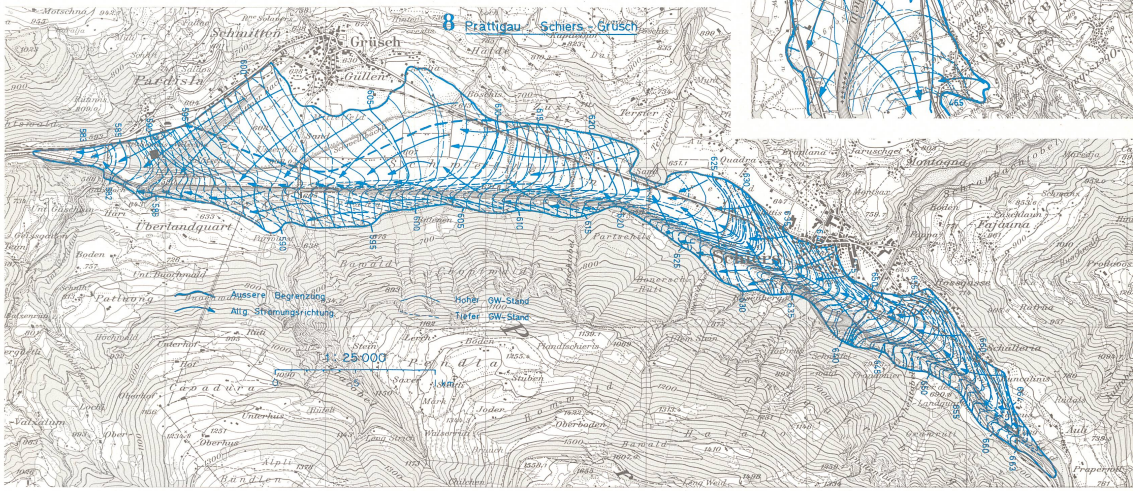
Das Rheinkies als Grundwasserträger kommt fast nirgends an die Oberfläche, es ist meist von wenig durchlässigen, lehmigen Feinsanden überdeckt. Im Bereich Koblach und Mäder und in der alten Rheinschlinge von Altach ist die Überdeckung geringer als 2,5 m, in Lustenau und im Bereich Höchst—Gaissau beträgt die Überdeckung 3 bis 4 m. Im Bereich der Illmündung strömt das Grundwasser bei Hoch- und Tiefständen des Rheines gegen den Rhein zu. Nördlich der Brücke Meiningen—Oberriet zeigen die Grundwasserschichtenlinien bei Tiefstand des Rheines eine Grundwasserströmungsrichtung gegen den Rhein, bei Hochstand des Rheines infiltriert Rheinwasser ins Grundwasserfeld.


1 SILS i. D. - ROTHENBRUNNEN
DOMLESCHG
1 : 50000
0
1
2 km
Äussere Begrenzung
Allg. Strömungsrichtung
Hoher GW - Stand
Tiefer GW - Stand


2 REICHENAU - HALDENSTEIN
1 : 50000
0
1
2 km
Äussere Begrenzung
Allg. Strömungsrichtung
Hoher GW - Stand
Tiefer GW - Stand


3 TRIMMIS - LANDQUART
1 : 50000
1 km
Hoher GW - Stand
Tiefer GW - Stand
Äussere Begrenzung
Allg. Strömungsrichtung
Lehmablagerungen
Zizers
Malans


4 MAIENFELD - SARGANS
Äussere Begrenzung
Allg. Strömungsrichtung
Schwelle oberhalb Mels
Hoher GW-Stand
Tiefer GW-Stand
Verw. Silt- und Torfablagerungen
1 : 50000
0
1
2 km


8 Prättigau - Schiers - Grüsch
Grüsch
Schmitten
Gütlen
Paedisla
Oberlandquart
Fajauna
Montagna
Äussere Begrenzung
Allg. Strömungsrichtung
Hoher GW-Stand
Tiefer GW-Stand
1 : 25000

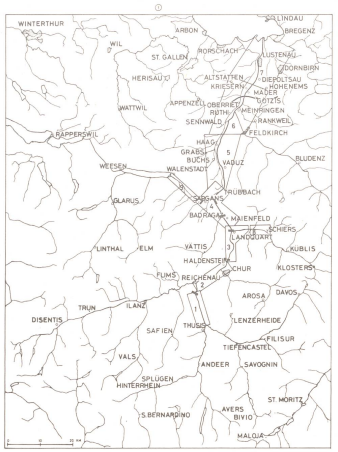
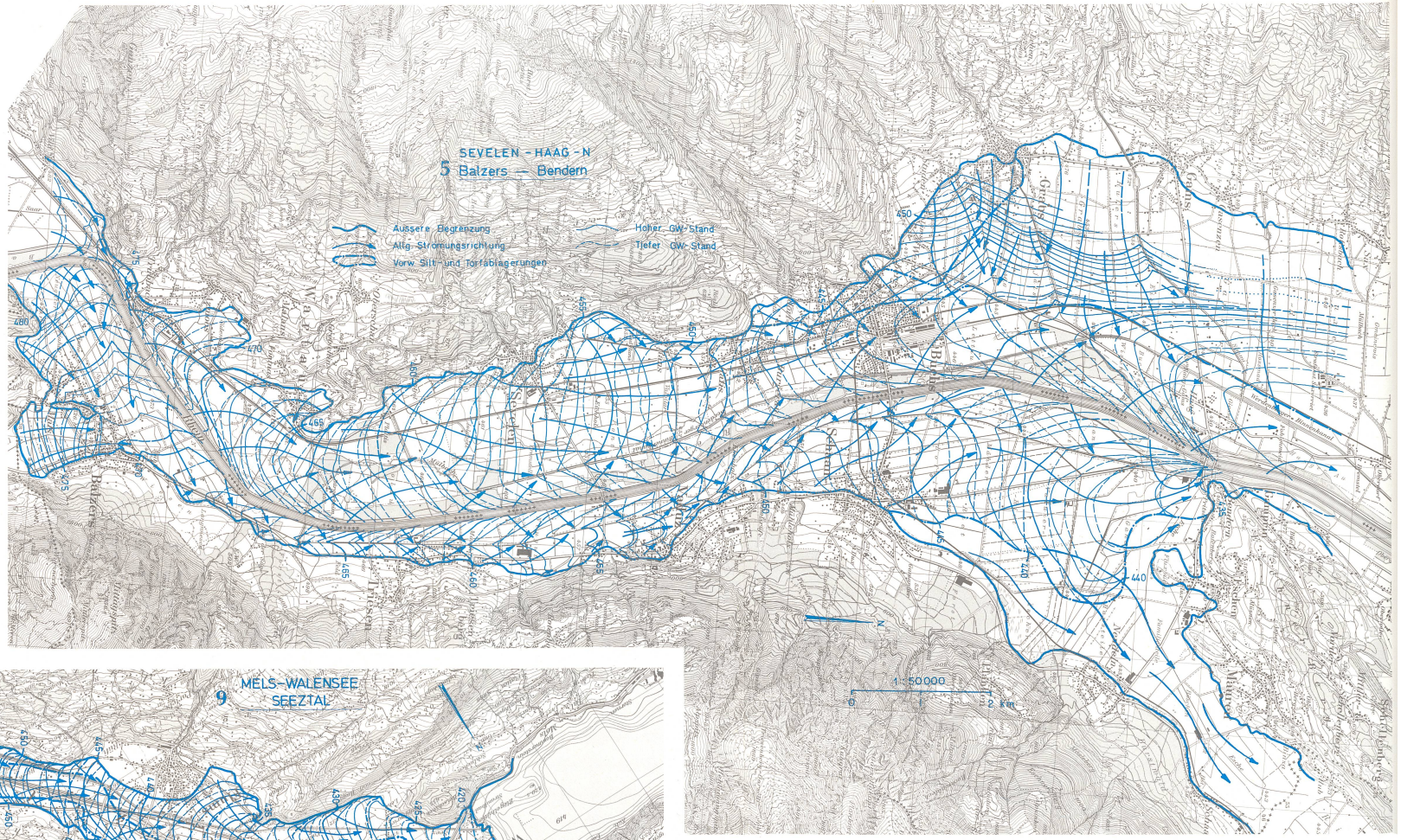


Bild 6.1. Übersicht über das Rheintal mit Kartenzeiger der Isohypsenkarten 1 : 50 000.

Blatt 1: Sils i. D. — Rothenbrunnen, Domleschg
Blatt 2: Reichenau — Haldenstein
Blatt 3: Trimmis — Landquart
Blatt 4: Maienfeld — Sargans
Blatt 5: Sevelen — Haag, Balzers — Bendern
Blatt 6: Haag — Montlingen, Bendern — Meiningen — Mäder
Blatt 7: Kriessern — Au
Blatt 8: Prättigau: Schiers — Grüsch (1:25 000)
Blatt 9: Mels — Walensee — Seeztal

Reproduziert mit Bewilligung der Eidg. Landestopographie vom 4. April 1978.


SEVELEN - HAAG - N
5 Balzers — Bendern
Äussere Begrenzung
Allg. Strömungsrichtung
Vorw. Silt- und Torfablagerungen
Hoher GW-Stand
Tiefer GW-Stand
Balzers
Bilzen
Sevelen
Gretschins
Haag
Mauren
Schaan
Eschen
Nendeln
Bendern
Triesenberg
Triesen
Vaduz
Schellenberg
Ruggell
Gamprin
Eschen
Mauren
Schaan
Vaduz
Triesenberg
Triesen
Balzers
Sevelen
Haag
Bilzen
Gretschins
Bendern
Nendeln

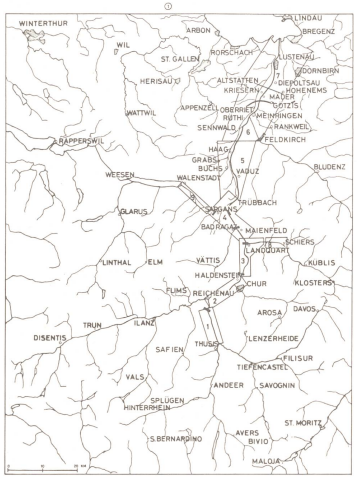
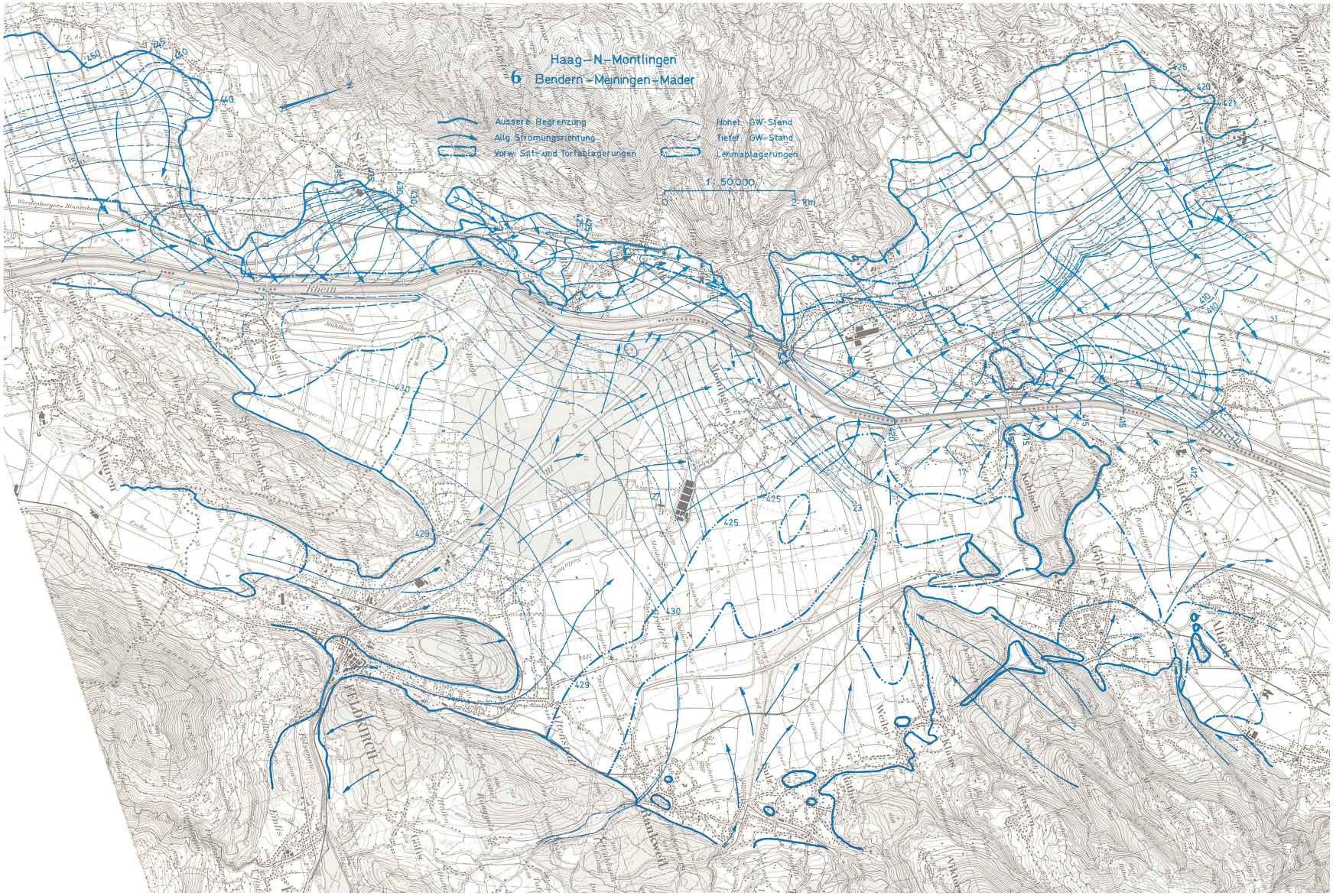
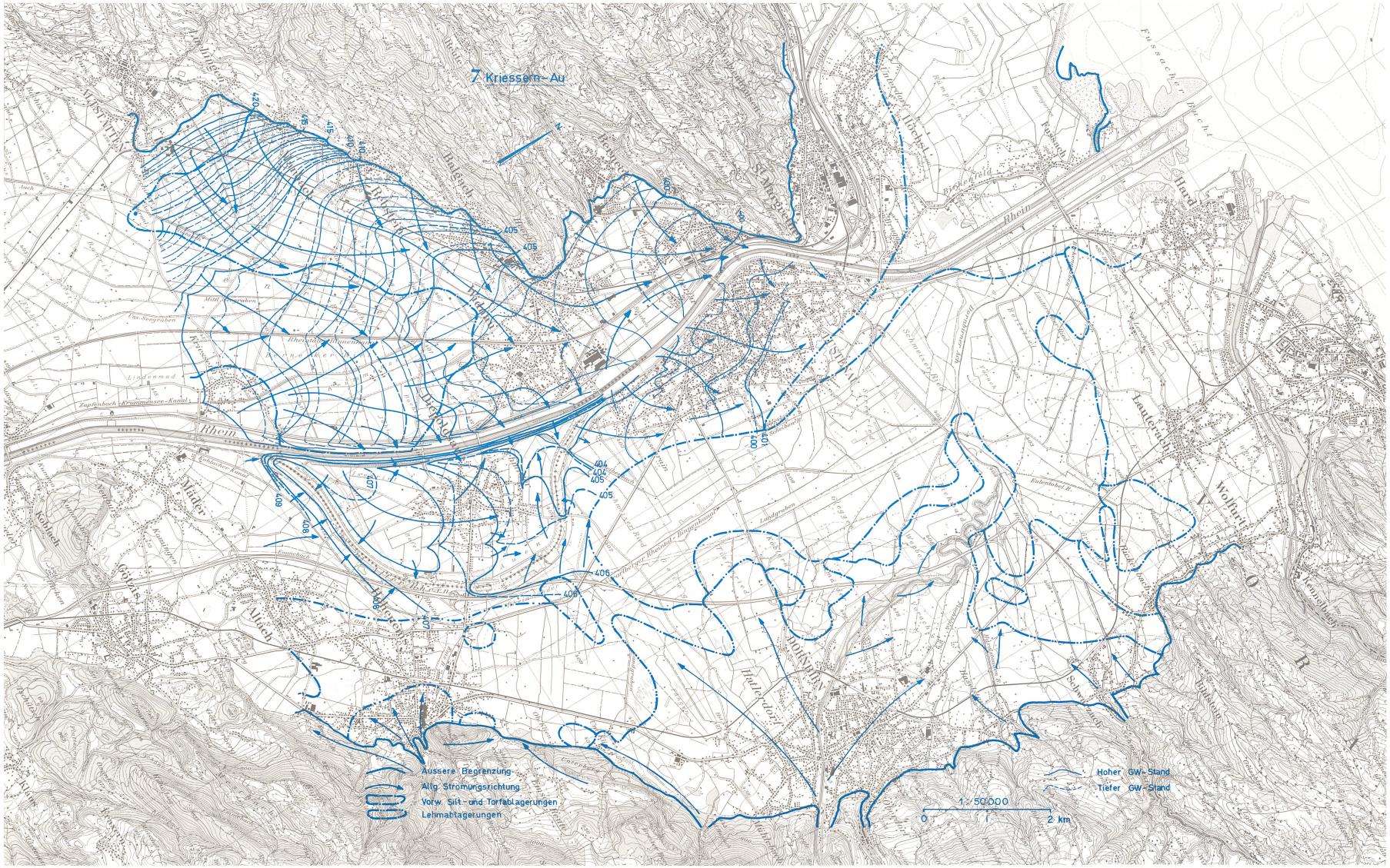


Bild 6.1. Übersicht über das Rheintal mit Kartenzeiger der Isohypsenkarten 1 : 50 000.

Blatt 1: Sils i. D. — Rothenbrunnen, Domleschg
Blatt 2: Reichenau — Haldenstein
Blatt 3: Trimmis — Landquart
Blatt 4: Maienfeld — Sargans
Blatt 5: Sevelen — Haag, Balzers — Bendern
Blatt 6: Haag — Montlingen, Bendern — Meiningen — Mäder
Blatt 7: Kriessern — Au
Blatt 8: Prättigau: Schiers — Grüsch (1:25 000)
Blatt 9: Mels — Walensee — Seeztal

Reproduziert mit Bewilligung der Eidg. Landestopographie vom 4. April 1978.


Haag – N – Montlingen
6 Bendern – Meiningen – Mäder
Äussere Begrenzung
Allg. Strömungsrichtung
Vorw. Sand- und Tonablagerungen
Hoher GW-Stand
Tiefer GW-Stand
Lehmablagerungen
1 : 50 000
0
2 km
Rhein
Mäder
Meiningen
Montlingen
Feldkirch
Altach
Kobach
Weiler
Salez
Gais
Bendern
Haag
Wärdenbergen
Binnenkanal
Mühlbach
Schwarzbach
Rotbach
Kriessern
Hohenems
Diepoltsau
Lustenau
Bildstein
Hilsch
Rheinbrücke
Bahnhof
Sportplatz
Kiesgrube
Kläranlage
Pumpwerk
Wasserwerk
Friedhof
Kirche
Schule
Gasthof
Hof
Brücke
Steg
Wehr
Schleuse
Mühle
Sägewerk
Fabrik
Lagerhaus
Tankstelle
Garage
Werkstatt
Bauernhof
Wohnhaus
Villa
Ruine
Burg
Schloss
Turm
Kapelle
Bahnhofstrasse
Hauptstrasse
Dorfstrasse
Kirchstrasse
Mühlestrasse
Bahnhofplatz
Rheinstrasse
Rheinbrückestrasse
Rheinbrückestrasse
Rheinbrückest



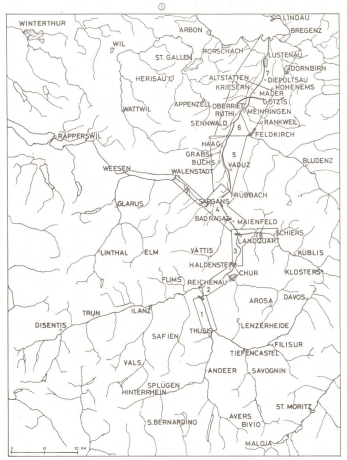


Bild 6.1. Übersicht über das Rheintal mit Kartenzeiger der Isohypsenkarten 1 : 50 000.

Blatt 1: Sils i. D. — Rothenbrunnen, Domleschg
Blatt 2: Reichenau — Haldenstein
Blatt 3: Trimmis — Landquart
Blatt 4: Maienfeld — Sargans
Blatt 5: Sevelen — Haag, Balzers — Bendern
Blatt 6: Haag — Montlingen, Bendern — Meiningen — Mäder
Blatt 7: Kriessern — Au
Blatt 8: Prättigau: Schiers — Grüsch (1:25 000)
Blatt 9: Mels — Walensee — Seeztal

Reproduziert mit Bewilligung der Eidg. Landestopographie vom 4. April 1978.

Folgende Parameter waren bei der Konstruktion dieser Kurven zu berücksichtigen:

1. Die Zusammensetzung der Grundwasser führenden Alluvionen, besonders der obersten 20 m. Sedimentationen von Kies-Sand, wie sie besonders über grosse Flächen und Tiefen im Rheintal von Domat-Ems bis unterhalb Buchs auftreten, die *k*-Werte von 10^{-2} bis 10^{-3} m/s zeigen, werden gleichmässig durchströmt. Sie zeigen ein einfaches Bild der Isohypsen. Einlagerungen von Feinsanden und Lehm sind wohl getränkt mit Grundwasser, dieses fliesst darin aber nur sehr langsam. Solche Einlagerungen stauen zurück, und der Grundwasserspiegel hebt sich im Umfliessungsbereich an. Bachschuttkegel schieben aus ihren Einzugsgebieten weitausladende, dichte Schuttfächer aus Mergel- und Ton-Gesteinen in und unter die Talebene vor.

2. Riesige Flächen mit Torf-, Sand- und Silt-Schichten halten stagnierendes Grundwasser zurück, das erst beim Betrieb einer nahen Grundwasserfassung teilweise gegen diese zufliesst. In diesen tiefgründigen Schwemmböden entstehen rasch grosse Grundwasserabsenkungen, und der Ausgleich zwischen Zustrom und Pumpwassermenge stellt sich nur langsam ein. Wir begegnen diesen fluvioglazialen und fluviatil-limnischen Ablagerungen im Sarganserbecken zum Seeztal hin, von Buchs-Haag abwärts hangseitig, über grosse Teile des Vorarlberger Rheintals und im Mündungsgebiet des Rheins in den Bodensee. Sie sind in den Isohypsenbildern ausgeschieden.

3. Die fluviatilen Lehmablagerungen von Masans, Landquart und Oberriet sind undurchlässig, sie liegen am Rande des Tals und beeinflussen den Grundwasserstrom im Rheintal nur wenig. Dagegen behindern sie den bergseitigen Zufluss zum Becken.

4. Vom linken Talhang her fliesst reichlich Karstwasser zu. Im Abschnitt Felsberg-Landquart fliesst es direkt ins Grundwasser des Taltroges. Von unterhalb Sevelen wird das Karstwasser durch tiefgreifende Silt- und Torf-Ablagerungen vom Grundwasserstrom des Alpenrheins getrennt. Es sammelt sich in einem eigenen, randlichen Grundwasserträger, dessen Spiegel über demjenigen im Talgrund liegt. Nur langsam durchsickert es die trennenden Verlandungssedimente und gelangt in den Hauptgrundwasserstrom.

5. Ins Becken vorspringende Felssporne verengen das Durchflussprofil und stauen das Grundwasser zurück. An und unmittelbar nach dem Engnis nimmt die Strömungsgeschwindigkeit zu, es kommt zu einer erhöhten inneren Erosion im Alluvialkörper. Das Gefälle nimmt zu, und unterhalb solchen Verengungen sinkt der Grundwasserspiegel ab. Dasselbe gilt für weit in die Talebene vorspringende, dichte Schuttkegel. Stehen sich solche Sperren — Felsvorsprünge und Schuttfächer — im Tal direkt gegenüber, trennen diese die Grundwasserträger in Becken mit verschiedenen Spiegelhöhen.

6. Der Rhein liefert den Grossteil des Infiltrationsgrundwassers. Bei der Rheinkorrektion wurde auf die Sedimentationsverhältnisse im Untergrund nicht Rücksicht genommen. So fliesst der Alpenrhein heute nur zum Teil über gut durchlässigen Untergrund; über grössere Strecken fliesst er in Schwemmböden mit kleiner Durchlässigkeit. In solchen Abschnitten mit fluviatil-limnischen Ablagerungen infiltriert nur wenig Rheinwasser ins Grundwasser, was beim Zeichnen der Isohypsen zu berücksichtigen war.

Bei der Konstruktion der Isohypsen müssen die Sedimentationswechsel berücksichtigt werden. Eine gute Modellvorstellung des Untergrundes hilft dabei, Lücken zwischen den beobachteten Grundwasserhöhen wirklichkeitsnahe auszufüllen.

Es gibt Talabschnitte, wo die Zusammensetzung der oberen Beckenfüllung zu wenig bekannt ist, als dass Isohypsen gezeichnet werden können. Man behilft sich dann, die Strömungsrichtungen des Grundwassers zu zeichnen. In den Bildern 7.1 bis 7.9 sind dieselben mit Pfeilen dargestellt. Die Bilder mit den Richtungen der Grundwasserströmungen erreichen nicht die Genauigkeit der Isohypsendarstellungen, aber sie sind weniger an Einzelheiten der Zusammensetzung der oberen Alluvionen gebunden. Sie zeigen die Richtung und damit das Spiel des Grundwassers zu und von den Vorflutern an. Es sind die Strömungsverhältnisse bei hohem Grundwasserstand angegeben.

Im Mündungsgebiet des Alpenrheins fehlen auf der Vorarlberger Seite Grundwasserprofile, so dass auf eine Kurvendarstellung verzichtet werden musste. Der Grundwasserspiegel im eigentlichen Mündungsgebiet richtet sich nach dem Stand des Bodensees. Die Schwankungen im See betragen bis 3,4 m.

8. Der Chemismus des Grundwassers

Eugen Weber

Der Chemismus des Grundwassers soll am Beispiel des Talabschnittes Trübbach—Balzers bis Montlingen—Götzis beschrieben werden. Weitere Angaben finden sich in den Zusammenstellungen je für die einzelnen Grundwasserabschnitte im Kapitel 6. Über das Gebiet des Fürstentums Liechtenstein wurde eine Studie im Auftrag des Amtes für Gewässerschutz FL durch Dr. *P. Nänny,* Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz, EAWAG, Dübendorf, erarbeitet; diese konnte hier teilweise übernommen werden. Dr. *H. Loacker* untersuchte das Gebiet des Illschuttkegels im Auftrag der Illwerke; auch diese Arbeit wurde hier verwendet.

Im Talabschnitt Trübbach—Balzers bis Montlingen—Götzis schränken von den Talflanken her fluviatil-limnische Ablagerungen die Areale nutzbaren Grundwassers in Richtung talabwärts immer mehr ein.

Auf der rechten Rheinseite weist eine Zone von echtem Grundwasser bezüglich der permanenten Härte und des Sulfatgehaltes deutlich erhöhte Werte auf. Diese stammen aus Zuflüssen stark sulfathaltiger Sickerwasser aus Gipsvorkommen in den Gesteinsserien der ostalpinen Decken des Bergkammes zwischen Rheintal und Saminatal.

Echtes Grundwasser entsteht durch Versickerung des Niederschlagswasser auf der Bodenfläche über dem Grundwasser (Talboden des Rheintals) und seines direkten seitlichen Einzugsgebietes (Berghänge beidseits des Rheintals).

Das echte Grundwasser ist im Untersuchungsgebiet gekennzeichnet durch mittlere bis hohe Werte der Karbonathärte (18 bis über 30 ° französischer Härte). Diese sind bedingt durch den grossen Anteil von Kalkgesteinen sowohl im Grundwasserleiter als auch im Festgestein des engeren Einzugsgebietes. Salzvorkommen fehlen im Einzugsgebiet; deshalb weist das Grundwasser einen niedrigen Chloridgehalt auf. Echtes Grundwasser ist ferner allgemein charakterisiert durch geringe jahreszeitliche Schwankungen der Temperatur.

Infiltrationsgrundwasser entsteht durch Infiltration von Oberflächengewässern in das Grundwasser. Das Infiltrationsgrundwasser ist im Untersuchungsgebiet charakterisiert durch niedrige bis mittlere Werte der Karbonathärte (unter 18 ° französischer Härte) sowie durch niedrige

Werte für die permanente Härte und den Sulfatgehalt. Diese Eigenschaft ergibt sich aus der geringen Mineralisierung des Rheinwassers.

Die Temperatur des Infiltrationsgrundwassers schwankt bei den Beobachtungsstellen in unmittelbarer Nähe der Infiltrationsstelle stark; sie folgt den jahreszeitlichen Temperaturschwankungen des infiltrierten Oberflächenwassers. Mit zunehmendem Abstand der Beobachtungsstellen von der Infiltrationsstelle (in Fliessrichtung des Grundwassers), d. h. mit zunehmender Aufenthaltszeit des Infiltrationsgrundwassers im Untergrund, verkleinert sich einerseits die Amplitude der jahreszeitlichen Temperaturschwankungen, und andererseits verzögern sich die Temperaturausschläge des Grundwassers gegenüber denjenigen der infiltrierenden Oberflächengewässer.

Da der Anteil an Infiltrationsgrundwasser am Talgrundwasser sehr hoch ist, ist in der nachstehenden Tabelle die chemische Zusammensetzung der Wasser des Rheins und der Binnenkanäle zusammengestellt.

Mittelwerte der monatlichen Analysen des Rheins und der Binnenkanäle

Gewässer Probennahmestelle		Rhein bei Schaan	Binnenkanal bei Schaan	 bei Haag	 bei Oberriet
Karbonathärte	° frz. Härte	9,7	14,2	16,75	14,6
Ammonium-Ion	mg NH_4^+/l	0,55	0,103	0,93	0,11
Nitrit-Ion	mg NO_2^-/l	0,063	0,039	0,046	0,04
Nitrat-Ion	mg NO_3^-/l	2,1	3,8	4,2	3,33
Chlorid-Ion	mg Cl^-/l	1,2	1,7	2,7	4,2
Sulfat-Ion	mg SO_4^{--}/l	39	50	62	35
Sauerstoffgehalt	mg O_2/l	11,3	10,6	7,6	9,4
Sauerstoffsättigungsindex	%	103	100	83	94
Oxydierbarkeit	mg $KMnO_4$/l	6,4	3,5	4,5	4,9
BSB_5	mg O_2/l	1,9	2,2	2,0	3,3

Die Beeinflussung des Grundwassers durch organische Verunreinigungen natürlicher und anthropogener Herkunft lässt sich in zwei Gruppen aufgliedern.

1. Gruppe: Sauerstoffreiche Grundwasser, verknüpft mit dem hohen Gehalt an gelöstem Sauerstoff, haben in der Regel folgende zusätzliche Eigenschaften:

— Nitrat ist deutlich in grösseren, analytisch messbaren Mengen vorhanden.

— Die Gehalte an Ammonium, Nitrit, Eisen und Mangan sind null oder sehr gering.

Vor allem bei rezenten Verunreinigungen des Grundwassers durch Düngung des Bodens oder durch Versickerung häuslicher Abwasser können, in Abweichung von der erwähnten Regel, grössere Gehalte an Ammonium und Nitrit auch in sauerstoffreichen Grundwassern auftreten.

2. Gruppe: Sauerstofffreie Grundwasser haben vor allem folgende zusätzliche Eigenschaften:

— Der Nitrat-Gehalt ist null oder sehr niedrig.

— Ammonium, Nitrit, Eisen und Mangan sind in grösseren, analytisch messbaren Mengen deutlich vorhanden.

Oft treten auch sauerstofffreie oder sehr sauerstoffarme Grundwasser ohne die erwähnten zusätzlichen Eigenschaften auf. Die Gewässer der zweiten Gruppe werden als «reduzierte Grundwasser» oder «Grundwasser mit Reduktionsmerkmalen» bezeichnet. Die kurze, chemisch korrekte Bezeichnung lautet für die Gruppe 1: «Grundwasser mit niedriger Redoxintensität», für die Gruppe 2: «Grundwasser mit hoher Redoxintensität».

Bei den Sauerstoff verbrauchenden Vorgängen handelt es sich im wesentlichen um die Oxydation von organischen Substanzen. Diese stammen aus drei Quellen:

a) natürliche organische Substanzen im Grundwasserleiter (torfhaltige Bodenschichten);

b) direkte Verunreinigung des Grundwassers durch organische Substanzen (Versickerung bestimmter Abwässer oder Sickerwässer aus festen Abfällen);

c) indirekte Verunreinigung des Grundwassers durch Infiltration eines organisch verunreinigten Oberflächenwassers in das Grundwasservorkommen.

Für eine Beantwortung der Frage, aus welcher der drei Quellen die hohe Redoxintensität des Grundwassers bei einer bestimmten Stelle stammt, müssen einerseits die örtlichen und hydrologischen Verhältnisse (Lage allfälliger Verunreinigungsherde, organische Substanzen im Grundwasserleiter, Strömungsrichtung des Grundwassers usw.), andererseits zusätzliche, für antropogene Beeinflussungen beweiskräftige Analysenparameter (vor allem Chloridgehalt) in die Erwägungen miteinbezogen werden. Die Übergänge zwischen den beiden Gruppen sind fliessend. Die Falttafel S. 154 zeigt einen Ausschnitt aus der hydrochemischen Karte des linksrheinischen Gebietes zwischen Buchs und Sennwald. Daraus geht hervor, dass die besten Grundwasservorkommen zwischen dem Rhein und dem Rheintaler Binnenkanal auftreten. Auffällig ist die Zunahme der Gesamthärte und die Abnahme des Sauerstoffgehaltes talabwärts. Landeinwärts des Binnenkanals dehnt sich der tiefgründige Boden mit seinen fluviatil-limnischen Ablagerungen, zum Teil Torf, aus; dieser enthält Grundwasser mit hoher Redoxintensität, ein Grundwasser arm an Sauerstoff, mit hoher Härte und zu hohem Eisen- und Mangangehalt.

Ähnliche Eigenschaften hat auch das Grundwasser im Bergsturzgebiet von Sennwald. Wie das Pumpwerk Saxerriet nordwestlich von Haag zeigt, kann dieses Wasser auch bei grossem finanziellem Aufwand für eine Aufbereitung nicht zur Nutzung herangezogen werden. Dagegen ist das Grundwasser am Talhang, das von Karstwasser angereichert wird, ein gutes Trink- und Brauchwasser (im Talabschnitt Buchs—Grabs und bei Sennwald unterhalb Lögert). Ein ähnliches Grundwasservorkommen findet sich auch in einem schmalen Geländestreifen am Gegenhang zwischen Balzers und Vaduz.

Im Untersuchungsabschnitt Balzers—Trübbach bis Götzis—Montlingen können wir folgenden chemischen Grundwassertyp unterscheiden und den entsprechenden Gebieten zuweisen:

Gruppe 1 A: Grundwasser mit niedriger Karbonathärte. Dieses Wasser eignet sich für die Wasserversorgung.

Rechts des Rheins

Ellhorn bis Balzers, ganze Breite der Rheinebene

Balzers bis Schaan, Geländestreifen zwischen Rhein und Binnenkanal, z. T. noch etwas über denselben hinaus

Schaan bis Landesgrenze, einzelne Partien des Geländestreifens zwischen Rhein und Binnenkanal von Schaan bis Bendern, sowie Zone von Bendern bis Dorf Ruggel (Verbreitung hier unsicher)

Von der Grenze Liechtenstein—Vorarlberg nach Norden beidseits des Spirsbach, Ehbach-Kanal, Koblacher Kanal

Von Feldkirch zum Schuttfächer der Ill, von Rankweil über Brenderis und beidseits des Ehbaches sowie beidseits des Frutz

Links des Rheins

Die ganze Talebene von Trübbach bis Buchs

Das Karstgrundwasser entlang der linken Talflanke von Sevelen bis Sennwald. Im Abschnitt Gams—Frümsen oft unterbrochen von Bachschuttkegel mit viel Feinmaterial

Im Vorfeld des Rheins zwischen Oberriet und Montlingen (reduzierter Sauerstoffgehalt)

Gruppe 2 A: Grundwasser mit mittlerer bis hoher Karbonathärte. Auch dieses Wasser eignet sich für die Zwecke der Wasserversorgung.

Rechts des Rheins
Schmaler Geländestreifen am Berghang zwischen Balzers und Vaduz
Zwischen Feldkirch und Götzis am Talrand häufig Karstgrundwasser, z. T. in durchlässigem Felsuntergrund

Links des Rheins
Zwischen Rhein und Binnenkanal von Haag bis Rüthi
Zwischen Autostrasse N 13 von Oberriet bis Montlingen

Gruppe 1 B: Grundwasser mit erhöhtem Sulfatgehalt. Mit dem hohen Sulfatgehalt geht meist hohe Karbonathärte parallel (2 A). Dieses Wasser ist nicht besonders geeignet für die Wasserversorgung.

Rechts des Rheins
Zone zwischen Binnenkanal und Berghang im Gebiet von Schaan
Ein Gebietsstreifen von Nofels nach Bangs
Im Bereich der Nofla und ihres rechtsseitigen Zuflusses
Nördlich und nordwestlich Benderis bis über den Frutz hinaus
Südöstlich Koblach

Links des Rheins
Von Buchs bis Salez, landeinwärts des Werdenberger Binnenkanals, ein Geländestreifen von 100 m Breite
Links des Rheintaler Binnenkanals im überbauten Teil von Oberriet

Gruppe 2 B: Grundwasser mit hohen Reduktionsmerkmalen bzw. mit hoher Redoxintensität. Die Merkmale dieser Gruppe treten kombiniert auf, z. T. mit niedriger Karbonathärte (1 A), hoher Karbonathärte (2 A) und hoher Karbonathärte und erhöhtem Sulfatgehalt (2 A, 1 B). Diese Wasser sind in allen vorkommenden Kombinationen nicht geeignet für die Wasserversorgung.

Rechts des Rheins
Talboden Anstein nach Balzers
Geländezwickel im überbauten Gebiet von Vaduz
Schaan Bendern, grösserer Teil der Rheinebene sowie Eschner Tal
Bendern bis Bangs, Zone zwischen Dorf Ruggel und Neu Bangs
Südlich des Kummaberges

Links des Rheins
Westlich des Binnenkanals von unterhalb Buchs, über Gamser Riet, Saxer Riet, Bergsturzgebiet von Sennwald bis zu den Tanklagern von Seewald
Westlich des Binnenkanals von Eichenwis (nördlich Oberriet) die ganze Ebene bis zum westlichen Montlinger Berg

Die Qualität des Grundwassers, das in Rheinnähe gefasst wird, ist abhängig von der Wasserqualität des Rheins und vom Uferabstand der Fassung. Mit zunehmendem Uferabstand nimmt der Anteil an landseitigem Grundwasser zu; dieses ist oft sauerstoffarm, eisen- und manganhaltig.
Die analysierten Wasserproben liessen erkennen, dass das im Rheinvorland geförderte Grundwasser bakteriologisch und chemisch einwandfrei ist. Die organischen Wasserinhaltstoffe (BSB_5-Bedarf, DOC-Gehalt) werden in der Fliessstrecke weitgehend abgebaut. Lediglich der Sauerstoffgehalt liegt oft unter einem wünschbaren Wert, so dass möglicherweise das Grundwasser belüftet werden muss.
Die organische Belastung (BSB_5, DOC) des Rheins sowie der Binnenkanäle liegt fast ausschliesslich unterhalb der Grenzwerte, welche in der eidgenössischen Verordnung über Abwassereinleitungen für Fliessgewässer gefordert werden.
Der hier untersuchte Abschnitt des Rheintales von Trübbach—Balzers bis Montlingen—Götzis enthält gebietsweise Grundwasservorkommen, die sich für die Wasserversorgung in quantitativer und qualitativer Hinsicht vorzüglich eignen. Rechts des Rheins betrifft dies die Abschnitte Ellhorn—Balzers—Triesen—Vaduz—Schaan im Fürstentum Liechtenstein; Illschuttkegel—Meiningen—Koblach in Vorarlberg. Links des Rheins die Abschnitte Trübbach—Buchs, Haag—Rüthi und Oberriet—Montlingen. Im Abschnitt Trübbach—Buchs kann Grundwasser aus der ganzen Talebene entnommen werden. Alle übrigen nutzbaren Grundwasservorkommen beschränken sich auf eine Zone zwischen dem Rhein und den Binnenkanälen. Beidseits der Talebene kann am Hangfuss mit Karstwasser angereichertes Grundwasser guter Qualität in beschränkter Menge gewonnen werden.

9. Ergebnisse neuerer Grundwasseruntersuchungen

9.1. Bündner Rheintal

Rudolf Gartmann

Die in der vorliegenden Studie beschriebenen Grundwasseruntersuchungen im Bündner Rheintal gehen auf einen Beschluss der Bündner Regierung im Jahre 1960 zurück. Angesichts der im damaligen Zeitpunkt aktuellen, dann aber nicht verwirklichten Projekte für die Nutzbarmachung der Wasserkräfte des bündnerischen Rheins war eine systematische Untersuchung des Rhein-Grundwasserstroms eingeleitet worden, mit dem allgemeinen Ziel, möglichst gute Kenntnisse über dessen Eigenschaften zu gewinnen. Auf die Durchführung von geophysikalischen Messungen und die Abteufung von bis in beträchtliche Tiefen bzw. bis zum Grundwasserstauer reichenden Sondierbohrungen wurde in Anbetracht der zur Verfügung stehenden beschränkten Mittel bewusst verzichtet. Die durchgeführten Versuche vermittelten deshalb wohl befriedigende Angaben über die Beschaffenheit der Deckschichten und des obersten rund 10 m mächtigen Bereichs des Grundwasserleiters, über die Lage des Grundwasserspiegels, die Strömungsverhältnisse und über die Wechselbeziehungen zwischen dem Grundwasserstrom und dem Rhein als dessen Vorfluter. Zudem ergab sich ein mindestens in den Grundzügen repräsentatives Bild über die chemisch-physikalisch-bakteriologischen Eigenschaften des Grundwassers. Die Lage des Grundwasserstauers und damit die Mächtigkeit des Grundwasserleiters sowie die wassermengenmässigen Verhältnisse wurden mit diesen sich über die Jahre 1962 und 1972 erstreckenden Untersuchungen hingegen nicht erfasst und mussten späteren Arbeitsetappen vorbehalten bleiben.
Das Bedürfnis für eine langjährige Erfassung des Grundwasserspiegels und der Wechselbeziehungen zwischen

dem Rhein und seinem Grundwasserstrom führte in neuerer Zeit zur Aufnahme von zwei ausgewählten kantonalen Piezometerprofilen ins *Netz der eidgenössischen hydrometrischen Stationen.* Die noch um je einen Piezometer erweiterten Profile Nr. 3 bei Felsberg (Tafel bei S. 155) mit vier und Nr. 28 bei Maienfeld mit fünf Piezometern, davon je zwei ausgerüstet mit Limnigraphen, gehören nun als erste in der Schweiz einem Netz an, das der Bund nach und nach zu entwickeln beabsichtigt, mit dem Ziel, die Beobachtung von Grundwasser von nationalem Interesse langfristig zu sichern. Sie erlauben es, die Grundwasserstände im Profil und den Wasserstand des Rheins in seinem Schnitt mit dem Profil dauernd zu erfassen. Ausserdem sollen die vom Eidgenössischen Amt für Wasserwirtschaft bisher festgestellten Differenzen zwischen den Abflussmengen bei den hydrometrischen Stationen am Rhein bei Felsberg und bei Bad Ragaz, unter Berücksichtigung von Plessur und Landquart, abgeklärt werden. Die ermittelten Daten wurden erstmals im Hydrographischen Jahrbuch der Schweiz für die Jahre 1976 und 1977 veröffentlicht (Bilder 9.1.1 und 9.1.2). Sie bestätigen vorerst einmal die aus den früheren Untersuchungen zu ziehenden Schlüsse: Die Lage des Grundwasserspiegels wird in sehr weitgehendem Mass durch die Höhe des Rheinwasserspiegels bestimmt, und zwar sowohl bei Vorflut-Verhältnissen, d. h. das Grundwasser strömt in den Rhein (Felsberg, Profil Nr. 3), als auch bei Infiltrations-Verhältnissen, d. h. Flusswasser infiltriert in das Grundwasser (Maienfeld, Profil Nr. 28).

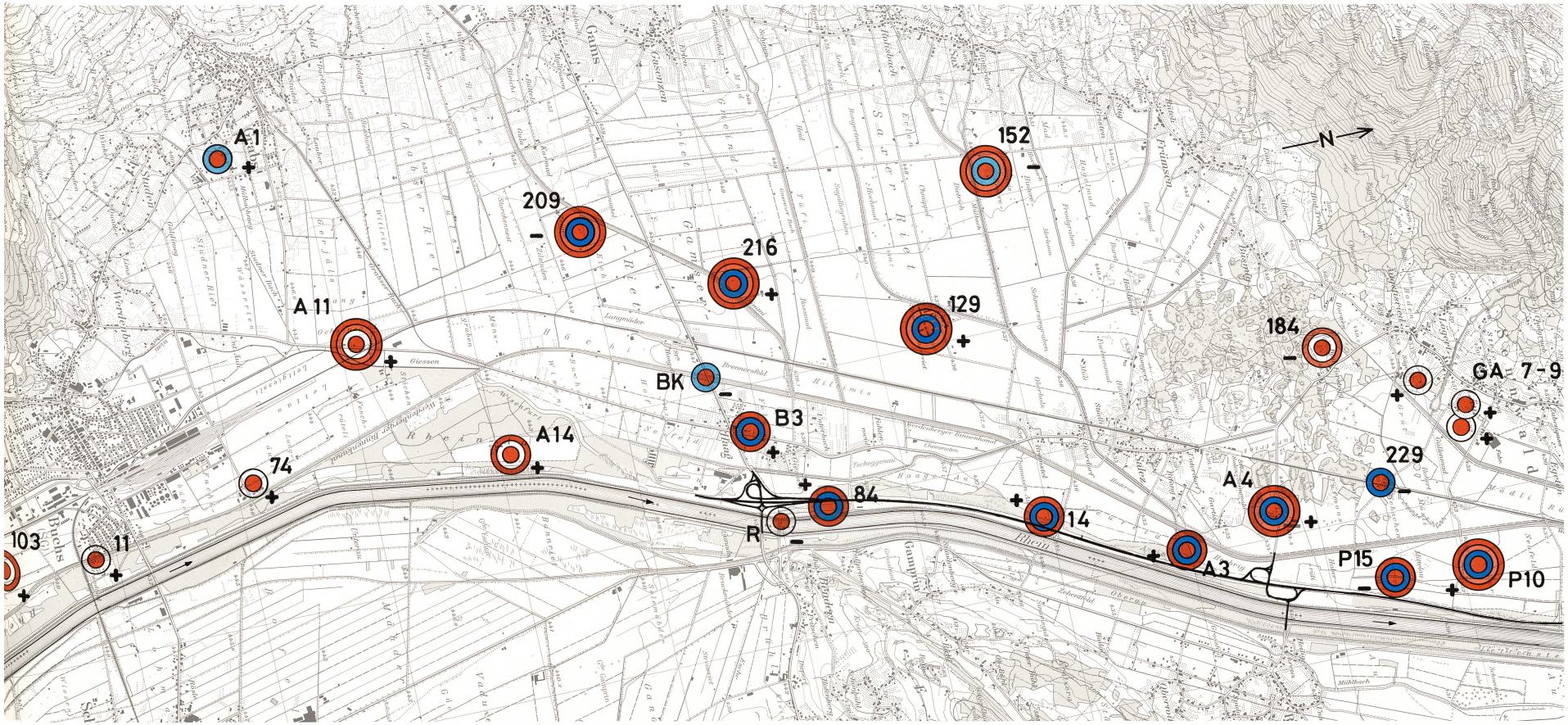
Die festgestellten Wechselbeziehungen zwischen dem Grundwasserspiegel in den beiden ausgewählten Profilen und dem Wasserspiegel bzw. der Abflussmenge im Rhein erlauben es, die 1962—1972 ermittelten Daten in die langjährigen Messreihen der eidgenössischen hydrometrischen Stationen einzupassen. Dies unter der Voraussetzung, dass sich die rund 15 000 Einzelmessungen bei insgesamt 150 Piezometern, gruppiert in 48 Profilen zwischen Reichenau und Fläsch, mit den heute gebräuchlichen *Verfahren der mathematischen Statistik* mit vernünftigem Aufwand auswerten lassen, was durch entsprechende Vorstudien bestätigt werden konnte.

In überschaubaren Tabellen stehen heute dem Benützer derart ausgewertete Zahlen zur Verfügung, nämlich pro Messstelle die Durchschnittswerte (zehnjähriges Mittel) der Wasserspiegellagen je für die vier Jahreszeiten, für die beiden Halbjahre, für das hydrologische und das Kalenderjahr sowie die Werte für die Standardabweichung (Streuung) von 95 Prozent der Einzelwerte bezüglich der Durchschnittswerte. Dieses Zahlenmaterial ist im Gegensatz zu zufällig ausgewählten Einzelmessungen objektiv vergleichbar und lässt sich in langjährige Reihen einpassen. Es bildet eine wertvolle Grundlage für verschiedene praktische Entscheide bzw. Anwendungen wie etwa die Festlegung von Grundwasserschutz-Vorschriften und baulichen Massnahmen sowie bezüglich land- und forstwirtschaftlicher Erfordernisse. Es war deshalb gegeben, das in weiteren Grundwassergebieten Graubündens ermittelte und in Zukunft zu ermittelnde Zahlenmaterial nach dem mathematisch-statistischen, elektronisch programmierten Verfahren auszuwerten. Ähnliche Tabellen stehen auch für die gemessenen Grundwassertemperaturen zur Verfügung.

Da die bisher übliche graphische Darstellung der Grundwasserspiegel in *Isohypsenkarten* für je einen mehr oder weniger zufälligen hohen bzw. tiefen Grundwasserstand nicht ganz zu befriedigen vermag, werden nun im Kanton Graubünden allgemein Isohypsenkarten im Massstab 1:10 000 für die auf das Kalenderjahr bezogenen Durchschnittswerte der Grundwasserspiegellagen ausgearbeitet. Die Karten sind ergänzt durch die Angabe der Streuung von 95 Prozent der Einzelmessungen bei jeder Messstelle, Piezometer oder Grundwasserbrunnen. Mit der gewählten Darstellung gewinnt der Betrachter nicht nur ein Bild über die mittlere Lage und die Beschaffenheit der Grundwasseroberfläche und damit indirekt über die Gefälle und Strömungsrichtungen, sondern auch einen Eindruck über deren zeitliche Veränderlichkeit bzw. ein objektives Mass über die möglichen Abweichungen vom langjährigen Durchschnitt (Bereich Felsberg—Chur, Falttafel nach S. 155).

Im Jahre 1975 wurde im Hinblick auf die Erfassung der *Grundwassermächtigkeit* an zwei ausgewählten Stellen, d. h. auf dem *Churer Rossboden* und in den Viertellösern der *Gemeinde Zizers,* je eine Tiefbohrung ausgeführt. Dabei konnte das gesteckte Ziel, die diluvialen und alluvialen Ablagerungen der Beckenfüllung des Rheintales zu erschliessen und den anstehenden Felsuntergrund anzubohren, allerdings nur teilweise erreicht werden. Trotz des gewählten Anfangsbohrdurchmessers von 245 mm wurde bei je einer Bohrtiefe von rund 170 m der Felsuntergrund nicht erreicht. Mit diesen Versuchen wurde aber sowohl bei Chur als auch bei Zizers ein quantitativ ausserordentlich ergiebiges, chemisch-bakteriologisch einwandfreies Grundwasservorkommen erschlossen. Gleichzeitig ergab sich auch ein gutes Bild über die Zusammensetzung der Rheintalalluvionen. Beim *Churer Rossboden* muss das Grundwasser wohl als Rheininfiltrat angesprochen werden, das sich aber mit längerer Verweilzeit im Kieskörper des Talgrundes aufhält. Der hier rund 150 m mächtige, grundwasserführende Kieskörper ist von einer quarzsandreichen feinen Sandschicht, d. h. von einer Ablagerung in einem stehenden Gewässer, unterlagert. Das durchbohrte grosse Reservoir an qualitativ und quantitativ erstklassigem Grundwasser bestätigt die Richtigkeit des hier bereits früher im Sinne der Gewässerschutzgesetzgebung ausgeschiedenen Grundwasserschutzareals und der seitens der Stadt Chur geplanten sukzessiven Verlegung ihres Grundwasserbezuges in dieses Areal, dessen Schutz ohne besondere Massnahmen durch die heutigen Gegebenheiten (Waldstreifen, Schiess- und Sportanlagen, keine Überbauungen und befahrene Strassen) sicher und langfristig gewährleistet werden kann. Die Anlagen sind ausbaufähig.

Da anzunehmen ist, dass im Verlauf der nächsten Jahrzehnte die Grundwassernutzung im Bündner Rheintal noch stark zunehmen wird, und da in jüngster Zeit auch wieder neue Ausbauprojekte für Wasserkraftanlagen am Rhein zwischen Reichenau und Fläsch zur Diskussion stehen, hat nun das Amt für Gewässerschutz Graubünden mit weiteren Grundwasseruntersuchungen im Rheintal begonnen. Das Programm für die neuen Arbeitsetappen sieht die Ermittlung von Durchlässigkeit (Gebiets-*k*-Wert) und nutzbarem Porenvolumen des Grundwasserleiters, der Lage des Grundwasserstauers und damit der Mächtigkeit des Grundwasserleiters, sowie der punkt-, linien- und flächenhaften Zu- und Abflüsse vor. Zudem ist der Einsatz des von der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der ETH Zürich im Auftrag des Eidgenössischen Amtes für Wasserwirtschaft entwickelten mathematischen Modells zur numerischen Simultation Dupuit'scher Grundwasserströmungen mit freier Oberfläche geplant. Dies setzt die Kenntnis der genannten Kennwerte voraus. Das Rechenmodell soll, nach dessen Eichung, die zweckmässige Nachbildung verschiedener Grundwasserzustände infolge verschiedener möglicher Randbedingungen (mehrere Filterbrunnen, Aufstau oder Absenkung des Vorfluters, Grundwasseranreicherung u. a.) sowie eine Optimierung der Grundwassernutzung erlauben.



Ausschnitt aus der hydrochemischen Karte 1:25 000 des linksrheinischen Gebietes zwischen Buchs und Sennwald

Grundwasserentnahmestellen

Gesamthärte < 22 frz. H°, mittelhart

Gesamthärte 22 bis 32 frz. H°, ziemlich hart

Gesamthärte > 32 frz. H°, hart

Fe- und Mn-haltig, Fe > 0,1 mg/l; Mn0 > 0,05 mg/l

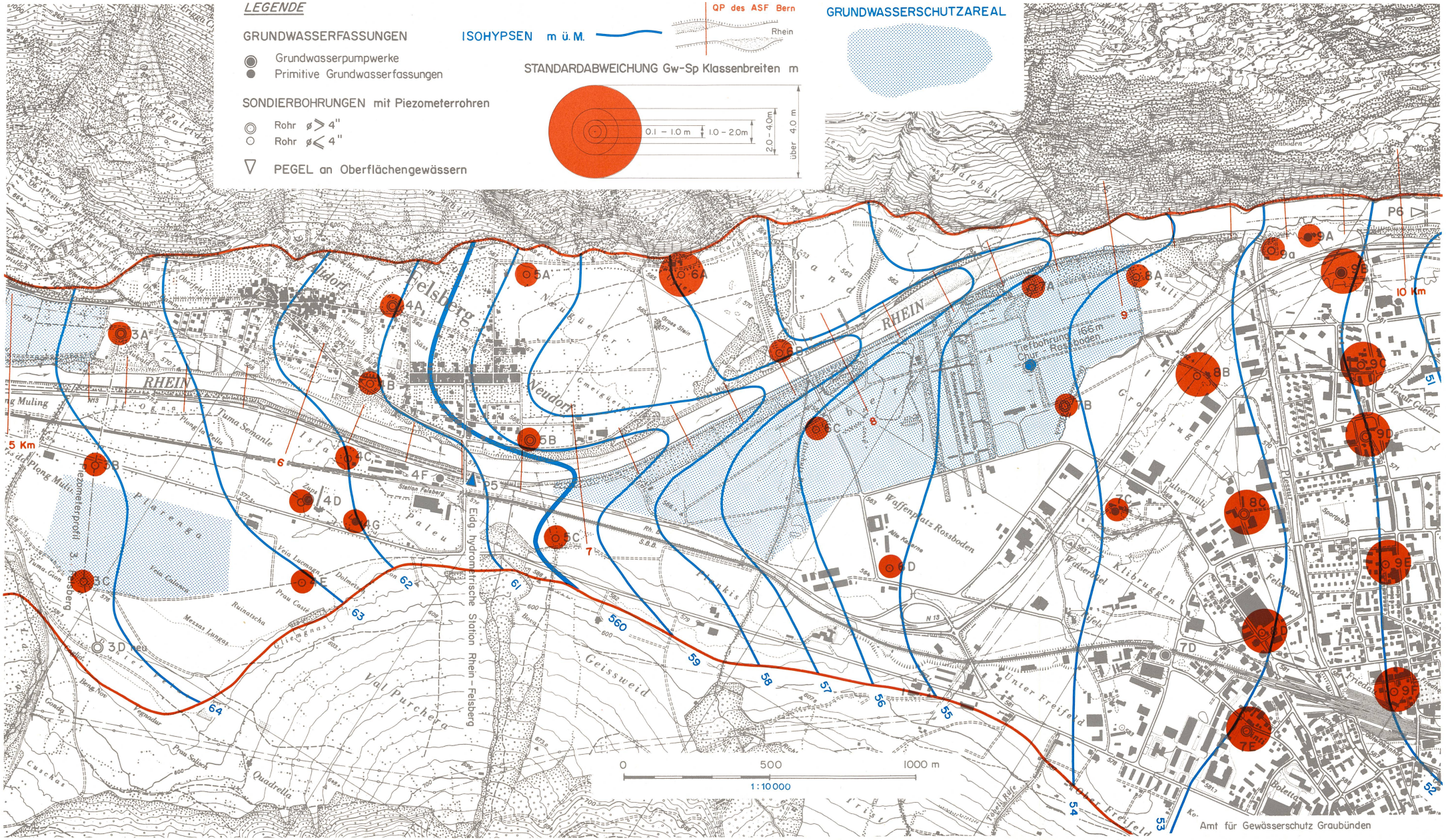
Sauerstoffarmes Grundwasser Sättigungsgrad < 40 %

Bakteriologischer Befund:

+ gut

− ungünstig

Reproduziert mit Bewilligung der Eidg. Landestopographie vom 4. Juli 1978


LEGENDE
GRUNDWASSERFASSUNGEN
Grundwasserpumpwerke
Primitive Grundwasserfassungen
SONDIERBOHRUNGEN mit Piezometerrohren
Rohr ø > 4"
Rohr ø < 4"
PEGEL an Oberflächengewässern
ISOHYPSEN m ü. M.
QP des ASF Bern
Rhein
STANDARDABWEICHUNG Gw-Sp Klassenbreiten m
0.1 – 1.0 m
1.0 – 2.0 m
2.0 – 4.0 m
über 4.0 m
GRUNDWASSERSCHUTZAREAL
RHEIN
Felsberg
Weudorf
Waffenplatz Rossboden
Tiefbohrung Chur Rossboden 156 m
Eidg. hydrometrische Station Rhein – Felsberg
Piarenga
Valpurchera
Geissweid
Unter Freifeld
Klibruggen
Wasserfuel
Palu
Quadrella
Ruinatscha
Frankis
Sportplatz
Pulvermühle
Alte Kaserne
Station Felsberg
Piezometerprofil 3
5 Km
10 Km
0
500
1000 m
1:10000
Amt für Gewässerschutz Graubünden

9.2. Neuere Grundwasseruntersuchungen Rüthi-Blattenberg

Max Kobel

Untersuchungsprogramm und Problemstellung

Während der Vorabklärungen für das Kernkraftprojekt Rüthi wurden im Auftrage der Nordostschweizerischen Kraftwerke AG im Raume Rüthi-Blattenberg umfangreiche hydrogeologische, chemisch-physikalische und biologische Untersuchungen durchgeführt, welche die Erforschung der Grundwasserverhältnisse, des Regimes von Rheintaler Binnenkanal und Rhein sowie der Beeinflussung des Grundwassers durch die Oberflächengewässer zum Ziele hatten.

Zur Erfassung der Grundwasserstände, der Spiegelschwankungen und Strömungsrichtungen und deren Abhängigkeit von den Pegelständen im Rheintaler Binnenkanal und Rhein wurde ab Januar 1973 bis Dezember 1977 in den Gebieten «Werben», «In den Stöcken» und «Auen» alle 14 Tage in 33 Grundwasserbeobachtungsrohren, an 4 Pegeln im Binnenkanal und 1 Pegel im Rhein der Wasserstand gemessen.

Vom Januar 1973 bis zum Januar 1974 wurden zudem sechs Analysenreihen durchgeführt an Wasserproben aus 19 Piezometern und je einer Entnahmestelle im Binnenkanal (Brücke bei der Gipsfabrik Rüthi) und Rhein (Brücke Oberriet-Meiningen). An den Proben wurden folgende Komponenten bestimmt: Härte (Gesamthärte, Karbonathärte, permanente Härte), Nitrat, Chlorid und Sulfat. Mit den Analysenreihen sollte abgeklärt werden, ob sich der Chemismus des Grundwassers generell oder nur im direkten Infiltrationsbereich von Binnenkanal und Rhein bzw. im Bereich des Bergwasserzuflusses mit der wechselnden Strömungsrichtung ändere.

Grundwasserströmungen

Die Grundwasserspiegel-Schwankungen und Strömungsrichtungen werden im Untersuchungsgebiet bestimmt einerseits vom wechselnden Verhältnis des Wasserstandes im Rhein zum Wasserstand im Rheintaler Binnenkanal oberhalb des EW Blatten und andererseits vom Verhältnis des Bergwasserzuflusses vom Blattenberg — insbesondere Karstwasserzufluss aus dem Fels — zum Wasserstand im Binnenkanal oberhalb des Wehres Blatten (Bild 9.2.1, S. 158).

Gebiete «In den Stöcken» und «Auen»

Während der Wasserstand im Binnenkanal im Bereich der Stauhaltung des EW Blatten nur um etwa 0,2 m beim Pegel 22 bis 0,4 m beim Pegel 23 schwankt, weist der Rhein zufolge der vor allem jahreszeitlich stark unterschiedlichen Abflussmengen Pegelschwankungen von 2,0 bis 2,5 m auf. Demzufolge ist im Gebiet «In den Stöcken» südlich des Blattenberges der Rheinpegel zeitweise tiefer und zeitweise höher als der Pegel des Binnenkanals. Ist oberhalb des Wehres Blatten der Wasserspiegel des Binnenkanals höher als der Rheinpegel, so besteht im Gebiet «In den Stöcken» eine Grundwasserströmung vom Binnenkanal zum Rhein (Strömungsfall 1). Damit dieser Strömungsfall herrscht, müssen bei den auf den Strömungsbildern dargestellten massgebenden Pegelpunkten und Piezometern folgende Bedingungen erfüllt sein:

a) Der Rheinpegel P 11 muss etwa 0,3 m tiefer sein als der Pegel P 21 des Binnenkanals.

b) Der Piezometer 24 muss einen deutlich tieferen Wasserstand haben als der Pegel P 21.

c) In den Piezometern 1, 2 und 3 muss ein kontinuierliches Grundwassergefälle von 3 nach 1 bestehen.

Damit im Gebiet «In den Stöcken» das Grundwasser dagegen in umgekehrtem Sinne vom Rhein zum Binnenkanal fliesst (Strömungsfälle 2 und 3), müssen die nachstehenden Voraussetzungen zutreffen:

a) Der Rheinpegel P 11 muss höher sein als der Pegel P 21.

b) Der Pegel P 11 muss deutlich höher sein als der Wasserstand im Piezometer 24.

c) In den Piezometern 1, 2 und 3 muss ein stetiges Grundwassergefälle von 1 nach 3 bestehen.

Sind die angeführten Voraussetzungen für die Strömungsfälle 1 oder 2 und 3 nur teilweise erfüllt, ergibt sich ein Mischfall, indem das Grundwasser teilweise vom Rhein Richtung Binnenkanal und teilweise in umgekehrter Richtung fliesst. Solche Mischfälle, die recht häufig sind, bestehen immer beim Wechsel von Fall 1 zu Fall 2 oder 3 oder umgekehrt. Beim Anstieg des Wasserstandes im Rhein beginnt zufolge verstärkten Grundwasserzuflusses aus südlicher Richtung zuerst der Grundwasserstand im Piezometer 2 anzusteigen, so dass das kontinuierliche Grundwassergefälle von 3 nach 1 unterbrochen wird. Beim weiteren Ansteigen des Rheinpegels P 11 infiltriert der Rhein auch direkt in westlicher Richtung, jedoch erst flussaufwärts des Pegels P 11. Wird der Pegel P 11 höher als der Pegel P 21 des Binnenkanals, bleibt er aber immer noch unter dem Wasserstand im Piezometer 24, so fliesst das Grundwasser vorübergehend von einem «Rücken», der sich von Piezometer 24 nach 21 erstreckt, einerseits zum Binnenkanal und andererseits zum Rhein ab. Steigt der Pegel P 11 in der Folge noch weiter an, beginnt der Rhein auch flussabwärts des Pegels P 11 zu infiltrieren, der Wasserstand von Pegel P 11 wird höher als derjenige von Piezometer 24 und der erwähnte Grundwasserrücken bildet sich nach Norden zurück. Vom Rhein fliesst nun das Grundwasser über 24 bis zum Binnenkanal. Einzig beim Knie des Binnenkanals besteht solange noch eine Vorflutrinne zwischen Rhein und Binnenkanal, als der Piezometer 1,5 nicht höher als der Pegel P 22 im Binnenkanal ist.

Beim Absinken des Rheins vom Hochwasserstand zu Mittel- und Niederwasser werden die oben beschriebenen Stadien wieder in entgegengesetzter Reihenfolge durchlaufen. Bei geringerem Pegelanstieg des Rheins oder kurzer Dauer eines Hochwasserdurchganges, z. B. nach sommerlichen Gewittern, kommt es auch nicht selten vor, dass die Strömungsumkehr im Gebiet «In den Stöcken» nur teilweise stattfindet, dass sich also nur ein Mischfall einstellt, welcher sich anschliessend wieder zum Strömungsfall 1 zurückbildet.

Im Gebiet «Auen» unterhalb des EW Blatten ist der Rheinspiegel immer höher als der Wasserspiegel des Binnenkanals, der in diesem Abschnitt ebenfalls Pegeldifferenzen von 1 m aufweist. In diesem Abschnitt fliesst somit das Grundwasser unabhängig vom Wasserstand des Rheins während des ganzen Jahres vom Rhein zum Binnenkanal.

Gebiet «Werben»

Die Grundwasserströmung zwischen dem Binnenkanal im Bereich der Stauhaltung des EW Blatten und dem Südhang des Blattenberges wird von der wechselnden Intensität des Bergwasserzuflusses vom Blattenberg aktiviert, während der Binnenkanal mit seinem sich nur wenig ändernden Wasserspiegel wiederum — wie beim Verhältnis Rhein/Binnenkanal — die passive Rolle spielt.

Bei starkem Bergwasserzufluss besteht im Gebiet «Werben» eine Grundwasserströmung vom Berghang bis zum Binnenkanal; der Binnenkanal ist Vorfluter für das Grundwasser aus dem Gebiet «Werben». Dies ist dann der Fall, wenn bei

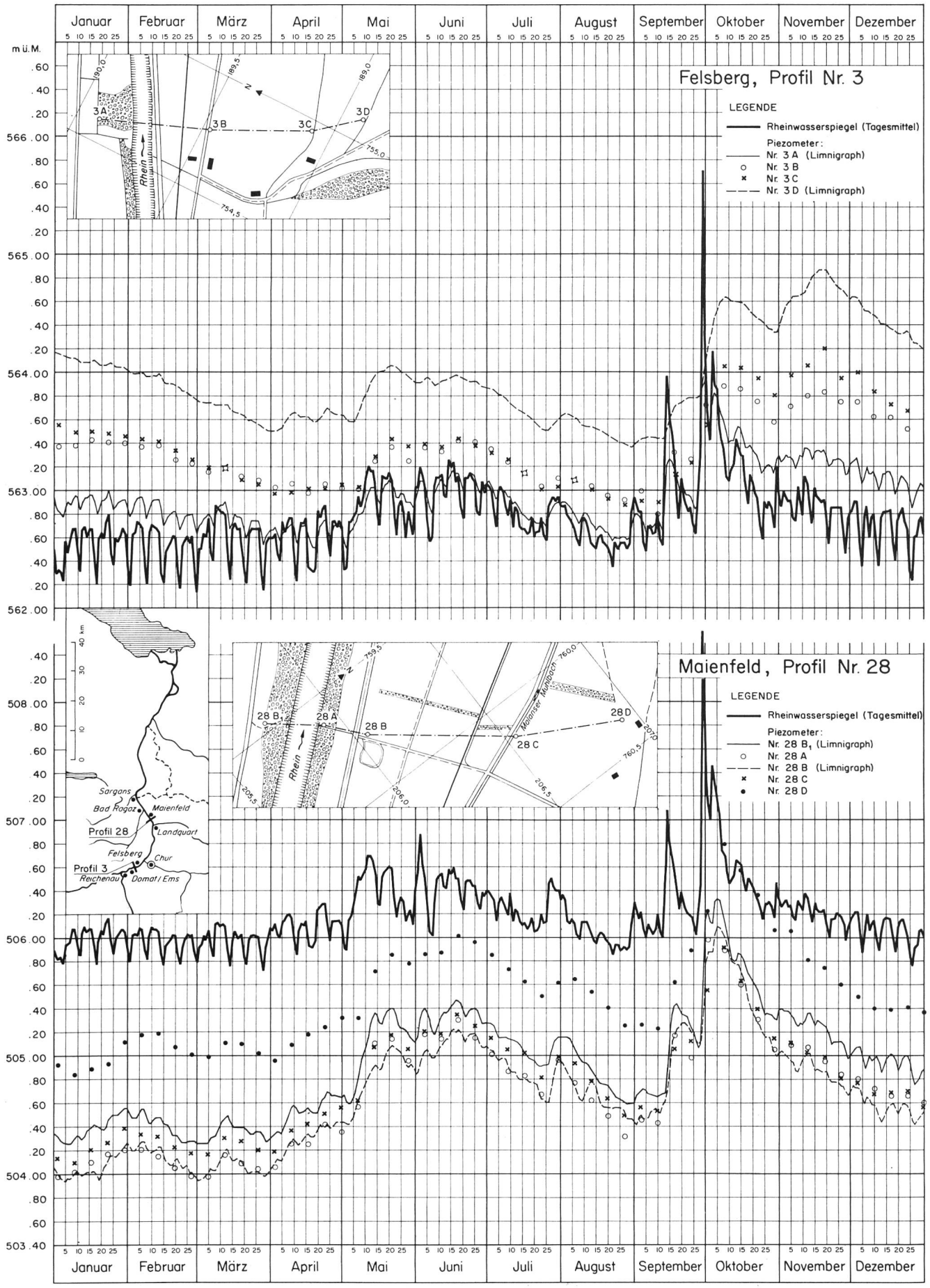


Bild 9.1.1. Darstellung der Grundwasserverhältnisse bei Felsberg und bei Maienfeld; Vorabdruck aus dem Hydrographischen Jahrbuch der Schweiz 1976.

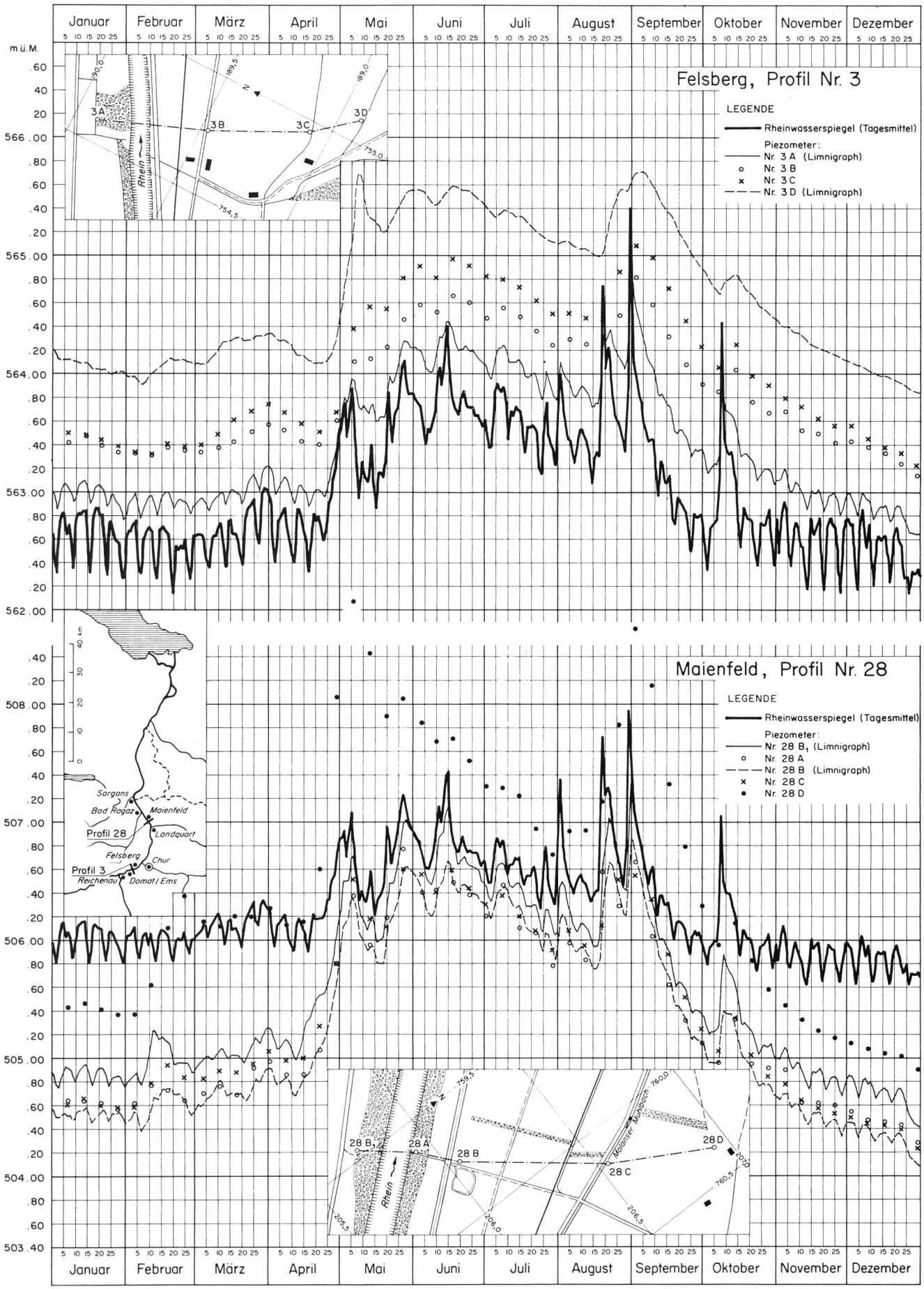


Bild 9.1.2. Darstellung der Grundwasserverhältnisse bei Felsberg und bei Maienfeld; Vorabdruck aus dem Hydrographischen Jahrbuch der Schweiz 1977.

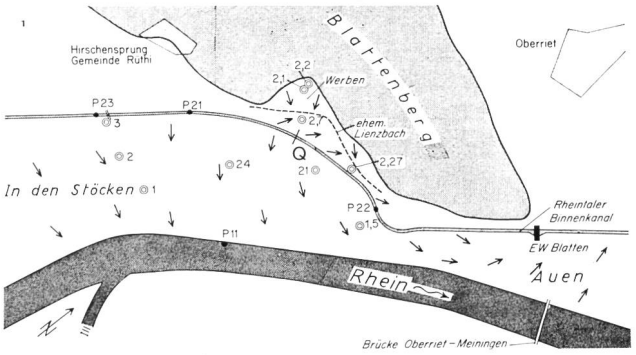
den massgebenden Messstellen die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

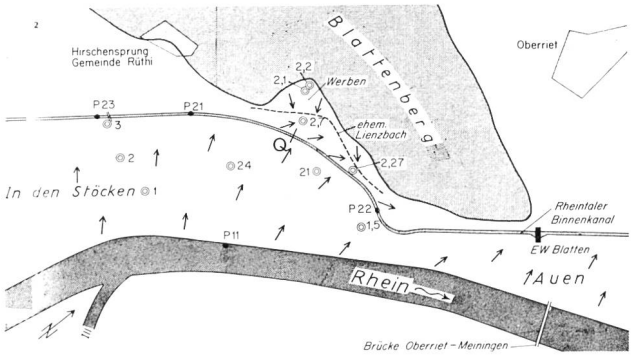
a) Der Grundwasserstand im Piezometer 2,7 ist höher als der Wasserstand des Binnenkanals beim Punkt Q.

b) Der Grundwasserstand im Piezometer 2,27 ist höher als der Pegel P 22.

Theoretisch könnte dieser Strömungsfall sowohl in Kombination mit der Strömung vom Rhein zum Binnenkanal wie auch mit der Strömung vom Binnenkanal zum Rhein auftreten. Die Beobachtungen während der vier Messjahre 1973 bis 1977 haben aber gezeigt, dass sich im Gebiet «Werben» nur im Sommerhalbjahr und zwar immer dann, wenn auch der Rhein Hochwasser führt, also das Grundwasser im Gebiet «In den Stöcken» vom Rhein zum Binnenkanal fliesst, ein genügend starker Bergwasserzufluss für eine Grundwasserströmung vom Talhang bis zum Binnenkanal einstellt (Strömungsfall 3). Dies hängt damit zusammen, dass der Bergwasserzufluss aus dem Blattenberg grösstenteils von Karstwasser aus dem Ostende der Säntiskette gespiesen wird, wobei dieser Karstwasserzufluss besonders zur Zeit der Schneeschmelze in den höheren Lagen der Säntiskette oder bei starken, anhaltenden Sommerniederschlägen anschwillt, d. h. zu gleicher Zeit, in der auch der Rhein Hochwasser führt. Im Winterhalbjahr, wenn im Gebiet «In den Stöcken» das Grundwasser stets vom Binnenkanal zum Rhein fliesst, vermag sich die Bergwasserströmung in «Werben» jedoch nicht bis zum Binnenkanal durchzusetzen, obwohl auch im Winterhalbjahr — vor allem bei Föhneinbruch — kurzfristig erhöhter Bergwasserzufluss festzustellen war, der sich aber nur in einem starken Ansteigen des Wasserspiegels im Piezometer 2,2 gegenüber dem Wasserstand im Piezometer 2,1 bemerkbar machte.

Bei normalem oder nur kurzfristig erhöhtem Bergwasserzufluss besteht im Gebiet «Werben» zwischen dem Binnenkanal und dem ehemaligen Lienzbach eine Grundwasser-Vorflutrinne, der das Grundwasser sowohl vom Binnenkanal wie auch vom Blattenberg her zufliesst (Strömungsfälle 1 und 2). Sie entwässert, immer bergseits dem Binnenkanal folgend, in Richtung EW Blatten, strömt zwischen Blattenberg und Stauwehr durch und schliesslich von Westen her unterhalb des Wehres in den Binnenkanal.





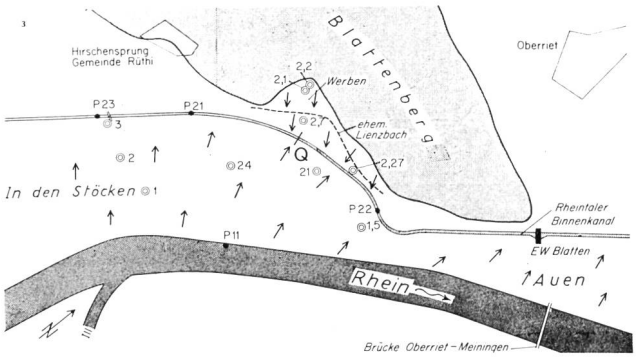


Bild 9.2.1. Grundwasserströmungen im Gebiet «In den Stöcken — Werben» südlich des Blattenberges (bei Stauhaltung im Elektrizitätswerk Blatten). Massstab etwa 1 : 28 000.

Strömungsfall 1: Das Grundwasser im Gebiet «In den Stöcken» strömt vom Rheintaler Binnenkanal zum Rhein; der Rhein ist Vorfluter. Im Gebiet «Werben» strömt Grundwasser vom Binnenkanal und vom Blattenberg zu einer gemeinsamen Vorflutrinne etwa beim ehemaligen Lienzbach.

Dieser häufigste Strömungsfall besteht während des ganzen Winterhalbjahres; in niederschlagsarmen Jahren bereits auch im Spätsommer; bei kühler Witterung und später Schneeschmelze im Gebirge (geringe Wasserführung des Rheins) bis zum Frühsommer.

Strömungsfall 2: Das Grundwasser im Gebiet «In den Stöcken» fliesst vom Rhein zum Binnenkanal; der Binnenkanal ist Vorfluter für das Gebiet «In den Stöcken». Strömung im Gebiet «Werben» wie bei Strömungsfall 1.

Dieses untergeordnete Strömungssbild besteht nur im Sommerhalbjahr bei hoher Wasserführung des Rheins, während der Schneeschmelze im Gebirge oder während anhaltender ergiebiger Niederschläge.

Strömungsfall 3: Im Gebiet «In den Stöcken» finden wir das gleiche Strömungsbild wie bei Fall 2. Strömung im Gebiet «Werben» vom Blattenberg bis zum Binnenkanal. Der Binnenkanal ist Vorfluter für die Gebiete «In den Stöcken» und «Werben».

Dieser untergeordnete Strömungsfall tritt ungefähr gleich häufig auf wie Strömungsfall 2. Er tritt nur im Sommerhalbjahr auf bei hoher Wasserführung des Rheins und gleichzeitig starkem Bergwasserzufluss (Karstwasser aus dem Ostende der Säntiskette) vom Blattenberg infolger starker Schneeschmelze in den höheren Lagen der Säntiskette.

Pegel im Rhein: P 11. Pegel im Rheintaler Binnenkanal: P 23, P 21, P 22. Im Querprofil Q wurde der Wasserstand zwischen den beiden Pegeln P 21 und P 22 interpoliert.

Die Doppelkreise bezeichnen ausgewählte Grundwasserbeobachtungsrohre (Piezometer), deren Wasserstände untereinander sowie in Beziehung zu den Pegeln im Rhein und im Binnenkanal für die jeweilige Grundwasserströmung massgebend sind. Mit den Pfeilen wird die Strömungsrichtung des Grundwassers angegeben.

Wie im Gebiet «In den Stöcken» bestehen auch im Gebiet «Werben» Mischfälle der beiden aufgezeigten Strömungsarten. Ziemlich häufig ist der Wasserstand im Piezometer 2,7 zwar noch höher als der Wasserspiegel des Binnenkanals beim Punkt Q, der Wasserstand von Piezometer 2,27 dagegen gleich oder tiefer wie der Pegel P 22, so dass das Grundwasser nur im südwestlichen Teil vom Berghang bis zum Binnenkanal fliesst, während weiter kanalabwärts die erwähnte Vorflutrinne bergseits des Binnenkanals ausgebildet ist.

Kombination der Gebiete «In den Stöcken» und «Werben»

Aus der Kombinatton der behandelten Strömungsverhältnisse der Gebiete «In den Stöcken» und «Werben» resultieren die drei auf den Strömungsbildern dargestellten Fälle 1, 2 und 3. Der Strömungsfall 1 ist weitaus am häufigsten, er ist sozusagen der «normale Strömungsfall», der im Winterhalbjahr die Regel ist und während der Beobachtungsperiode bei rund zwei Dritteln aller Messreihen herrschte. Der Strömungsfall 3 hat mit etwa 11 % aller Messungen noch etwas häufiger bestanden als der Strömungsfall 2 mit rund 8 %. Etwa 15 % der Messreihen ergaben Mischfälle zwischen 1 und 2 oder 2 und 3.

Chemismus des Grundwassers in Abhängigkeit der *Strömungsrichtungen*

Bei den zwischen Januar 1973 und Januar 1974 im Grundwasser, im Rhein und im Binnenkanal durchgeführten sechs Analysenreihen der Komponenten: Härte (Gesamthärte, Karbonathärte und permanente Härte), Nitrat, Chlorid und Sulfat, war nicht der Grundwasserchemismus an sich zu erfassen, sondern dessen Abhängigkeit von der Infiltration des Rheins und des Binnenkanals sowie vom Bergwasserzufluss und damit von den wechselnden Strömungsverhältnissen.

Härte

Die Gesamthärte betrug

im Grundwasser	21,0 bis 41,0 frz. H°
im Rhein	12,6 bis 22,0 frz. H°
im Binnenkanal	16,4 bis 25,0 frz. H°

Die Karbonathärte betrug

im Grundwasser	13,6 bis 34,0 frz. H°
im Rhein	8,0 bis 13,0 frz. H°
im Binnenkanal	13,8 bis 20,0 frz. H°

Rhein und Binnenkanal weisen somit durchwegs niedrigere Gesamt- und Karbonathärte auf als das Grundwasser. Die permanente oder bleibende Härte (Sulfate, Nitrate, Chloride, Phosphate, Silikate des Kalziums und Magnesiums), welche grossenteils vom Sulfatgehalt abhängt, ist im Rhein meist deutlich höher als im Binnenkanal, was insbesondere durch die Sulfatfracht der Ill bedingt sein dürfte, deren Einzugsgebiet grosse Gipsvorkommen enthält.

Der Bergwasserzufluss vom Blattenberg bringt im Vergleich zum Rhein und zum Binnenkanal eine grössere Karbonathärte ins Grundwasser ein (Karstwasser aus einem Kalkgebirge!), hat jedoch im Verhältnis zum Rhein eine kleinere permanente Härte. Die permanente Härte des Binnenkanalwassers und des Bergwasserzuflusses sind im Durchschnitt etwa gleich.

Das nicht im direkten Infiltrationsbereich von Rhein und Binnenkanal stehende Grundwasser hat die höchste Karbonathärte, die auch noch höher liegt als die Karbonathärte des Bergwasserzuflusses. Die permanente Härte des Grundwassers ist unregelmässig, sowohl zwischen den einzelnen Kontrollpiezometern wie auch im Vergleich zum Rhein und zum Binnenkanal. Dies wird auf die Beeinflussung der permanenten Grundwasserhärte durch die landwirtschaftliche Düngung zurückgeführt.

Im direkten Infiltrationsbereich des Rheins und des Binnenkanals zeigt das Grundwasser eine deutliche Reduktion der Gesamt- und Karbonathärte. Im Gebiet «Auen», wo das Grundwasser stets vom Rhein zum Binnenkanal fliesst, nimmt die Karbonathärte und damit auch die Gesamthärte vom Rhein zum Binnenkanal zu. Im Gebiet «In den Stöcken» ist beim Strömungsfall 1 zwar keine kontinuierliche, aber immerhin eine generelle Zunahme vom weniger harten, infiltrierenden Binnenkanal bis zum Vorfluter, dem Rhein, festzustellen. Ebenso besteht bei der gegenläufigen Strömung (Fälle 2 und 3) im Gebiet «In den Stöcken» eine Zunahme von Gesamt- und Karbonathärte vom relativ weichen, infiltrierenden Rhein bis zum Binnenkanal. Im Gebiet «Werben» weist das Grundwasser beim Strömungsfall 3 bis zum Binnenkanal hohe Gesamt- und Karbonathärte auf, während bei den Strömungsfällen 1 und 2 die Infiltration des Binnenkanals in Richtung «Werben» im Grundwasser eine Härtereduktionszone bewirkt.

Bei der permanenten Härte lässt sich aus dem oben angeführten Grunde (örtliche Beeinflussung der permanenten Härte des Grundwassers durch die landwirtschaftliche Düngung) keine Abhängigkeit von den Infiltrationen der Oberflächengewässer und damit von den Strömungsrichtungen beobachten. Der Bergwasserzufluss ist für die permanente Härte nicht signifikant.

Sulfat

Die Verhältnisse beim Sulfatgehalt der Oberflächengewässer, des Bergwasserzuflusses und des Grundwassers sind ähnlich der permanenten Härte, indem diese weitgehend vom Sulfatgehalt abhängt. Im Gebiet «Auen» kann bei hoher Sulfatfracht des Rheins eine generelle Erhöhung der Sulfatgehalte des Grundwassers im Infiltrationsbereich nachgewiesen werden, indem das Grundwasser dieses Gebietes deutlich höhere Sulfatgehalte aufweist als das gleichzeitig vom Binnenkanal im Gebiet «In den Stöcken» infiltrierte Grundwasser. An drei Messdaten führte der Rhein 60 bis 72 mg SO_4/l, während der Sulfatgehalt des Binnenkanals bei 19 bis 33 mg/l lag.

Der Bergwasserzufluss in «Werben» hat geringe Sulfatgehalte, die gleich oder kleiner als diejenigen des Binnenkanals sind. Demzufolge weist das Grundwasser im ganzen Gebiet «Werben» bei allen Strömungsfällen immer relativ geringe Sulfatgehalte auf.

Nitrat

Rhein und Binnenkanal haben im Vergleich zum Grundwasser immer geringe Nitratgehalte. Dementsprechend sind auch die Nitratgehalte im direkten Infiltrationsbereich der Oberflächengewässer klein und nehmen in der Strömungsrichtung vom Infiltranten zum Vorfluter zu. Bei der Strömungsumkehr im Gebiet «In den Stöcken» ändert sich auch die Richtung des zunehmenden Nitratgehaltes. Zeitweise treten jedoch sogar im Infiltrationsbereich unvermutet überdurchschnittlich hohe Nitratgehalte auf. Es wurden örtlich Nitratmengen bis 9 mg/l festgestellt, während der durchschnittliche Nitratgehalt im Grundwasser bei 2,3 mg/l, im Rhein bei 0,6 mg/l und im Binnenkanal bei 1,1 mg/l lag. Diese sporadisch auftretenden hohen Nitratgehalte werden auch als Folge der landwirtschaftlichen Düngung angesehen.

Signifikant ist der Unterschied im Nitratgehalt des Bergwasserzuflusses (durchschnittlich 2,5 mg/l im Piezometer

2,2) und dem von der Infiltration des Binnenkanals beeinflussten Teil von «Werben» mit deutlich tieferen Werten. Beim Strömungsfall 3 ergeben sich, bedingt durch den Bergwasserzufluss, im ganzen Gebiet von «Werben» bis zum Binnenkanal erhöhte Nitratgehalte.

Chlorid

Die Chloridgehalte waren im Rhein mit Werten von 1,4 bis 3,6 mg/l und durchschnittlich 2,1 mg/l am niedrigsten. Im Binnenkanal betrug der durchschnittliche Chloridgehalt 3,8 mg/l mit Extremwerten von 2,4 und 5,6 mg/l. Bei den Chloridgehalten der verschiedenen Piezometer bestehen ausserordentlich starke und in keinen Zusammenhang mit der Grundwasserströmung zu bringende Unterschiede. Dies rührt wiederum von der intensiven landwirtschaftlichen Düngung her, welche örtlich und zeitlich stark wechselnde Chloridgehalte erzeugt, die sich den strömungsabhängigen Chloridgehalten so stark überlagern, dass bei den Chloridgehalten keine Strömungsabhängigkeit mehr festgestellt werden kann.

Zusammenfassung

Die bei den verschiedenen Strömungsfällen 1, 2 und 3 durchgeführten Analysenreihen haben bei allen untersuchten Komponenten mit Ausnahme des Chloridgehaltes eine Strömungsabhängigkeit, d. h. eine Beeinflussung durch die Infiltration des Rheins oder des Binnenkanals sowie durch den Bergwasserzufluss ergeben. Infolge der starken landwirtschaftlichen Düngung des Untersuchungsgebietes ergeben sich jedoch beim Sulfat, Nitrat und bei der permanenten Härte Ueberlagerungen der strömungsabhängigen Konzentrationen, so dass letztere oft völlig verdeckt werden. Ebenso sind bei Strömungsumkehr und Mischfällen vielfach keine eindeutigen Infiltrationseinflüsse erkennbar.

10. Technische Anlagen zum Schutz und zur Nutzung des Rheintal-Grundwassers

Rudolf Gartmann

Grundwasserschutz

Das Grundwasser soll — wie auch das Quellwasser — in der Regel ohne Aufbereitung als Trinkwasser verwendet werden können. Unter Berücksichtigung von Bevölkerungswachstum und fortschreitender Industrialisierung ist die Trinkwasserversorgung heute und in der Zukunft sicherzustellen. Diese Zielsetzung erfordert entsprechende Gewässerschutzmassnahmen. Einerseits sind diejenigen Vorkehrungen zu treffen, die die Trinkwasserqualität des Grundwassers direkt zu gewährleisten vermögen. Andererseits und unter Berücksichtigung der Wechselbeziehungen zwischen Grundwasserstrom und Vorfluter verlangt sie einen Reinheitsgrad der Oberflächengewässer, welcher mindestens der Wassergüteklasse II (betamesosaprob nach dem Saprobiensystem nach *Liebmann)* entspricht. Die wirksame Sicherung gegen eine allfällige direkte oder indirekte Beeinträchtigung derjenigen Grundwasservorkommen, die wegen ihrer Menge und Güte von Bedeutung sind, kann mit Hilfe planerischer Methoden und baulicher Massnahmen erreicht werden.

Das Hauptelement der *planerischen Methoden* ist die Freihaltung gewisser Bodenflächen von bestimmten Nutzungsarten. Die nach hydrogeologischen Kriterien unter Berücksichtigung der Resultate der Grundwasseruntersuchungen ausgeschiedenen *Gewässerschutzbereiche,* Zonen A, B und C genannt, *Grundwasserschutzzonen* um die bestehenden Grundwasserfassungen herum sowie *Grundwasserschutzareale,* das heisst Gebiete, die für eine künftige Nutzung oder auch künstliche Anreicherung von Grundwasser von Bedeutung sind, bezwecken einen generellen Schutz unserer Wasservorkommen bzw. den gezielten Schutz von bestehenden Grundwasserfassungen und künftigen Fassungsgebieten. Sie erlauben es, die Schutzmassnahmen, Nutzungsarten und Nutzungsbeschränkungen gestaffelt je nach dem Grad der Grundwassergefährdung festzulegen.

Zu den *baulichen Schutzmassnahmen* sind einmal die Anlagen zur Sammlung, Ableitung und Reinigung der Abwässer und die Abfallbeseitigungsanlagen zu zählen. Stellvertretend für alle Gewässerschutzanlagen, die in den letzten Jahren auch im Einzugsgebiet des Alpenrheins erstellt worden sind oder gemäss den aufgestellten Sanierungsplänen in den nächsten Jahren noch gebaut werden müssen, seien hier die in diesem Heft vorgestellten *Abwasserreinigungsanlagen (ARA) Flims und Chur* und *Kehrichtverbrennungsanlage (KVA) Trimmis* erwähnt.

Bei allen Anlagen für das Lagern, den Umschlag und das Befördern von wassergefährdenden Flüssigkeiten sind diejenigen Massnahmen zu treffen, die durch eine fachgerechte Konstruktion, Ausführung und Ausrüstung sowie durch einen geordneten Betrieb und Unterhalt der Anlagen Flüssigkeitsverluste verhindern. Je nach Zonenzugehörigkeit der Anlage sind durch zusätzliche Massnahmen mögliche Verluste leicht erkennbar zu machen bzw. auch noch zurückzuhalten. Sofern Sonderfälle es erfordern, sind weitere Sicherheitsvorkehren anzuordnen.

Bei der *Ölleitung der Oleodotto del Reno SA,* die parallel zum Rhein die Kantone Graubünden und St. Gallen auf einer Länge von 130 km durchquert, wurden sehr weitgehende Schutzmassnahmen verwirklicht. Es sei hier auf den in diesem Heft veröffentlichten Aufsatz «Ölpipelines sind umweltfreundlich» verwiesen. In einem weiteren Artikel sollen am Beispiel des *Grosstanklagers VOLG in Landquart* die umfangreichen Schutzmassnahmen bei den Anlagen zur Lagerung und zum Umschlag grösserer Mengen von Heiz-, Dieselöl und Benzin dargestellt werden.

Grundwassernutzung

Der Grundwasserstrom des Alpenrheins wird heute mit einer Reihe von Grundwasserfassungen bzw. -pumpwerken für die Trink- und Brauchwasserversorgung genutzt. Wenn im Rheintal die Versorgung mit Grundwasser gegenwärtig eher noch der Ergänzung der Trinkwasserbeschaffung durch Quellwasser dient, dürfte sich in Zukunft das Schwergewicht immer mehr von den Quell- zu den Grundwasserentnahmen verschieben. Als Beispiele für neuere technische Anlagen zur Nutzung des Grundwassers seien hier diejenigen der *Wasserversorgung der Stadt Chur* und das Pumpwerk Viertellöser der *Gemeindewasserversorgung Igis-Landquart* genannt, Anlagen, die ebenfalls in diesem Heft vorgestellt werden.

10.1. Projekt und Bau der Abwasserreinigungsanlage Flims

Max Dickenmann

Gesamtdisposition

Die Abwasserreinigungsanlage gliedert sich im wesentlichen in zwei Komplexe. Im Hauptteil sind sämtliche Bekken der mechanischen und biologischen Stufe vereint. Die beiden Vorklärbecken bilden den einen Klärblock, die Belüftungs- und Nachklärbecken anderseits sind ebenfalls in einem Kombiblock vereint. Es ist also möglich, bei Störungen oder in der Zwischensaison nur einen Teil der Anlage laufen zu lassen. Ferner ist es durch die Wahl verschiedener Betriebsparameter möglich, in den einzelnen Teilen die optimale Betriebsart zu finden. Der zweite Komplex umfasst die Gebäude mit der Rechenanlage, der Schlammentwässerung mit Faulanlage sowie dem Betriebsgebäude mit den üblichen Räumen und dem im Kellergeschoss befindlichen Regenklärbecken.

Die mechanische Reinigungsstufe

Sämtliche erforderlichen Bauteile sind wegen der engen Platzverhältnisse bereits für den künftigen Vollausbau ausgelegt.

Regenauslass

In diesem dem Rechengebäude vorgelagerten Bauwerk wird die Trennung des Abwassers zur Abwasserreinigungsanlage bzw. zum Regenbecken vorgenommen, wobei zur Reinigungsanlage der doppelte totale Abwasseranfall und zum Regenbecken die vorgeschriebene Regenwassermenge geleitet wird. Vorhanden ist ein einseitiges Streichwehr, die Mengenregulierung zur Abwasserreinigungsanlage erfolgt mit einem motorisch angetriebenen Kanalschieber, dessen Funktion mit der Mengenmessung gekoppelt ist.

Rechenanlage

Vor der eigentlichen Abwasserbehandlung sind die sperrigen Stoffe, Textilien usw. aus dem Abwasser zu entfernen, weil sie Einrichtungen der Kläranlage verstopfen könnten. Das wird durch die beiden Greiferrechen besorgt, die eine Spaltbreite von 25 mm aufweisen. Das aufgefangene Rechengut gelangt in die danebenstehenden Ochsner-Container (800 l) und mit deren Hilfe in die Kehrichtdeponie. Die Räumung der Rechen erfolgt automatisch durch Wasserspiegel-Differenzsteuerung System Rittmeyer. Die langen, strengen Winter liessen es angezeigt erscheinen, die Rechenanlage zusammen mit der Einlaufpartie der Sandfänge zu überdachen.

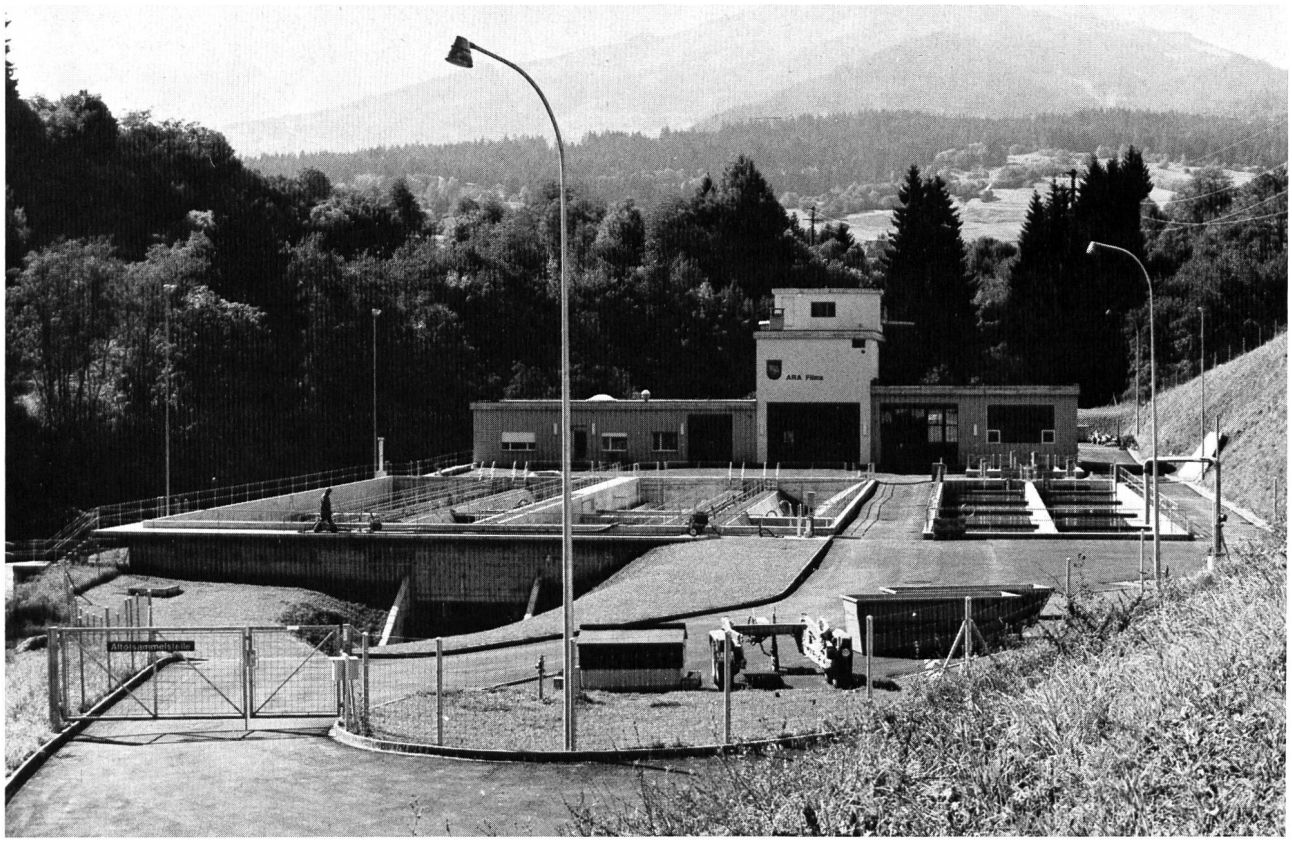
Belüftete Sand- und Ölfänge

Aus Abschwemmungen von Strassen und Plätzen fällt bei Regenwetter Sand an, der in einem Sandfang ausgeschieden werden muss. Weil sich die organischen Stoffe zusammen mit dem Sand ebenfalls absetzen würden, wird durch eine intensive Belüftung dafür gesorgt, dass sie in der Schwebe bleiben, während an der Sohle der Sandfänge ein verhältnismässig reiner Sand abgesetzt wird. Durch Kettenräumer wird der Sand einem kleinen Trichter zu Beginn der Becken zugeschoben und von dort mit Hilfe einer Mammutpumpe ausgeräumt. Seitlich am Belüftungsraum der Sandfänge liegt der Schwimmstoff-Abscheideraum. Auf dem etwa 1 m breiten Wasserspiegel werden öl- und fetthaltige Stoffe aufgetrieben. Diese können durch eine Absenkvorrichtung zum Frischschlamm-Pumpensumpf abgelassen werden.

Vorklärbecken

Den Vorklärbecken, dem Kernstück der mechanischen Stufe, fällt die Aufgabe zu, die Sink- und Schwimmstoffe aus dem Abwasser zu entfernen. Die ausgeschiedenen Stoffe werden durch Kettenräumer zum Schlammtrichter

Bild 10.11. Die Abwasserreinigungsanlage Flims. Foto H. Letsch)



beim Beckeneinlauf geschoben. Der Schwimmschlamm wird zur kippbaren Schwimmschlamm-Rinne, welche sich beim Beckenauslauf befindet, geschoben. Die Schlammtrichter fassen den Frischschlamm-Anfall mindestens eines ganzen Tages, so dass eine gute Schlammeindickung zu erwarten ist. Der zähe Frischschlamm wird durch Mammutpumpen in einen abgedeckten, kontrollfähigen Sammelschacht gefördert, von wo er im freien Gefälle dem Frischschlamm-Pumpensumpf zufliesst. Auch der Schwimmschlamm fliesst im freien Gefälle dorthin.

Der biologische Teil

Im biologischen Teil wird der Hauptanteil der gelösten und fein verteilten organischen Schmutzstoffe durch die Tätigkeit von Kleinlebewesen in absetzbare Substanz übergeführt. Man bildet hier die Vorgänge, die man in der Natur als Selbstreinigung kennt, räumlich und zeitlich konzentriert nach. Man bezeichnet die Schlammasse, deren Kleinlebewesen vornehmlich Bakterien sind, als belebten Schlamm und demnach das ganze Verfahren als Belebtschlammverfahren.
Für Flims wurde aufgrund eines Evaluationsverfahrens ein Kombiblock System Degrémont-Sogea gewählt.

Belüftungsbecken

Der im Kombibecken reservierte Belüftungsbeckenanteil weist einen trapezförmigen Querschnitt auf, mit Breiten von unten 6,40 m und oben 1,80 m bei einer Nutztiefe von 4,00 m. Am Ausbauziel des ersten Ausbaus werden der biologischen Stufe täglich 1250 kg BSB_5 zugeführt. Bei den gewählten Beckenvolumen resultiert eine Raumbelastung von 1,08 kg BSB_5 pro m³ und Tag.

Nachklärbecken

Auf beiden Seiten der einzelnen Belüftungsbecken befinden sich die Nachklär-Trichterbecken, Breite auf Wasserspiegelhöhe 4,20 m und Nutztiefe 4,0 m.
Aus den Nachklärbecken gelangt das gereinigte Abwasser durch einen betonierten, rechteckigen Kanal, stirnseitig zum Kombibecken, zum Mengenmessschacht. Von diesem stürzt das Wasser in einem Fallschacht bis auf die Bachsohle des Flem.

Chemische Reinigungsstoffe

Die Ausrüstung umfasst 3 Membrandosierpumpen (1 Reserve) sowie einen Lagerbehälter von 30 m³ Nutzinhalt für Eisenchlorid $FeCl_3$. Die Membrandosierpumpen sind elektronisch durch ein vorzubestimmendes Tagesprogramm gesteuert.

Schlammbehandlung

In der mechanischen und in der biologischen Stufe fällt Schlamm an, der dem Abwasser entzogen werden muss. Lässt man diesen liegen, so beginnt er zu gären und verbreitet dabei einen unerträglichen Geruch. Alle Methoden der Schlammbehandlung zielen darauf ab, den Schlamm in eine unbedenkliche Form überzuführen. Im Falle von Flims ging man von der Voraussetzung aus, dass eine alleinige landwirtschaftliche Verwertung des Schlammes unmöglich sei. Der Klärschlamm sei daher so aufzubereiten, dass er sowohl mit, als auch ohne Kehricht deponiert werden könne. Vorhanden ist nun eine Faulanlage mit nachfolgender Entwässerung des Schlammes auf einer Turmfilterpresse.

Faulanlage

Bei der nachgeschalteten Turmfilterpresse können Schlämme von verschiedenen Wassergehalten mit gleichem Effekt entwässert werden. Es wurde auf eine wesentliche Eindickung des Schlammes verzichtet. Dies bedeutet, dass der üblicherweise vorhandene Nachfaulraum fehlt. Angebaut an den Faulraum (Reaktionsbehälter) ist ein Nacheindicker. Mit diesem Eindicker besteht die Möglichkeit einer besseren Trübwasserausscheidung in der einstufigen Faulanlage. Dies ist vor allem während des Sommer-Halbjahres von Bedeutung, wenn ausgefaulter Schlamm direkt an die Landwirtschaft abgegeben wird.
Auf der Turmfilterpresse kann Schlamm ohne Zwischendepot direkt aus dem Faulraum verarbeitet werden. Damit können Faulraum und Stapelraum in einem Raum vereinigt werden. Der warme Schlamm lässt sich besser filtrieren. Als Faulturm wurde eine Lösung mit beweglicher Gasdecke gewählt. Der obere Teil des Faulraumes kann bei diesem System als Stapelraum, der untere für die Faulung verwendet werden.
Der Schlamm im Faulraum wird auf 35 °C geheizt und automatisch auf dieser Temperatur gehalten. Die Wärmeübertragung erfolgt in einem ausserhalb des Faulraumes liegenden Wärmeaustauscher, der baulich mit dem Warmwasser-Heizkessel von 190 000 kcal/h Leistung verbunden ist. Der Brenner ist kombiniert für die Verfeuerung von Faulgas oder Heizöl.
Eine Gasmischeinrichtung sorgt für eine gleichmässige Temperaturverteilung im Faulraum und trägt zur vollständigen und raschen Zerstörung von Schwimmstoff-Ansammlungen bei. Das Gas wird im Dom abgezogen, im Kompressor verdichtet und über die Einblaslanze in einer Tiefe von 3,0 bis 4,0 m eingeblasen.
Um ein Ausgleichsvolumen zwischen Gasproduktion und Gasverbrauch herzustellen, ist ein Trockengasometer von 100 m³ Inhalt angeordnet. Wird mehr Gas produziert als verbraucht, so wird automatisch das Überschussgas auf einer dem Betriebsgebäude vorgelagerten Gasfackel verbrannt.

Schlammentwässerung

Das Problem der Klärschlamm-Ablagerung wurde grundsätzlich durch eine Schlammentwässerung gelöst. Der maximale Wassergehalt des entwässerten Schlammes wurde optimal mit 70 bis 75 % festgelegt. Entwässerter Schlamm und Kehricht ergeben ein stabiles Mischgut von 45 bis 50 % WG. Es ergeben sich optimale Bedingungen für das Einwalzen und die Verrottung. Die Leistung der Turmfilterpresse beträgt bei Faulschlamm von 92 % WG, 4 bis 5 m³/h, bei 94 % WG, 5 bis 6 m³/h. An Chemikalien für die Schlammaufbereitung werden vorläufig Praestol 444 K sowie $FeCl_3$ verwendet.

Das Regenwasserklärbecken

Das Regenwasser kommt, nachdem die Kläranlage mit dem zweifachen Trockenwetteranfall belastet ist, vom Regenauslass in das Regenwasserklärbecken. Die Aufenthaltszeit beträgt bei vollem Becken und dem maximalen Zufluss rund 10 Minuten. Regenwasserklärbecken mit Pumpanlage sind im Keller des Betriebsgebäudes untergebracht.

Betriebsgebäude

Bei der Planung des Betriebsgebäudes galt es, die notwendigen Diensträume und Einrichtungen zweckmässig zusammenzufassen und mit der Rechenanlage, dem Trakt für die Schlammentwässerung, der Faulanlage und dem unterirdischen Regenwasserklärbecken zu kombinieren.

10.2. Abwasserreinigungsanlage (ARA) Chur

Bauherrschaft: Stadtgemeinde Chur
Anschliessbar bzw. angeschlossen: Stadt Chur und Umliegergemeinden
Projekt- und Bauleitung: Ingenieurgemeinschaft ARA Chur (Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, Zürich; Ingenieurbüro Dr. C. Menn, Chur; Ingenieurbüro W. Schneider AG, Chur)

Inbetriebnahme: 1975

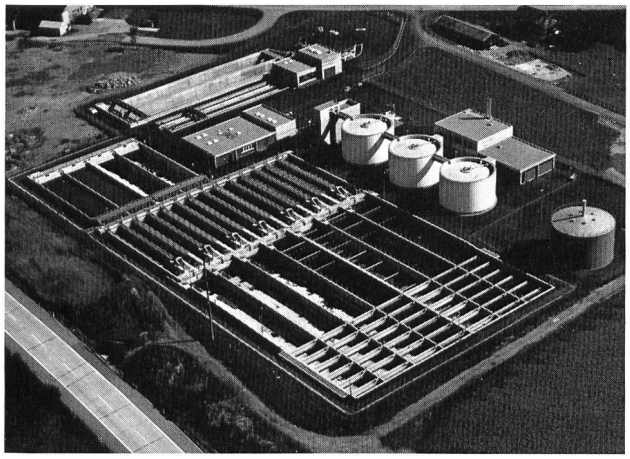
Ausbaudaten (erste Ausbauetappe)	
Trockenwetteranfall	900 l/s
Einwohner und Einwohnergleichwerte	
— hydraulisch	112 500 EGh
— biologisch	125 000 EGb
Mechanische Stufe	
2 Regenklärbecken	2600 m³
Rechengebäude	
Sandfang-Ölabscheider	
4 Vorklärbecken	3200 m³
Biologische Stufe	
14 Belüftungsbecken	6200 m³
7 Nachklärbecken	9000 m³
Schlammbehandlung	
2 Faulräume, 1 Nachfaulraum	3900 m³
2 Eindicker	300 m³
Pasteurisierungsanlage	
Trockengasometer	100 m³
Dritte Reinigungsstufe mit Simultanfällung	

10.3. Die Kehrichtverbrennungsanlage Trimmis des Gemeindeverbandes für Abfallbeseitigung in Graubünden (GEVAG)

Der GEVAG wurde 1969 gegründet. Das Verbandsgebiet umfasst 45 Gemeinden mit 76 500 Einwohnern.
Die wichtigsten Daten der Anlage:

Fabrikat	Alberti-Fonsar, Mailand
Anzahl Öfen	2
Durchsatzleistung pro Ofen	5 t/h
Volumen Kehrichtbunker	2600 m³
Rauchgas-Kühlung	Luft-Wärmetauscher
Rauchgas-Entstaubung	Elektrofilter ELEX
Stahlkamin Durchmesser innen	2,20 m
Höhe ab Terrain	70 m
Betrieb	dreischichtig

Bild 10.2.1. Übersicht über die Abwasserreinigungsanlage Chur, die 1975 in Betrieb genommen wurde.



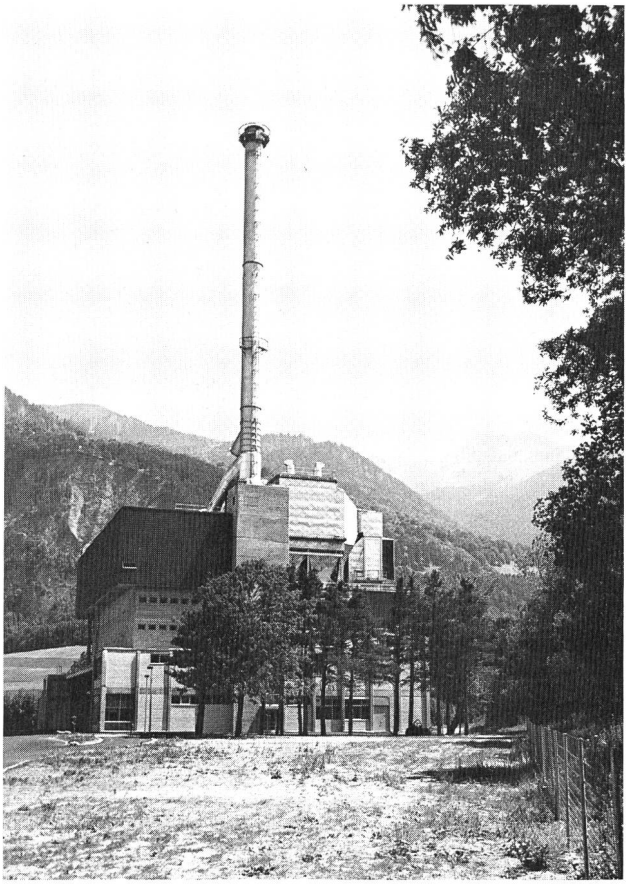


Bild 10.3.1. Die Kehrichtverbrennungsanlage Trimmis des Gemeindeverbandes für Abfallbeseitigung in Graubünden (GEVAG). Hier wird der Kehricht aus 45 Gemeinden bzw. von 76500 Einwohnern verbrannt.

10.4. Ölpipelines sind umweltfreundlich

I. Camenisch

Die Zentraleuropäische Ölpipeline mit einer Gesamtlänge von über 650 km, welche in den Kantonen Graubünden und St. Gallen die Schweiz durchquert, nahm anfangs September 1966 den Betrieb auf.

Die nachstehend aufgeführten technischen Daten geben einen kurzen Überblick über das Werk und die Kapazität der Anlage in der Schweiz:

Länge der Ölleitung	130 km
Durchmesser der Leitung	22 Zoll = 55,8 cm
Wandstärke der Leitung	9,5 bis 16 mm
Rohrisolation	9 mm bestehend aus Bitumenschicht, Glasfliess und Dachpappe
Betriebsdruck	variabel von 0 bis ca. 70 kg/cm²
Überwachungszentralen	1. Druckreduzierstation Rongellen 2. Mess- und Heizöl-Übergabe-Station Lienz (Gemeinde Altstätten) 3. Messstation St. Margrethen
Sicherheitsstationen	1. Rongellen 2. Domat/Ems 3. Maienfeld 4. Lienz (Gemeinde Altstätten) 5. St. Margrethen 6. Rothenbrunnen (Entleerungsstation)

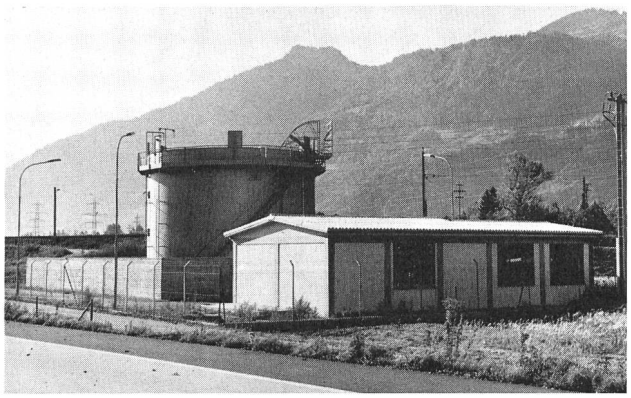


Bild 10.4.1. Die Sicherheitsstation Maienfeld an der Oleodotto del Reno. Diese Anlagen, von denen zwischen Splügenpass und St. Margrethen fünf gebaut wurden, verhüten jeden Druckanstieg in der Leitung, der diese gefährden könnte. Foto Vonow, Chur

Linienschieber	13, davon 3 im Raume Splügenberg—Rongellen, 10 zwischen Rongellen—St. Margrethen
Stollen	Gesamtlänge 20 km, aufgeteilt in 12 Bauwerke
Höhendifferenz	1568 m Höchster Punkt 1968 m ü.M. Splügenpass/Landesgrenze Tiefster Punkt 400 m ü.M. St. Margrethen

Strenge Vorschriften beim Bau

Bei der Planung sowie beim Bau der Ölleitung wurde das Thema Sicherheit besonders ernst genommen. Um bei eventuellen Unfällen Umweltverschmutzungen zu verhindern, wurden von Anfang an höchste Anforderungen an Sicherheitsvorkehrungen gestellt. Diese begannen bereits bei der Wahl des Trasses, war doch zum Beispiel darauf zu achten, dass die Leitung nicht in rutsch- oder lawinengefährdete Gebiete verlegt wurde. Die Rohre, die zum Einbau gelangten, weisen eine bessere Stahlqualität auf, als die internationalen Normen verlangen. Die gesamten Bauarbeiten wurden im Auftrag der Aufsichtsbehörden durch besonders geschultes Personal überwacht. Die Schweissnähte wurden geröntgt und mit Ultraschall kontrolliert, die Isolation geprüft, bevor die Leitung in einer Tiefe von eineinhalb bis drei Meter in Sand eingebettet und überdeckt wurde. Die Ölleitung durfte erst nach einer hydraulischen Prüfung, mit hohem Druck durchgeführt durch Spezialisten der ETH, in Betrieb genommen werden.

Bild 10.4.2. Die Oleodotto del Reno im Calandastollen bei Chur.

Ölleitung unter Kathodenschutz

Neben einer einwandfreien Isolation des im Erdreich verlegten Rohres wird die Leitung gegen vagabundierende Ströme kontinuierlich geschützt. Beim Kathodenschutz wird Schwachstrom auf die Ölleitung geleitet, so dass sie immer ein negativeres Potential als die Erde aufweist. Somit ist die Leitung gegen unsichtbare Korrosion geschützt. Das richtige Funktionieren dieses Schutzsystems ist eine wichtige Voraussetzung für die Sicherheit der Leitung. Dieses wird daher mehrmals täglich durch das Personal der Gesellschaft kontrolliert und in Zusammenarbeit mit der Kontrollstelle der Eidgenössischen Korrosions-Kommission ständig überwacht.

Ölleitung in Stollen

Sämtliche Ölleitungsstollen der Oleodotto del Reno SA befinden sich in den Hochalpen zwischen Splügenpass und Untervaz im Rheintal. Die interessantesten Bauwerke dieser Art sind die Stollen «Rofla-Bärenburg» mit einer Länge von 3,2 km (Umgehung der Roflaschlucht), «Viamala» (Umgehung der wildromantischen Viamalaschlucht), Länge 3,1 km, sowie der Calandastollen.

Die Verlegung der Ölleitung in Stollen erfolgte ausschliesslich aus Sicherheitsgründen und zum Schutz der Grundwassergebiete. Als besonderes Beispiel darf die Umgehung der Grundwassergebiete im Churer Rheintal bei den Gemeinden Domat/Ems, Felsberg und Haldenstein sowie der Stadt Chur mit dem 9,2 km langen Calandastollen erwähnt werden. Diese teure Lösung garantiert zudem die Möglichkeit einer periodischen visuellen Kontrolle des Rohres auf der gesamten Stollenlänge. Das gewählte Stollenprofil im Ausmass von ca. 6 m² erlaubt jederzeit Arbeiten untertags vorzunehmen

Aufgrund der topographischen Begebenheiten wurde die Ölleitung aus Sicherheitsgründen mit 13 Linienschiebern in kleine Teilstücke unterteilt. Der Druck sowie die transportierte Menge in der Leitung wird während des Betriebes (der Druck auch bei Stillstand) ständig kontrolliert. Bei einem Druckabfall in der Leitung oder bei einer Störung (z. B. durch Ölverlust!) werden die Linienschieber, welche elektrisch oder pneumatisch betrieben werden, durch Fernsteuerung geschlossen. Dadurch wird der gesamte Ölfluss gestoppt.

Bei einem abnormalen Druckanstieg, welcher die Sicherheitsgrenze erreicht, sprechen die Sicherheitsventile an. Das Überdrucköl wird danach in Sicherheitstanks (Rongellen, Domat/Ems, Maienfeld, Lienz, St. Margrethen) geleitet, um eine Überbelastung der Ölleitung zu verhindern. Durch das bestehende Fernkontroll- und Steuerungssystem werden der Öltransport und die Betriebsbedingungen der unbemannten Stationen ständig überwacht.

Die Ölleitung untersteht der Kontrolle und Aufsicht des Eidgenössischen Rohrleitungsinspektorates.

Langjährige gute Erfahrungen

Durch die Ölleitung in der Schweiz sind seit deren Bestehen über 80 Millionen Tonnen Rohöl und dessen Produkte geleitet worden. Dass sich keine Ölverluste ereigneten, ist den getroffenen Sicherheitsmassnahmen beim Bau sowie beim Betrieb zuzuschreiben. Die Transportunternehmung handelt nach wie vor nach dem Prinzip «präventive Sicherheitsmassnahmen = sicherer Umweltschutz».

10.5. Grosstanklager des Verbandes ostschweizerischer landwirtschaftlicher Genossenschaften (VOLG) in Landquart.

Rudolf Gartmann

Die in den sechziger Jahren im Industriegebiet der Gemeinde Igis erbaute und in den Jahren 1975—1977 um rund das Doppelte erweiterte Stehtankanlage des VOLG liegt in einem mit «Zone A» bezeichneten Gewässerschutzbereich, das heisst über einem Grundwasservorkommen, das hinsichtlich Menge und Güte zur Wassergewinnung geeignet ist. Die aus den mehrjährigen und systematischen Untersuchungen bekannten hydrogeologischen Gegebenheiten erlaubten, die bei derartigen Bauvorhaben vom Gesetzgeber gestellte Frage einer möglichen Beeinträchtigung der Trinkwasserversorgung der Region Bündner Rheintal durch die Anlagen des VOLG dahin zu beantworten, dass diese Versorgung auch in einem Katastrophenfall gewährleistet ist. Der ausserdem verlangte Nachweis eines besonderen Grundes für das Bauvorhaben konnte erbracht werden, indem zahlenmässig belegt wurde, dass die Versorgung des Kantons Graubünden mit flüssigen Brenn- und Treibstoffen mit den bisher in Betrieb stehenden Anlagen in keiner Weise sichergestellt ist. Zudem musste anerkannt werden, dass die Region selbst sowie auch die Nachbarregionen über keine anderen Standorte verfügen, die sich für die Versorgung und Pflichtlagerhaltung von flüssigen Brenn- und Treibstoffen eher eignen. Tankanlagen sollten auch dort errichtet werden, wo ein Anschluss an die gegebenen Verkehrsträger möglich ist. Die Verlegung des Hauptgüterumschlages SBB/RhB von Chur nach Landquart, die damit verbundene weitgehende Aufhebung des vom Gewässerschutz aus unerwünschten Freiverlad-Umschlages im Bahnhof Chur, die Zurverfügungstellung und Vermietung von entsprechendem Tankraum im Lager VOLG an Dritte und damit die Aufhebung alter, nicht vorschriftskonformer Tank- und Umschlagsanlagen und nicht zuletzt die Tatsache, dass nur Anlagen von einer gewissen Grösse dauernd, sicher und wirtschaftlich tragbar überwacht, gewartet und revidiert werden können, waren weitere Gründe für die Bewilligungserteilung. Das dafür zuständige Amt für Gewässerschutz Graubünden hatte in der Baubewilligung einmal ausser den *allgemeinen Schutzmassnahmen* zur Verhinderung von Flüssigkeitsverlusten, nämlich fachgerechte Konstruktion, Ausführung und Ausrüstung sowie geordneter Betrieb der Anlage, *zusätzliche Massnahmen* zur leichten Erkennung und zur Zurückhaltung von möglichen Verlusten zu verlangen, und zwar sowohl für die Tankanlage als auch für die Umschlagplätze. Ausser diesen üblichen Bedingungen und Auflagen wurde eine Reihe *spezieller Sicherheitsmassnahmen* vorgeschrieben, insbesondere ein Füllsicherungs-System, die Niveau-Gesamtüberwachung, ein entwässer- und kontrollierbares Dichtungssystem, Beobachtungsrohre (Piezometer) zur Überwachung des Grundwassers ausserhalb der Tankanlage, ölwehrtechnische Einrichtungen und Ausrüstungen und eine betriebsinterne Alarmorganisation sowie sehr strenge Abnahme- und Dichtigkeitsprüfungen durch anerkannte Prüfanstalten und das Amt für Gewässerschutz. Zudem waren die bereits bestehenden Tank- und Umschlagsanlagen bezüglich Konstruktion, Ausführung, Ausrüstung und Gewässerschutzmassnahmen den heute geltenden Vorschriften anzupassen. Aufgrund der positiven Prüfungsergebnisse konnte die Inbetriebnahme der Anlage etappenweise bewilligt werden.

Bild 10.5.1. Das Grosstanklager des Verbandes ostschweizerischer landwirtschaftlicher Genossenschaften, VOLG, bei Landquart (Industriegebiet der Gemeinde Igis).

Hauptdaten der Tankanlage VOLG Landquart

Grösste Tank- und Umschlagsanlage für flüssige Brenn- und Treibstoffe im Kanton Graubünden.

Tankfeld 1	mit 6 Stehtanks für Dieseltreibstoff	29 200 m³
	mit 6 zylindrischen, liegenden Tanks für diverse Produkte	360 m³
Tankfeld 2	mit 4 Stehtanks für Benzin	21 840 m³
Tankfeld 3	mit 4 Stehtanks für Heizöl	33 440 m³
Total		84 840 m³

Bahnkesselwagen-Umschlagstelle mit 2 Abstellgleisen von je 180 m Nutzlänge für SBB-Blockzüge von 800 bis 1000 t, Tagesumschlagleistung 1000 bis 1500 t.

Tankwagenfüllstelle zweispurig für die gleichzeitige Befüllung von je 2 Strassentankwagenzügen mit einer Tagesauslieferungsleistung von ca. 1000 t.

Für die Brandbekämpfung stehen folgende Mittel zur Verfügung:
Löschwasserreserve 6000 l/min über 2 Stunden für die stationären internen Brandbekämpfungseinrichtungen.

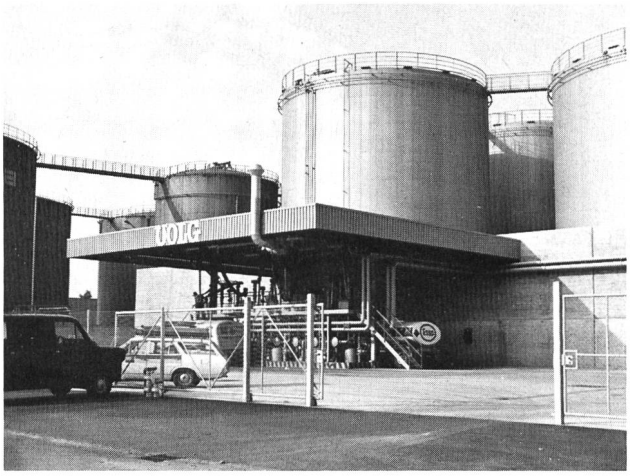
Eine Hydrantenanlage mit einer Durchflussmenge von 800 l/min, Betriebsdruck 8 atü, über 2 Stunden

Mobile Löscheinrichtungen und Mittel umfassen
2 Pulverlösch-Anhänger P 250 komplett
2 kombinierte Schaum-/Wasserwerfer mit total 6000 l Schaumextrakt

Tankwagenfüllstelle

Die zweispurige Tankwagenfüllstelle erlaubt eine gleichzeitige Befüllung von je 2 Strassentankwagenzügen. Tagesleistung ca. 1000 m³ je Produkt Superbenzin, Normalbenzin, Dieseltreibstoff und Heizöl extraleicht, 2 Ladearme.
Die Bahnkesselwagen-Umschlagstelle und die Tankwagenfüllstelle inkl. Warteraum sowie die Tankbassins, werden über ein separates Kanalisationssystem entwässert, das an einen Hochleistungs-Wellplatten-Öl- und Benzinabscheider MWB angeschlossen ist.

Bild 10.5.2. Zweispurige Abfüllstation für Tanklastwagen der VOLG bei Landquart.



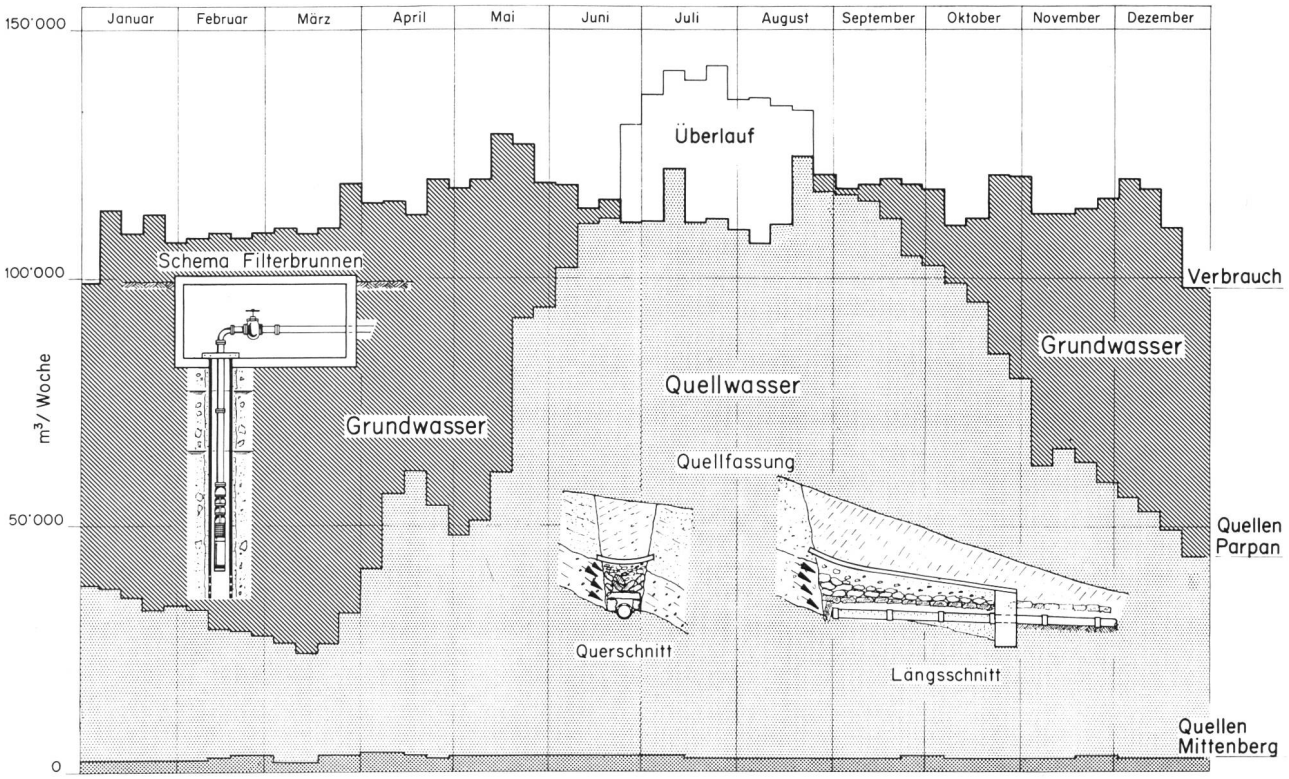


Bild 10.6.1. Wassergewinnung und Verbrauch der Stadt Chur im Jahre 1974.

10.6. Fernmelde- und Fernsteuerungsanlage der Wasserversorgung der Stadt Chur

Anton Bühler

Im Jahre 1977 wurde bei der Wasserversorgung der Stadt Chur eine neue Fernmelde- und Fernsteuerungsanlage in Betrieb genommen. Sie hat die Aufgabe, aufgrund der eingegebenen Daten die Wasserversorgung automatisch zu steuern, wichtige Daten zu registrieren und Störungen zu melden. Dabei soll ein optimaler Einsatz der 7 Grundwasserpumpen unter Berücksichtigung der den 4 Versorgungszonen zufliessenden Quellwassermengen erreicht werden.

Die Betriebswarte erhält von 9 Aussenstationen die erforderlichen Meldungen. Auf einem Blindschema ist die ganze Wasserversorgung mit Reservoiren, Pumpwerken, Hauptverbindungen und Einspeisestellen vereinfacht dargestellt. Der momentane Betriebszustand der Pumpen und die Stellung der Einspeiseklappen wird durch Signallampen markiert.

Auf Registrierstreifen werden die Reservoirstände, die Grundwasserstände, die massgebenden Drücke, die Pum-

Bild 10.6.2.
Kommandoraum der Wasserversorgung Chur.

penlaufzeiten und die Stellungen der verschiedenen Einspeiseklappen aufgezeichnet, ebenso die Daten vom Quellenhaus Parpan.
Das verfügbare Quellwasser soll vollständig genutzt werden. Es darf nichts durch Überlauf verloren gehen. Im weiteren sollen die Grundwasserpumpen, wenn immer möglich, in Schwachlastzeiten des elektrischen Verteilnetzes eingeschaltet werden. Ferner ist der innerhalb eines Jahres stark wechselnde Quellzufluss zu berücksichtigen. Die eingebaute Programmsteuerung erfüllt diese Anforderungen. Auf einem Steckbrett wird der gewünschte über die Tageszeit variable Sollwertverlauf der Wasserstände in den Reservoiren eingegeben. Er kann entsprechend dem Quellertrag und dem Bedarf jederzeit geändert werden. Die Programmsteuerung vergleicht den Sollwert mit dem Istzustand, schaltet nach Bedarf Grundwasserpumpen ein oder aus und öffnet oder schliesst Klappen. Die Reihenfolge der Ein- und Ausschaltung der Pumpen kann ebenfalls vorprogrammiert werden.

Ein Rechner für Verbrauchs- und Störungsprotokollierung ist im Steuerpult eingebaut. Der angeschlossene Drucker liefert täglich und monatlich Tabellen. Stunden- und Tageswerte können jederzeit abgefragt werden.

Es werden 58 Funktionen überwacht. Störungen werden akustisch und optisch angezeigt und in Klartext ausgedruckt. Nicht alle Abweichungen von den Sollwerten erfordern eine sofortige Alarmierung des Bedienungspersonals. Unterschieden wird zwischen dringenden, verzögerten und nicht dringenden Alarmen. Letztere werden während der Nacht gespeichert und erst am Morgen ausgelöst. Dringende und verzögerte Alarme müssen sofort quittiert werden. Andernfalls werden sie dem Pikettdienst über ein besprochenes Tonband telefonisch gemeldet.

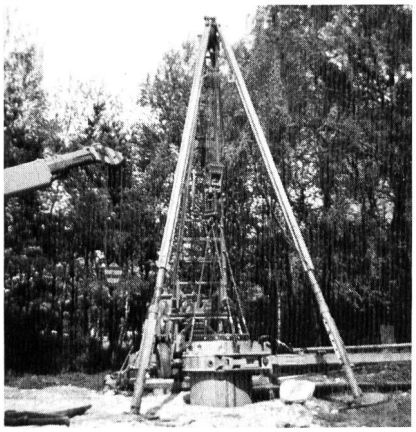
10.7. Die Grundwasserfassungen Rossboden

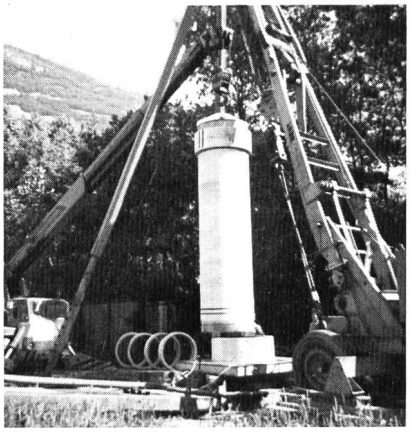
Anton Bühler

Neben kleinen Quellen auf dem Mittenberg besitzt die Stadt Chur ergiebige Quellen bei Parpan und Valbella. Seit der Verlegung einer zweiten Wasserleitung aus dem Gebiet Parpan/Valbella nach Chur deckt das Quellwasser rund zwei Drittel des jährlichen Wasserbedarfes der Stadt. Im Winter geht der Quellertrag stark zurück. Der minimale Ertrag entspricht nur noch rund 20 Prozent eines mittleren Tagesbedarfes. Der Rest muss durch Grundwasser gedeckt werden.
1941 erstellte die Stadt Chur das Grundwasserpumpwerk Rheinstrasse. Vorher wurde die Stadt vollständig mit Quellwasser versorgt. Im Laufe der Jahre wurde das Pumpwerk Rheinstrasse ausgebaut. Zurzeit weist es eine Leistung von 12 500 l/min auf. 1969 wurde das Grundwasserpumpwerk Salvatoren in Betrieb genommen. Nach einer zweiten Ausbauetappe liefert es nun 6000 l/min. Es wäre durchaus möglich, an den bisherigen Standorten mehr Wasser zu gewinnen. Das aus den beiden Pumpwerken geförderte Wasser war immer einwandfrei. Eine gewisse Gefährdung ist aber nicht ganz auszuschliessen. Das Pumpwerk Salvatoren liegt in einem überbauten Gebiet, und das Pumpwerk Rheinstrasse könnte durch einen Unfall auf der nahe an den Fassungen vorbeiführenden Nationalstrasse in Mitleidenschaft gezogen werden. Es war deshalb zweckmässig, für die Gewinnung von weiterem Grundwasser einen anderen Standort zu wählen. Das Gebiet Rossboden liess erwarten, dass man dort reichlich Wasser von guter Qualität nutzen könne. Zudem konnte dort ohne grossen Aufwand eine sehr grosse Schutzzone geschaffen werden.

Im Hinblick, dass einmal die ganze Stadt mit Grundwasser vom Rossboden versorgt werden müsse, war eine gründliche Untersuchung der Verhältnisse dringend erforderlich. 1975 wurden 5 Sondierbohrungen vorgetrieben, 2 bis auf eine Tiefe von 25 m, 2 bis auf 40 m und eine bis auf 166 m. Bei der tiefsten Bohrung wollte man den anstehenden Fels erreichen. Das war mit den vorhandenen Einrichtungen nicht möglich.

Nachdem die Sondierungen sehr günstige Resultate zeigten, wurde das Projekt für die Grundwasserfassungen ausgearbeitet. Vorgesehen sind 4 Fassungen, je für eine Fördermenge von 8000 l/min. Zwei Fassungen sind bereits ausgeführt, die weiteren werden nach Bedarf später erstellt. Bis auf eine Tiefe von 35 m erfolgte die Bohrung mit einem Durchmesser von 1600 mm und von 35 bis auf 52,5 m mit 1300 mm. Die Filterkolonne reicht von 27,50 bis auf 51,50 m. Die Filterrohre bestehen aus rostfreiem Stahl und weisen einen Durchmesser von 630 mm auf. Bei der Fassung 1 wurde der Pumpversuch mit 13 000 l/min durchgeführt. Die Absenkung des Grundwasserspiegels erreichte dabei maximal 1,57 m. Bei der Fassung 2 waren es 1,78 m bei 12 000 l/min.





Bilder 10.7.1. und 10.7.2. Bohrarbeiten für die Grundwasserfassung Rossboden der Stadt Chur.

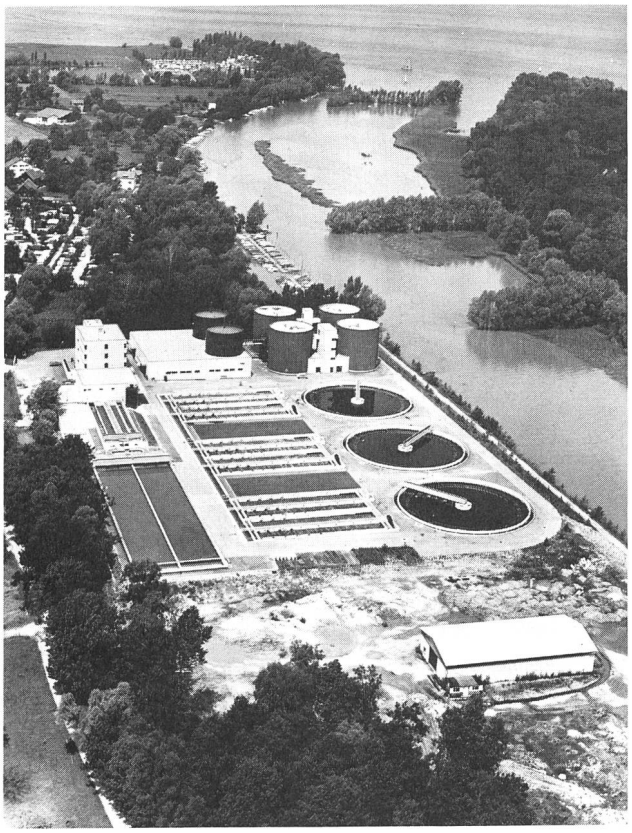


Bild 10.8.1. Flugaufnahme der Abwasserreinigungsanlage Altenrhein. Foto Comet

Bild 10.8.2. Die Mündung des Rheintaler Binnenkanals/Alter Rhein in den Bodensee. Zur Zeit der Aufnahme (1972) ist die Abwasserreinigungsanlage Altenrhein noch im Bau.

10.8. Die Abwasserreinigungsanlage Altenrhein

Die Abwasserreinigungsanlage Altenrhein ist auf eine Abwassermenge entsprechend 110 000 Einwohnergleichwerten oder auf Schmutzstoffanfall entsprechend 185 000 Einwohnergleichwerten ausgebaut. Durch ein System von über 200 km Kanälen und Stollen fliessen die Abwasser aus der Region nach Altenrhein. 25 Pumpstationen überwinden dabei Geländestufen oder dienen der Verbesserung des Abflussgefälles. 19 Regenklärbecken, in der Region verteilt, sollen verhindern, dass bei starkem Regenfall die gesamte Schmutzfracht von Strassen oder verschmutzten Kanalisationen direkt in den See oder die Bäche abgeschwemmt wird.

Die gesamten Erstellungskosten betrugen 91 Mio Franken. Im Abwasserverband Altenrhein, der diese Anlage gebaut hat und sie betreibt, sind zusammengeschlossen: die sieben sanktgallischen Gemeinden Goldach, Untereggen, Rorschacherberg, Rorschach, Thal, Rheineck und St. Margrethen, und die vier appenzell-ausserrhodischen Gemeinden Heiden, Wolfhalden, Lutzenberg und Walzenhausen.

Die Vorbereitungsarbeiten für den Bau begannen im Frühjahr 1969. Mit Schwimmbaggern mussten rund 35 000 m³ Schlamm, den der Fluss im Laufe der Zeit angeschwemmt hatte, abgesaugt werden. Anschliessend wurden 50 000 m³ Kies eingebracht. Nach Verdichtung dieses Materials stand eine 6 m mächtige Linse für die schwimmende Bettung der Bauteile zur Verfügung. Gleichzeitig wurde das Grundwasser abgesenkt.

Die Rohbauarbeiten begannen im Frühjahr 1972. Zuerst wurden die Vorklärbecken erstellt, anschliessend die Bekken der biologischen Stufe. Nach etwa zehnmonatiger Vorbelastung nahmen die Arbeiten für die Faulräume im Frühsommer 1972 ihren Anfang. Im Herbst wurden die Senkbrunnen für das Betriebsgebäude abgeteuft. In weiteren Etappen folgten der Kiesfang im Zulaufkanal, das Rechengebäude und die belüfteten Sandfänge. Im Herbst 1973 wurden die Regenklärbecken mit den darüberliegenden Maschinenhallen in Angriff genommen. Gleichzeitig wurden erste Rohrinstallationen und Montagearbeiten in Angriff genommen. Seit dem Probebetrieb Ende Februar 1975 arbeitet die Anlage gut und ohne nennenswerte Störung.

10.9. Das Grundwasserpumpwerk «Viertellöser» der Wasserversorgung «Igis-Landquart»

Projekt und Bauleitung: Ingenieurbüro A. Bruni, dipl. Ing. ETH, SIA, Chur. Das Pumpwerk wurde 1976 erstellt. Der Vertikalbrunnen reicht bis in 34,5 m Tiefe. Durchmesser der Bohrung 1150 mm, Durchmesser des Filterrohres 800 mm. Drei Tauchpumpen, wovon eine auf Reserve, fördern 5200 l/min.

Bild 10.9.1. Aussenaufnahme des Grundwasserpumpwerkes.

11. Erhaltung und Verbesserung von Menge und Qualität des Grundwassers in der Rheinebene

Heinrich Bertschinger, Eugen Weber

Die vorliegenden Ausführungen des Rheinverbandes, vor allem aber die Schlussfolgerungen und Empfehlungen der Abschnitte 11.3. und 11.4. haben keine Rechtskraft oder sonstwie verbindliche Wirkung. Diese entsprechen persönlichen Kenntnissen und Ansichten der Verfasser. Entscheidungen für die Behandlung der flussbautechnischen und wasserwirtschaftlichen Probleme der zuständigen Ämter und Behörden sollen weder eingeengt noch beeinflusst werden.

11.1. Gesetze, Vorschriften und Richtlinien

Die geologischen, hydrologischen, flussbautechnischen und wasserwirtschaftlichen Gegebenheiten und Entwicklungen im Einzugs- und Abflussgebiet des Alpen-Rheines kennen keine politischen Grenzen. Trotzdem können ähnlich liegende Probleme von den verantwortlichen Instanzen der zuständigen Staaten, Kantone und Länder verschieden beurteilt und behandelt werden.

Entsprechend den politischen Entwicklungen sind in den verschiedenen Hoheitsgebieten verschiedene Gesetze, Verordnungen und Richtlinien entstanden. Diese Erlasse im Interesse optimaler Lösungen der (gleichen) Grundwasserprobleme können in Aufbau und Wortlaut beträchtliche Unterschiede aufweisen.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit kann nicht auf Einzelheiten der geltenden Gesetze, Verordnungen und Richtlinien eingetreten werden. Ein Hinweis auf den Aufbau und den Inhalt der schweizerischen Gesetzgebung soll generell den Rahmen der von amtlicher Seite angestrebten und vorgeschriebenen Massnahmen zur «Erhaltung und Verbesserung von Menge und Qualität des Grundwassers» umschreiben.

Als Grundlage gilt das «Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer gegen Verunreinigung» (Gewässerschutzgesetz) vom 8. Oktober 1971 und die verschiedenen Folgeerlasse. Darin wird unter anderem eine Einteilung der Kantonsgebiete nach Massgabe der Gefährdung in bestimmte Gewässerschutzbereiche verlangt. Die Umgrenzung der Bereiche und der Vollzug ist Sache der Kantone («Verordnung zum Schutze der Gewässer gegen Verunreinigung durch wassergefährdende Flüssigkeiten»).

Die «Technischen Vorschriften zum Schutze der Gewässer gegen Verunreinigung durch flüssige Brenn- und Treibstoffe sowie andere wassergefährdende Lagerflüssigkeiten» vom 19. Juni 1972 und die obengenannte Verordnung befassen sich mit dem Schutz des Grundwassers gegen Verschmutzung durch Erdölprodukte und andere Flüssigkeiten.

Die «Verordnung über Abwassereinleitungen» vom 8. Dezember 1975 legt die Qualitätsziele für Fliessgewässer und Flussstaue und die Anforderungen an Einleitungen in ein Gewässer bzw. in eine öffentliche Kanalisation fest.

Sowohl im Kanton Graubünden als auch im Kanton St. Gallen werden die Bundesgesetze ergänzt durch kantonale Gesetze und Verordnungen bzw. durch Reglemente über die Gewässerschutzpolizei, den Schadendienst (Ölwehr), die Revisionsarbeiten bei Tankanlagen usw.

Weiter bestehen internationale und eidgenössische Richtlinien über die Reinhaltung des Bodensees.

Ebenfalls auf verschiedenen Stufen werden Gewässerschutzmassnahmen beim Strassenbau, Kontrolle und Untersuchungen von Abwasserreinigungsanlagen u. a. m. geregelt.

Eine besondere eidgenössische Gesetzgebung, ergänzt durch kantonale Bestimmungen, befasst sich eingehend mit dem Bau, dem Betrieb und der Kontrolle von Rohrleitungen und anderen Anlagen zum Transport flüssiger oder gasförmiger Brenn- und Treibstoffe.

Auch über die Beseitigung häuslicher und industrieller Abfälle und von Giften sowie über das Bestattungswesen bestehen eidgenössische und kantonale Gesetze und Vorschriften. Diese werden ergänzt durch eidgenössische «Richtlinien über allgemeine Anforderungen an Standorte, Anlagen, Betrieb und Kontrolle von geordneten Deponien» vom März 1976.

Das Fürstentum Liechtenstein und Österreich, bzw. das Land Vorarlberg, verfügen über analoge Gesetze, Vorschriften und Richtlinien.

Neben den Gewässerschutz-Ämtern haben aber auch die Planungs-, Natur- und Umweltschutzämter Verpflichtungen und Befugnisse, die im Hinblick auf das Grundwasser von Bedeutung sind, wie z. B. die Aufstellung von Zonenplänen, Planungen und Bewilligungen für Industrie- und Verkehrsanlagen, Kiesausbeutungen, landwirtschaftliche Siedlungen.

11.2. Regionen verschiedener Beurteilungskriterien der Grundwasserprobleme

Entsprechend der Vielgestaltigkeit der Grundwasserprobleme und ihren Abhängigkeiten von geologischen, topographischen, hydrologischen, wirtschaftlichen und anderen Voraussetzungen können nicht alle Interessen am Grundwasser durch Gesetze, Vorschriften, Richtlinien oder Verbote abschliessend erfasst und reglementiert werden.

Das Abflussgebiet des Alpenrheines lässt sich beispielsweise in drei Regionen der Typen I, II und III unterteilen, in denen zur Wahrung der öffentlichen Interessen am Grundwasser verschiedenartige Kriterien, Empfehlungen und zu ergreifende Massnahmen als zweckmässig erscheinen.

I Obere Regionen

Diese umfassen die Quellflüsse: Vorderrhein, Hinterrhein, Plessur, Landquart und Ill sowie den Vereinigten Rhein auf dem Gebiet des Kantons Graubünden; linksufrig bis Mastrils, gegenüber der Landquartmündung und rechtsufrig bis zum Fläscher Berg und zum Ellhorn, bzw. bis zur Grenze Graubünden-Liechtenstein.

Die Sohlen dieser Flüsse liegen tiefer als die Talebene, so dass diese bei Nieder- und Mittelwasser Vorfluter sind. Bei diesen Wasserständen fliesst das Grundwasser von den Talhängen und Schuttkegeln quer durch die Talebene den Vorflutern zu. Bei Hochwasser können sich die Strömungsrichtungen umkehren. Wasser aus den Flüssen infiltriert dann in die Grundwasserbecken. Die Uferschutzbauten dieser Flussabschnitte übersteigen die Talebenen nur in Ausnahmefällen und auf kurzen Strecken. Hochwasser kann auf natürlichem Weg ins Flussbett zurückfliessen.

II Mittlere Region

Zur mittleren Region gehört die rechtsufrige Rheinebene flussabwärts vom Ellhorn auf dem ganzen Gebiet des Fürstentums Liechtenstein und auf Vorarlberger Hoheitsgebiet bis zum Schuttkegel der Ill und links des Rheins auf dem Gebiet des Kantons St.Gallen, die Saarebene von Mastrils bis Trübbach und weiter flussabwärts bis zum Blattenberg unterhalb der Illmündung, die Ebenen von Wartau, Sevelen, Buchs, Grabs, Saxerriet, Sennwald und Rüthi. Die Rheinsohle liegt hier streckenweise höher als der tiefste Talweg in den angrenzenden Ebenen, so dass diese durch Kanalsysteme ausserhalb des Rheins entwässert werden müssen. Bei mittleren und hohen Abflüssen im Rhein bestand vor 1960 fast durchwegs eine Tendenz zur Infiltration von Rheinwasser in die seitlich anschliessenden Grundwasserbecken, deren Überläufe von den Drainage- und Binnenkanal-Systemen aufgenommen wurden. Im Laufe der sechziger Jahre wurde die Rheinsohle um 2 bis 4 m abgesenkt, wodurch sich streckenweise Grundwassergefälle von den Binnenkanälen in Richtung Rheinbett einstellten, wie diese in den Diagrammen 5.10. und 5.11., Seiten 115 und 116, zum Ausdruck kommen.

Das Rheinbett ist in dieser Region beidseitig durch Hochwasserdämme flankiert, welche die Talebene bis 6 m übersteigen. Bei Dammbrüchen in die Rheinebenen ausgebrochene Wassermassen könnten nur an wenigen vorbereiteten Stellen ins Rheinbett zurückgedrängt werden, weil die Rheinsohle fast durchwegs höher liegt als das angrenzende Vorland.

III Untere Region

Diese umfasst die vorarlbergische und die st. gallische Rheinebene von der Illmündung bzw. vom Blattenberg bis zum Bodensee. Auf dieser Strecke wurde der Rhein durch die Internationale Rheinregulierung mit einem Doppelprofil ausgebaut (Bilder 5.3., Seite 108, und 5.14., Seite 118).

Von rechts her mündet, rund 2 km flussabwärts der Ill, als unterster Zufluss die Frutz in den Rhein. Die breite, bis in jüngste Zeit versumpfte Rheinebene wird durch Kanalsysteme entwässert, die ausserhalb des Rheins direkt in den Bodensee münden. Zwischen grossflächigen Torf- und Feinsandzonen, in denen kein wirtschaftlich nutzbares Grundwasser gewonnen werden kann, liegen grundwassertragende Kieslinsen geringer Mächtigkeit, wo begrenzt Trinkwasser gewonnen werden kann.

11.3. Beeinflussungen von Qualität und Menge des Grundwassers

Auenwälder und undrainierte, landwirtschaftlich genutzte Grundflächen sind von massgeblicher Bedeutung für die Alimentierung der Grundwasserbecken. Jede Überbauung, Asphaltierung oder Betonierung des Bodens behindert und verkleinert die natürliche Versickerung von Niederschlägen. Die Ausscheidung von Landwirtschaftszonen und geschützten Natur- und Erholungszonen sowie der Schutz noch bestehender Auenwälder liegen im Interesse der Erhaltung der Versickerungszonen und einer ausreichenden Zurückhaltung der Niederschläge und deren allmählicher Abgabe an den Grundwasserträger.

Die Entwässerungen und Überbauungen der letzten Jahrzehnte verkleinerten das Speichervermögen der Böden für die Niederschläge. Dies zeigt sich in den Veränderungen des Abflussregimes der Binnenkanäle. Bei intensiven Niederschlägen steigen die Abflüsse der Binnenkanäle rascher an, werden höher und sinken rascher ab als in früheren Jahren. Entsprechend dieser Entwicklung wurden die Niederwasser-Abflüsse kleiner.

In den Flussebenen Europas mit ähnlichen hydrologischen, siedlungstechnischen und wirtschaftlichen Voraussetzungen werden in jüngster Zeit Absenkungen der Grundwasserspiegel festgestellt, die der zunehmenden Überbauung und zusätzlichen Entwässerungen, aber auch der Übernutzung der Grundwasservorkommen zugeschrieben werden.

In den Ebenen der Regionen II und III wird die Höhe des Grundwasserspiegels namentlich in der Nähe des Flusses massgeblich durch die Wasserstände im Rhein bestimmt. Die Bilder 5.10. und 5.11. zeigen, um wieviel die Grundwasserstände in Rheinnähe als Folge der Eintiefung der Rheinsohle abgesunken sind.

Ein Absinken der Grundwasserstände ist meist unerwünscht. In der Rheinebene sind als Folge der abgesunkenen Grundwasserstände zahlreiche offene Wasserflächen in Gräben und in alten Rheinläufen, sogenannten Giessen, verschwunden. Dieser Verlust sowohl für das Landschaftsbild als auch für Flora und Fauna wird bedauert. In den jüngsten Meliorations- und Drainagevorhaben sind deshalb durch Verzicht auf Entwässerung wertvolle Biotope und Naturschutzzonen ausgeschieden worden.

Oft vorgebrachten Wünschen zur Wiederanhebung der Grundwasserstände um verschwundene Wassertümpel wieder herzustellen und um eingetrocknete Giessen wieder zu füllen, könnte im Rahmen eine gebührenden Berücksichtigung der Interessen des Hochwasserschutzes und der in den letzten Jahrzehnten entstandenen Meliorationswerke mindestens zum Teil entsprochen werden. Die Rheinsohle wurde in erster Linie abgesenkt, um einen genügenden Hochwasserschutz zu gewährleisten. Gleichzeitig konnten auch die Vorfluter zahlreicher Entwässerungssysteme und Drainagen in der Rheinebene abgesenkt werden.

Kleinere, offene Grundwasserspiegel wirken sich auf Menge und Qualität des Grundwassers weder positiv noch negativ wesentlich aus, wenn sie zuverlässig gegen Verunreinigung geschützt sind. Die Sauerstoffaufnahme durch offene Grundwasserflächen kann sich günstig auswirken. Grossflächige, genügend starke Deck- und Filterschichten, die an möglichst wenigen Stellen durchbrochen werden, schützen das Grundwasser wirksam gegen Verunreinigungen. Bei Bauwerken, welche die Deckschicht durchstossen, ist daher besondere Vorsicht geboten.

Nach der geltenden Gesetzgebung sind Kiesentnahmen aus dem Grundwasser grundsätzlich verboten. Bei bereits bestehenden Freilegungen der Grundwasserspiegel durch Kiesgruben oder durch andere Grabarbeiten stellt sich die Frage nach der Endgestaltung und dem Unterhalt dieser Wunden im Grundwasserträger.

Entweder können diese mit geeigneten Materialien aufgefüllt werden, oder interessante und reizvolle Biotope können durch geeignete Gestaltung und Bepflanzung der Böschungen und Ufer gewonnen werden.

Werden offene Wasserflächen sicher gegen Verunreinigung geschützt, bestehen keine zwingenden Gründe für die Zuschüttung ehemaliger Kiesgruben im Grundwasser.

Sollen Sammel- und Vorflutkanäle der Drainagen als geschlossene Rohrleitungen oder als offene Gräben und Kanäle erstellt werden? Im Interesse der Landschaftsgestaltung, der Fischerei und neuer Biotope für Wassertiere und Wasserpflanzen sind offene Gräben mit freien Wasserflächen vorzuziehen und auch zu verantworten, sofern diese zuverlässig gegen Verunreinigung des Grundwassers geschützt werden können. Offene Gräben und Kanäle sollten mit wasserdurchlässigen Pflästerungen aus Natur- oder Kunststeinen verkleidet und anschliessend fachgerecht bepflanzt werden. Solche Gräben und Wasserflächen erschweren aber in der Regel die Bewirtschaftung und den

Unterhalt der Meliorationswerke. Es kann empfohlen werden, Gräben mit permanenter Wasserführung nach Möglichkeit offen zu führen. Gräben, die als Folge abgesunkener Grundwasserstände zeitweise austrocknen, können in Röhren verlegt und eingedeckt werden, sofern keine Aussicht auf Wiederherstellung der Wasserführung besteht.

Wesentlich zum Schutz der Qualität des Grundwassers ist die sorgfältige Sammlung der häuslichen, gewerblichen und industriellen Abwässer und Abfälle in fester Form, wie es die geltenden Gesetze verlangen. Schmutzwasserleitungen und -Behälter müssen wasserdicht sein. Versickerungen schädlicher Stoffe aus Deponien von Hausmüll und Industrieabfällen sind zu verhindern.

Durch die landwirtschaftliche Düngung gelangen gelöste Düngstoffe in die Drainagen und in die Vorfluter; in der Region I direkt in den Rhein, in den Regionen II und III in die Binnenkanäle. Zu dieser Belastung der Binnenkanäle mit Düngstoffen aus der Landwirtschaft kommen in den Regionen II und III noch die Abwässer aus den Reinigungsanlagen der Wohn- und Industriezonen, die je nach dem Reinigungsgrad und dem Reinigungssystem beträchtliche Mengen an Salzen und Düngstoffen enthalten können, deren Kontakt mit dem Grundwasser verhindert werden muss.

Die meisten Grundwasserfassungen liegen zwischen Rheinlauf und den Binnenkanälen und werden teils mit Sickerwasser aus dem Rhein gespiesen. Das gegenüber dem Wasser der Binnenkanäle sauerstoffreichere Rheinwasser muss deshalb besonders sorgfältig gegen Belastungen durch Abwässer geschützt werden. Dementsprechend münden die Ausläufe der Abwasserreinigungsanlagen in den Regionen II und III vorwiegend in die ohnehin schon durch Wasser aus landwirtschaftlichen Gebieten und Drainagen belasteten Binnenkanäle.

Bei extremen Niederwasserabflüssen traten im Rheintaler Binnenkanal Fischsterben ein. Ursache war Sauerstoffmangel und eine zu grosse Belastung mit direkt eingeleiteten oder aus Reinigungsanlagen stammenden Abwässern. Besonders prekär werden die Verhältnisse in den Binnenkanalsystemen bei Niederwasserabflüssen an heissen Sommertagen. Durch Erhöhen des Reinigungsgrades der Kläranlagen, z. B. durch deren Ergänzung mit Phosphatfällanlagen ist die Wasserqualität in den Binnenkanälen in den letzten Jahren zunehmend verbessert worden, so dass diese ihre Bedeutung als wertvolle Fischgewässer und Erholungsgebiete zurückerlangten. Weiter sind zur Zeit grosse Anstrengungen im Gange, um eine umweltgerechte Düngung landwirtschaftlicher Böden zu erreichen.

Die Einleitung von kühlem und sauerstoffreichem Grund- oder Rheinwasser in die Binnenkanalsysteme könnte noch weiteres zur Verbesserung ihrer Wasserqualität beitragen. In der Region II wäre deshalb eine Erhöhung der Grundwasserstände zwischen dem Rhein und den Binnenkanälen erwünscht. Eine ähnliche aber direktere Wirkung brächte bei Niederwasser die Überleitung von Rheinwasser in die Binnenkanalsysteme. Geeignete Massnahmen sind aber mit einfachen Mitteln nur durchführbar bei genügend hohen Wasserständen im Rheinbett.

Die bei höheren Abflüssen im Rhein mitgeführten Schwebestoffe sollten dabei nicht in die Binnenkanäle gespült werden, so dass solche Überleitungen nur bei Niederwasserabflüssen im Rhein während Trockenperioden in Betrieb genommen werden dürften.

Höhere Wasserstände im Rhein bei klarem Niederwasser würden Infiltrationen in den Grundwasserträgern fördern, was sich auf Menge und Qualität des zwischen dem Rhein und den Binnenkanälen gewonnenen Grundwassers günstig auswirken würde.

Bei verschiedenen Grundwasserpumpwerken in Rheinnähe zeigt sich, dass bei zu grossen örtlichen Absenkungen der Grundwasserspiegel der Sauerstoffgehalt des gewonnenen Wassers abnimmt. Es wird dann ein grösserer Anteil an sauerstoffarmem Grundwasser aus landseitigen Torfgebieten gefördert. Beim Grundwasserpumpwerk Oberau der Wasserversorgung «Liechtensteiner Unterland» ist dies besonders deutlich feststellbar.

Als Folge zu tiefer Absenkungen der Grundwasserspiegel in der Nähe des Rheins können auch Durchbrüche entstehen, bei welchen sich die Absenkungstrichter unter dem Rheinbett durch fortpflanzen und am gegenüberliegenden Ufer die Qualität des Grundwassers beeinträchtigen. Es besteht somit eine enge Beziehung zwischen der Qualität des in der Nähe des Rheins gewonnenen Grundwassers einerseits und den Entnahmemengen und den Infiltrationen von Rheinwasser aus dem Flussbett in den Grundwasserstrom andererseits.

In den Bildern 5.16. und 5.17. kann die Intensität der Infiltration von Rheinwasser in den Grundwasserträger erkannt werden an der Grösse der Schwankungen der Grundwasserstände. Im Profil 5.6. bei Oberriet besteht beispielsweise ein enger Zusammenhang zwischen den Wasserständen im Rhein und den Grundwasserspiegeln in der Rheinebene, was auf ein durchlässiges Rheinbett schliessen lässt. Im Gegensatz dazu ist im Profil 5.7. das Rheinbett dicht; bei Niederwasser infiltriert praktisch kein Rheinwasser ins Grundwasserbecken. In solchen Zonen müssten zur Hebung der Grundwasserstände, bzw. zur Verbesserung von Menge und Qualität des Grundwassers im Vorland Anreicherungs-Anlagen durch Rheinwasser erstellt werden.

In der Region II ist eine Erhöhung der heutigen Nieder- und Mittelwasserstände im Rheinbett erwünscht. Dieses Ziel könnte erreicht werden durch den Einbau fester Schwellen oder durch die Erstellung von Staustufen im Flussbett, ohne dass die Rheinsohle über das heutige Niveau angehoben wird.

Die erste Lösung hätte eine der Sohlenhebung entsprechende Verminderung des Abflussvermögens und damit der Hochwassersicherheit zur Folge, wobei streckenweise Reduktionen der Höhe des Abflussprofiles von 1 bis 2 m in Kauf genommen werden könnten.

Bei der zweiten Variante müsste im Interesse der Erhaltung der Hochwassersicherheit und des Geschiebebetriebes bei erhöhten Abflüssen im Rhein die Stauwirkung zeitweise unterbrochen werden.

In der Region II könnten somit den Zielsetzungen der zweiten Variante angepasste Anlagen für die Wasserkraftnutzung zur Anhebung der Grundwasserstände in der Rheinebene beitragen und damit die Wasserqualität in den Binnenkanälen verbessern, was auch im Interesse einer Erhaltung und Verbesserung von Menge und Qualität des Grundwassers liegen würde. Der Einfluss von Stauhaltungen auf die Hochwassersicherheit, den Geschiebetrieb, die Kolmatierung, die Fischerei und andere Interessen müsste als Ganzes zusammen mit den eher günstigen Wirkungen auf das Grundwasser beurteilt werden.

Ähnliche Kriterien wie für die Region II gelten auch für die Region III im Abschnitt von der Illmündung bis zu den untersten Grundwasservorkommen, die bei Widnau-Lustenau und bei St. Margrethen-Höchst für die Gewinnung von Trink- und Industriewasser genutzt werden.

In einzelnen Grundwasser-Filterbrunnen im Rheinvorland,

für die Wasserversorgung der Industrieanlagen der Viscosuisse AG in Widnau, sinkt bei tiefen Grundwasserständen und niedrigen Abflüssen im Rhein der Sauerstoffgehalt deutlich ab. Gleichzeitig steigt der Eisen- und Mangangehalt.

Wie das Längenprofil S. 109 zeigt, werden die Grundwasserstände in der Rheinebene, flussabwärts von km 85 bei der Strassenbrücke von Höchst, nicht mehr allein durch die Wasserstände im Rhein, sondern auch durch die Bodenseewasserstände beeinflusst. Bei einem 100jährigen Bodensee-Hochwasser mit der Kote 398,00 m ü. M. würden grosse Flächen der seenahen Rheinebene überflutet und damit die Kanalisationen ausgedehnter Wohn- und Industriezonen wochenlang ausser Betrieb gesetzt. Aus den Kanalisationsschächten aufsteigender und sich im stehenden Überschwemmungswasser ansammelnder Schmutz könnte das Grundwasser in bedenklicher Weise gefährden.

Mit der Realisierung der seit Jahrzehnten diskutierten Bodenseeregulierung könnten die höchsten Wasserstände im Bodensee auf die heute gültige Schadengrenze, auf Kote 397,14 m ü. M. abgesenkt und dadurch ein weiterer Beitrag für die Gewährleistung der Qualität des Grundwassers in den seenahen Wohn- und Industriezonen geleistet werden.

11.4. Empfehlungen zum Schutz und zur Verbesserung des Grundwassers

Zum Schutz und zur Verbesserung des Grundwassers in der Rheinebene ergeben sich die nachstehenden, zu Thesen zusammengefassten Empfehlungen:

Konsequente Anwendung und Durchsetzung der gültigen Gewässerschutz- und -nutzungsvorschriften und deren Kontrolle.

Erhaltung und Pflege der natürlichen Versickerungszonen wie Wälder, Pflanzungen, landwirtschaftlich genutzte Flächen, Gräben, Giessen, Sümpfe.

Offene Grundwasserflächen in Weihern, Gräben, Giessen, aber auch in sauber betriebenen Kiesgruben können günstig auf die Qualität des Grundwassers wirken, diese müssen aber zuverlässig und dauernd gegen Verschmutzung geschützt werden.

Die Auffüllung von mit Grundwasser angefüllten Vertiefungen bringt keine Verbesserung der Qualität des Grundwassers und kann sogar nachteilige Folgen haben. Die zuverlässige Kontrolle der Qualität des einzufüllenden Materials und der Methoden zu dessen Einbau muss gewährleistet sein.

Die Böschungen und Uferzonen offener Grundwasserflächen sind fachgerecht zu gestalten, in geeigneter Weise zu bepflanzen und sorgfältig zu pflegen.

Sauberes Wasser führende Vorfluter und Gräben sollten nach Möglichkeit offen geführt und gegen Verschmutzung geschützt werden. Trockengelegte Gräben und Grundwassertümpel sollten hingegen sorgfältig aufgefüllt und einer geeigneten Bewirtschaftung zur Verfügung gestellt werden.

Die schützende Deckschicht über den Grundwasserbecken ist kompakt und funktionsfähig zu erhalten. Verletzungen dieser Schutzschicht durch Bauwerke und Kiesgruben sind schädlich.

Im Rheinabschnitt vom Ellhorn bis zur Ill sind die Infiltrationsmöglichkeiten von Rheinwasser in die Grundwasserbecken zu fördern durch die Herbeiführung und dauernde Erhaltung genügend hoher Wasserstände im Rheinbett. Dies erfordert unter anderem die Stabilisierung der Rheinsohle auf einem hierfür geeigneten Längenprofil. Auf Strecken mit niedrigen Rheinwasserständen, die nicht genügend hoch über die Grundwasserspiegel ausserhalb des Rheinbettes angehoben werden können, müssten Anlagen zur Anreicherung des Grundwassers erstellt und Pumpen eingesetzt werden.

Die Höhenlagen der günstigsten Grundwasserspiegel müssten fallweise ermittelt und mit geeigneten Massnahmen angestrebt werden.

In den rheinnahen Pumpwerken ist die zulässige Absenkung der Grundwasserspiegel zu begrenzen, damit das gewonnene Wasser nicht durch den Zufluss von Grundwasser aus reduzierten Zonen (Torfgebiete, Industriezonen) beeinträchtigt werden kann.

Geplante Stauhaltungen sollen sowohl die Wasserstände anheben als auch der Wasserkraftnutzung dienen. Diese würden gleichzeitig die Rheinsohle stabilisieren und das Grundwasser durch zusätzliche Infiltration guten Wassers aus dem Rhein verbessern.

Im Abschnitt von Sargans bis St. Margrethen muss das in verschiedene Grundwasserbecken infiltrierende Wasser des Rheins sorgfältig gegen Verunreinigung geschützt werden. Dementsprechend sind bisher auf dieser Strecke keine Ausläufe von Abwasserreinigungsanlagen direkt in den Rhein eingeleitet worden. Diese münden in die Binnenkanäle, deren Wasser bereits durch landwirtschaftliche Düngemittel belastet ist.

Die Qualität des Wassers in den Binnenkanälen muss verbessert werden durch:

— Möglichst weitgehende Reinigung des Abwassers aus Wohn- und Industriezonen in Kläranlagen
— Umweltfreundliche Düngung in den Landwirtschaftszonen
— Einleitung von sauberem und sauerstoffreichem Grund- und Rheinwasser, die erleichtert werden könnte durch erhöhte Wasserstände im Rheinbett bei Mittel- und Niederwasserabflüssen.
— Flussabwärts von St. Margrethen kann der Gefährdung der Grundwasser-Qualität in der Rheinebene durch extrem hohe Bodensee-Wasserstände begegnet werden durch die Realisierung der seit Jahrzehnten in Diskussion stehenden Bodenseeregulierung.

Diese generellen Schlussfolgerungen entsprechen den Erkenntnissen der Verfasser aufgrund der ihnen bekannten Informationen. Zahlreiche Grundwasserprobleme im Rheingebiet bleiben aber noch ungeklärt. Erfahrungen, Ergebnisse von Sondierungen und Beobachtungen sowie deren wissenschaftliche Auswertung müssen weiterhin systematisch gesammelt werden im Interesse einer dauernden Verbesserung und Erhaltung von Menge und Qualität des Grundwasserstromes des Alpenrheins.

Adressen der Verfasser «Der Grundwasserstrom des Alpenrheins»

Heinrich Bertschinger, dipl. Ing. ETH, Schützenstrasse 8, 9400 Rorschach/SG

Rudolf Gartmann, dipl. Ing. ETH, Werkstrasse 4, 7000 Chur/GR

Dr. Max Kobel, dipl. Geologe, Bahnweg 16, 7320 Sargans/SG

Dr. Hermann Loacker, dipl. Geologe, Feldgasse 5, A - 6840 Götzis/Vorarlberg

Eugen Weber, Ing. Geologe SIA, im Herrenfeld, 7304 Maienfeld/GR

Anton Bühler, dipl. Ing. ETH, Direktor der Industriellen Betriebe der Stadt Chur, Masanserstrasse 2, 7000 Chur/GR

I. Camenisch, Reinische Ölleitung AG, Hartbergstrasse 1, 7000 Chur/GR

Max Dickenmann, Bauingenieur SIA, im Ingenieurbüro

Edy Toscana AG, 7504 Pontresina/GR

Dr. Paul Nänny, Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz, EAWAG, Überlandstrasse 129—133, 8600 Dübendorf/ZH

Gesamtredaktion
Georg Weber, dipl. Ing. ETH, Rütistrasse 3a, 5401 Baden/AG

Energiewirtschaftlicher Vergleich verschieden angeordneter Verfahren der Klärschlammpasteurisierung an anaeroben Faulstufen

Lothar Görlich

Zusammenfassung

Die wärmetechnischen Zusammenhänge der in der heutigen Klärtechnik üblicherweise angewendeten Methoden zur Klärschlammbehandlung durch anaerobe Faulung mit wahlweiser Anordnung einer Vor- oder Nachpasteurisierung werden dargestellt und als Gesamtprozess mathematisch untersucht. Es wird in einer praxisnahen Beispielsrechnung unter Anwendung der entwickelten mathematischen Beziehungen aufgezeigt, dass die Schlammpasteurisierung nach der anaeroben Faulung auch bei einer Eindickung des Schlammes bis auf die Hälfte seines Ursprungvolumens als Rohschlamm je nach Temperaturänderung im Nacheindikker 19 bis 41 % mehr Wärme benötigt als die Anordnung einer vorgeschalteten Pasteurisierung.

Résumé

Dans la technique de traitement des boues par digestion anaérobe la pasteurisation peut être faite avant ou après ce procès.
Une étude mathématique est faite sur le procès combiné de la digestion avec la pasteurisation et les relations calorifiques sont examinées.
Utilisant les relations mathématiques développées un exemple de la digestion avec pasteurisation successive et avec pasteurisation en premier sont comparées.
Même avec l'épaissement des boues jusqu'à la moitié de leur volume de début la digestion avec pasteurisation successive consomme selon les changements de température dans l'épaississeur statique de 19 % à 41 % plus de chaleur.

1. Einleitung

Mit dem Umfang und der zunehmenden umwelttechnischen Bedeutung der Abwassertechnik sowie den steigenden Preisen für Energie bedürfen auch die Verfahren zur Klärschlammpasteurisierung besonderer energiewirtschaftlicher Untersuchungen. Die Beurteilung und der quantitative Vergleich thermischer Behandlungsmethoden von Klärschlamm ist in der Regel nur dann vollkommen, wenn man auch die anaerobe Faulstufe in die Betrachtung miteinbezieht. In der vorliegenden Arbeit sollen ausschliesslich die wärmetechnischen Zusammenhänge

— der normalen Faulraumheizung,
— der dem anaeroben Faulprozess vorgeschalteten Pasteurisieranlagen (MTS-Verfahren, System Klöckner)
— sowie einer dem anaeroben Faulprozess nachgeschalteten Pasteurisieranlage gleichen Typs

für den mesophilen Temperaturbereich mathematisch untersucht und an einem Beispiel vergleichend dargestellt werden. Die systembedingten elektrischen oder mechanischen Wärmeäquivalente von Umwälzeinrichtungen sowie exotherme biologische Vorgänge innerhalb des anaeroben Faulprozesses bleiben, da sie ohne praktische Bedeutung sind, unberücksichtigt.

Für wärmetechnische Prozesse gilt allgemein, dass die Summe der dem Gesamtprozess zugeführten fühlbaren Wärme gleich ist der Summe der an die Umwelt abgeführten bzw. für den Prozess nicht wieder zurückgewinnbaren Wärme.

$$\Sigma Q_A = \Sigma Q_V \quad \text{(kJ)} \tag{1}$$

2. Die normale Faulraumheizung

Die Faulraumbeheizung erfolgt üblicherweise mit inner- oder ausserhalb des Faulturmes angeordneten Wärmetauschern nach dem Schema Bild 1, oder durch direkte Dampfeinblasung in den Schlammumwälzstrom. Ihre Grösse wird durch die Rohschlammtemperatur und die unvermeidbaren Wärmeverluste im Faulraum bestimmt.

Die Konvektions- und Strahlungsverluste eines Faulturmes sind von seinem Volumen/Oberflächenverhältnis, der Bauart, des verwendeten Materials, der Isolierung, dem Innen-Aussentemperaturverhältnis und einer Reihe weiterer rechnerisch nur schwer erfassbarer Parameter — wie z. B. Schlammgeschwindigkeit an der Behälterwandung — abhängig. Die mit dem Faulgas an fühlbarer Wärme abgegebenen Wärmemengen betragen etwa 25 kJ/m³ Gas. Diese Verluste ergeben insgesamt eine für den untersuchten Faulturm speziell gültige Kenngrösse K_F (kJ/m³ Faulraumvolumen · Tag). Sie beträgt bei Faultürmen üblicher Ausführung $K_F = 1000$ bis 2000 kJ/m³ d.

Damit werden die im Wärmeflussdiagramm mit q_5 dargestellten Wärmeverluste des Faulturmes mathematisch zu

$$q_5 = V_F\, K_F \ (\text{m}^3\ \text{kJ/m}^3\ \text{d}) \tag{2}$$

Bei einer guten Durchmischung des Faulrauminhaltes ist die Temperatur des ausgefaulten Schlammes (t'_F) gleich der Faulraumtemperatur (t_F).

Nach (1) ergibt die Wärmebilanz:

$$Q_1 + \dot{M}\, t_o\, c = q_5 + \dot{M}'\, t_F\, c \ (\text{kJ/d}) \tag{3}$$

Wird für q_5 die Gleichung (2) eingesetzt, so wird allgemeingültig die täglich einzubringende Wärme zu

$$Q_1 = V_F\, K_F + (\dot{M}'\, t_F - \dot{M}\, t_o)\, c \ (\text{kJ/d}) \tag{4}$$

Erfolgt der Wärmeaustausch Heizmedium/Schlamm indirekt in Wärmetauschern wie im vorliegenden Fall (Bild 1), so entspricht die Massenänderung im Faulprozess nur der dem Abbaugrad der organischen Schlamminhaltsstoffe ab-

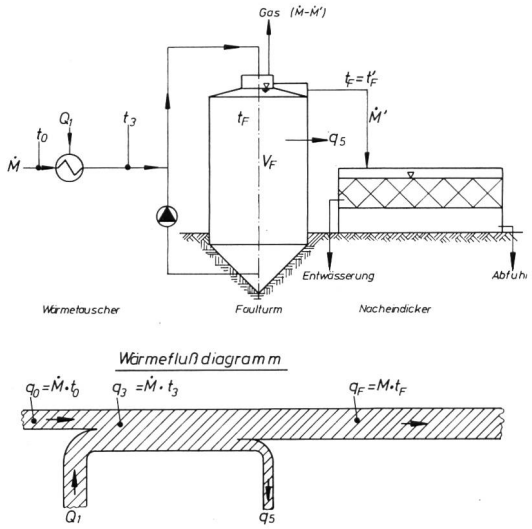


Bild 1. Schalt-Schema und Wärmeflussdiagramm einer normalen Faulraumheizung.

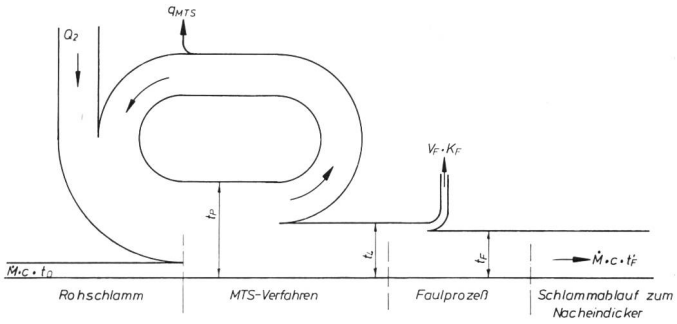


Bild 2. Wärmeflussschaubild einer Pasteurisieranlage mit Wärmerückgewinn (MTS-Verfahren).

geleiteten adäquaten Gasmasse. Ihr Wert liegt bei 1,5 bis 2 % der Rohschlammasse $\dot{M}$. Diese Änderung soll hier vernachlässigt werden, so dass $\dot{M}' \cong \dot{M}$ wird.

Wird Heizdampf direkt in den Schlamm eingeblasen, weichen auch ohne Einbeziehung der beim Faulprozess freigewordenen Masse des Faulgases die Massenströme $\dot{M}'$ und $\dot{M}$ nennenswert voneinander ab.

Es beträgt für den indirekten Wärmeaustausch

$$Q_1 = V_F K_F + \dot{M} c \ (t_F - t_o) \ (\text{kJ/d}) \tag{5}$$

Zur Ermittlung der Schlammtemperatur hinter dem Wärmetauscher gilt sinngemäss zu (1)

$$Q_1 = \dot{M} c t_3 - \dot{M} c t_o \tag{6}$$

$$t_3 = Q_1 / \dot{M} c + t_o \ (^\circ\text{C}) \tag{7}$$

3. Dem anaeroben Faulprozess vorgeschaltete Pasteurisieranlage (MTS-Verfahren, System Klöckner)

Der dem anaeroben Faulprozess zugeführte Roh-Klärschlamm wird bei diesem Verfahren [1], [2], [3] durch einen im Kreislauf befindlichen Wärmeträger auf die Entseuchungstemperatur von mindestens 65 °C erwärmt und dann einem Dreikammer-Verweilbehälter zugeführt, dessen Kammern in der Prozessfolge *«Füllen — Verweilen (mindestens 30 min) — Entleeren»* kontinuierlich beschickt bzw. entleert werden.

In einem weiteren Wärmetauscher kühlt sich der beim Entleeren aus der jeweiligen Kammer abgezogene pasteurisierte Schlamm ab, wobei zur Kühlung das im Kreislauf befindliche Heizmedium der Erhitzerstufe verwendet wird. Dies führt zu einem Wärmerückgewinn bis auf die Wärmemenge, die ohnehin notwendig ist, um mit dem Massenstrom des Schlammes den Wärmebedarf des Faulraumes zu decken.

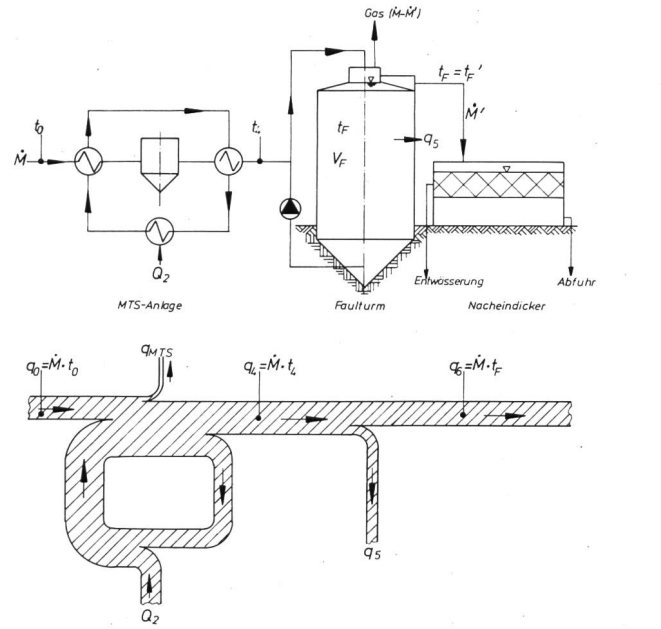


Bild 3. Schalt-Schema und Wärmeflussdiagramm einer dem Faulprozess vorgeschalteten MTS-Anlage.

Das Schaltschema und Wärmeflussdiagramm zeigen Bild 2 und Bild 3.

Die Gleichung (1) ergibt die Wärmebilanz für das Gesamtverfahren nach Bild 3:

$$Q_2 = (V_F K_F) + (\dot{M}' t_F - \dot{M} t_o) c + q_{MTS} \ (\text{kJ/d}) \tag{8}$$

Wird wie zur Gleichung (5) erläutert $\dot{M}' = \dot{M}$, so verändert sich die Gleichung (8) in

$$Q_2 = (V_F K_F) + \dot{M} c \ (t_F - t_o) + q_{MTS} \ (\text{kJ/d}) \tag{9}$$

Die Strahlungs- und Konvektionsverluste der MTS-Anlage (q_{MTS}) liegen infolge guter Isolierung der wärmeleitenden Bauteile bei Werten $<<1$ % des Gesamtwärmebedarfs (Q_2). Für eine hinreichend genaue Wärmebedarfsermittlung kann der Wert q_{MTS} vernachlässigt werden. Der gesamte Wärmebedarf dieses Prozesses Q_2 wird

$$Q_2 = (V_F K_F) + \dot{M} c \ (t_F - t_o) \ (\text{kJ/d}) \tag{10}$$

In den Gleichungen (10) und (5) sind die Werte Q_1 und Q_2 ergebnisgleich.

Der Wärmebedarf einer dem anaeroben Faulprozess vorgeschalteten Pasteurisieranlage nach dem MTS-Verfahren ist demzufolge praktisch nicht grösser als der Bedarf einer normalen und ohnehin notwendigen Faulraumheizung.

Für den Betrieb eines solchen Prozesses ist bei vorgegebener Faulraumtemperatur die Kenntnis der Temperatur (t_4) des Massenstromes hinter der MTS-Anlage wichtig. Sie wird bei sinngemässer Anwendung der Gleichung (1) ermittelt

$$t_4 = [(V_F K_F) + \dot{M} t_F c] / M c \ (^\circ\text{C}) \tag{11}$$

4. Dem anaeroben Faulprozess nachgeschaltete Pasteurisieranlage MTS

Dem normalen Faulprozess mit einer Beheizung entsprechend dem Bild 1 schliesst sich auch diesem Verfahren in der Regel eine unbeheizte Nachfaul- und Entwässerungsstufe (Nacheindicker) an. Die so ausgefaulte und nach der Entwässerung in seinem Volumen ($\cong$ Masse) etwa halbierte Schlammenge wird dann vor dem Abtransport zur landwirtschaftlichen Verwertung pasteurisiert und anschliessend bis auf mindestens Faulraumtemperatur in einer zusätzlichen Kühlstufe abgekühlt (Bild 4).

Für den Teilprozess «Faulstufe» gilt als Wärmebedarf Q_1 die Gleichung (5)

$$Q_1 = V_F K_F + \dot{M} c \ (t_F - t_o) \ (\text{kJ/d})$$

Im weiteren Verlauf des Prozesses wird im Nacheindicker bei einer Entwässerung von 50 % $\dot{M}'$ zu $\dot{M}'/2$, durch die Abkühlung im Stapelbehälte t'_F zu t''_F und die Wärmemenge q_6 hierbei an die Umwelt abgegeben.

Der vor dem Eingang in die Pasteurisierstufe zur Verfügung stehende Wärmestrom errechnet sich dann zu

$$q_7 = (\dot{M}'/2) \ c \ t''_F$$

Für den Wärmebedarf Q_3 der folgenden Pasteurisierstufe gilt dann die allgemeine Gleichung

$$Q_3 = (\dot{M}/2) \ c \ (t_9 - t''_F) \ (\text{kJ/d}) \tag{12}$$

Der Gesamtwärmebedarf stellt für jede Schlammtemperatur innerhalb des Verfahrens die Summe von Q_1 und Q_3 dar.

Bei einer Entwässerung im Nacheindicker von 50 % wird Q_{ges}

$$Q_{ges} = V_K K_F + \dot{M} c (t_F - t_o + t_9/2 - t''_F/2) \text{ (kJ/d)} \quad (13)$$

Dabei kann die Temperatur t''_F, je nach Abkühlung des Schlammes im Nacheindicker in den Grenzwerten von t_F bis $< t_o$ liegen.

$t''_F = t_F$: Ist $t''_F = t_F$, gilt bei einer Pasteurisiertemperatur von 65 bis 70 °C für $t_9 \sim 50$ °C; die für eine gerucharme Abfuhr jedoch geeignete Temperatur beträgt $\sim t_F$ (35 bis 38 °C). Es muss eine zusätzliche Kühlstufe (q_9) — ohne Wärmerückgewinn — nachgeschaltet werden.

$$Q_{t\,F\,ges} = Q_1 + Q_3$$

$$Q_{t\,F\,ges} = (V_F\ K_F) + \dot{M} c [(t_F/2 + t_9/2) - t_o] \text{ (kJ/d)} \quad (14)$$

$t''_F = t_o$: t''_F ist im Nacheindicker bis auf Rohschlammtemperatur abgekühlt. Es wird:

$$Q_{t\,o\,ges} = Q_1 + Q_3$$

$$Q_{t\,o\,ges} = (V_F K_F) + 1{,}5\, \dot{M} c (t_F - t_o) \text{ (kJ/d)} \quad (15)$$

Nach den Gleichungen (14) und (15) liegt der Gesamtwärmebedarf zum Teil erheblich über dem Wert des Verfahrens einer dem Faulturm vorgeschalteten Pasteurisieranlage Gleichung (10), obwohl im Nacheindicker eine Volumenverringerung des Schlammes von rund 50 % angesetzt wurde.

5. Beispiel

Schlammbehandlung einer Kläranlage
Schlammenge 200 m³/d (~200 t/d), Faulturm 5000 m³, K_F = 1000 kJ/m³ d; Nacheindicker 5000 m³,

Rohschlammtemperatur	10 °C
Pasteurisiertemperatur	70 °C
Faulraumtemperatur	37,5 °C

Der Wärmebedarf entspricht für die normale Faulraumbeheizung

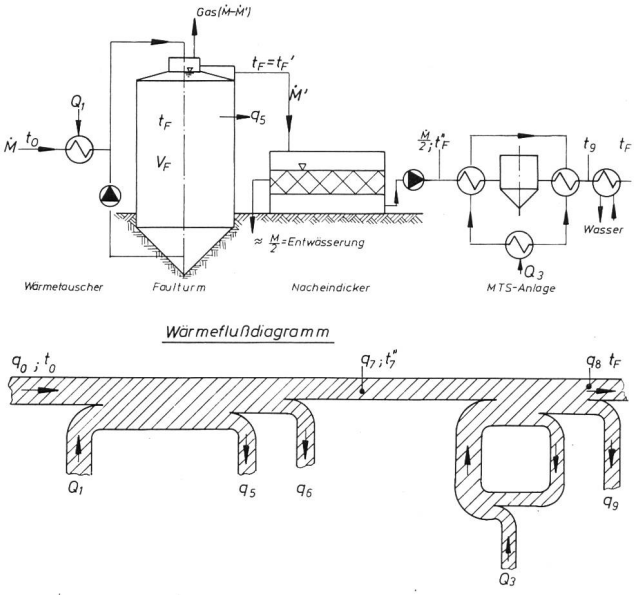
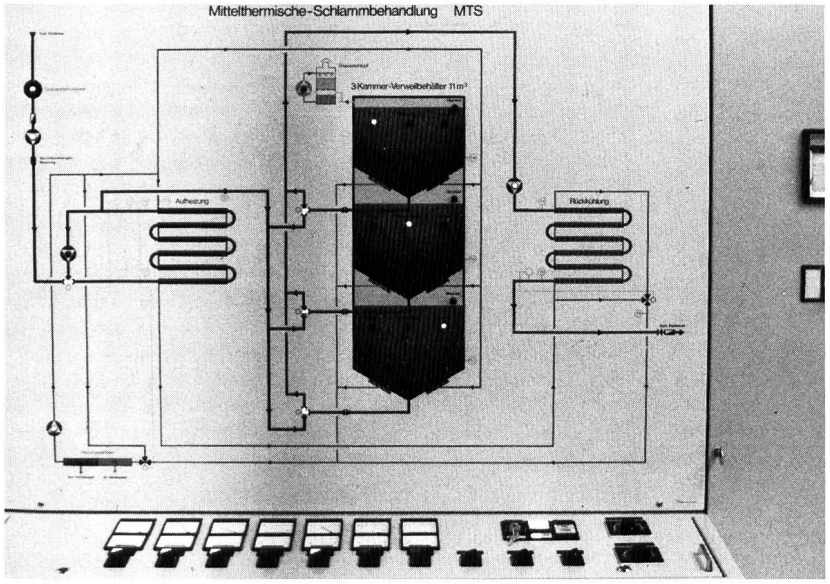
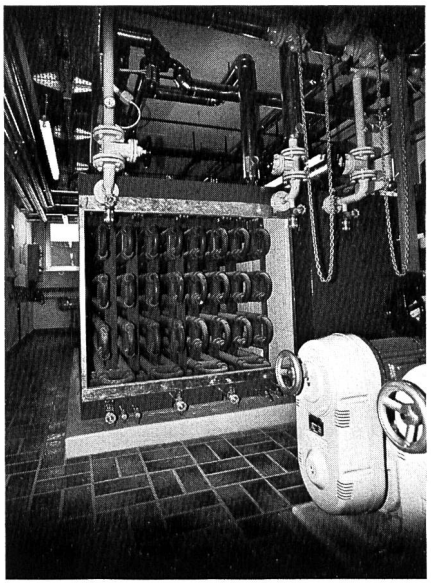


Bild 4. Schalt-Schema und Wärmeflussdiagramm einer Faulturmanlage mit Nacheindicker und nachgeschalteter Pasteurisieranlage als Endstufe.

ohne Pasteurisierung nach Gl. (5)	27,99 · 10⁶ (kJ/d)	≙ 100 %
die *vorgeschaltete* Pasteurisierung (MTS-Verfahren) und Faulraumbeheizung nach Gl. (10)	27,99 · 10⁶ (kJ/d)	≙ 100 %
die Faulraumbeheizung und *nachgeschaltete* Pasteurisierung ohne Temperaturverlust im Eindicker nach Gl. (14)	33,21 · 10⁶ (kJ/d)	≙ 119 %
mit Temperaturverlust im Eindicker bis auf Rohschlammtemperatur nach Gl. (15)	39,48 · 10⁶ (kJ/d)	≙ 141 %

Bild 5, links. Schaltschrank der Mittelthermischen Schlammbehandlungs-Anlage in Betrieb auf der Kläranlage Au-St. Gallen.
Bild 6, rechts. Wärmetauscher I (geöffnet) der MTS-Anlage Kläranlage Bogen (D). (Fotos: Metallwerk AG Buchs, 9470 Buchs SG)





Erklärung der Formelzeichen

Q_A	(kJ)	dem Prozess zugeführte Wärme
Q_V	(kJ)	aus dem Prozess abgeführte Wärme
q_5	(kJ/d)	Verlustwärme Faulturm
q_6, q_8, q_9	(kJ/d)	Verlustwärme innerhalb des Prozesses
V_F	(m^3)	Faulraumvolumen
K_F	($KJ/m^3 \cdot d$)	thermische Faulraumkonstante
t_o	(°C)	Rohschlammtemperatur
t_3	(°C)	Temperatur hinter Vorwärmung
t_p	(°C)	Pasteurisiertemperatur
t_4	(°C)	Temperatur hinter Vorpasteurisierung
t_9	(°C)	Temperatur hinter Nachpasteurisierung
t_F	(°C)	Faulraumtemperatur
t'_F	(°C)	Ablauftemperatur Faulraum
t''_F	(°C)	Ablauftemperatur Nacheindicker
$\dot{M}$	(m^3) $\sim$ (t)	Masse Rohschlamm
$\dot{M}'$	(m^3) $\sim$ (t)	Masse ausgefaulter Schlamm
	$\cong$	Masse entwässerter Schlamm
c	(kJ/t °C)	spezifische Wärmekapazität (für Schlamm $\sim$ 4180 kJ/t °C)

Literatur:

[1] Verschiedene Anmelde- und Patentschriften des MTS-Verfahrens der Klöckner-Werke AG, Osnabrück.

[2] L. Görlich: Beitrag zu Untersuchungen über das anaerobe Faulverhalten von pasteurisiertem Klärschlamm. Erscheint in «gwf», Heft 5/1978, Verlag Oldenbourg, München.

[3] L. Görlich: Die mittelthermische Behandlung von Roh-Klärschlamm als wirtschaftlich ausgewogenes Verfahren zur Verbesserung der anaeroben Faulung und seuchenhygienischen Unbedenklichkeit von Faulschlamm. Erscheint demnächst.

Adresse des Verfassers:
Lothar Görlich, Osnabrücker Strasse 37, D - 4503 Dissen

Der Verfasser ist der Erfinder des Verfahrens der mittelthermischen Klärschlammbehandlung (Frischschlamm-Pasteurisierung mit nachgeschalteter Faulung und Wärmerückgewinnung, System Klöckner), das in der Schweiz und in Österreich von der Metallwerk AG Buchs in Lizenz gebaut wird. Eine Anlage nach diesem Verfahren ist auf der Kläranlage St. Gallen-Au in Betrieb.

MITTEILUNGEN VERSCHIEDENER ART

Literatur

Rheinnot in Liechtenstein. Gedenkschrift zum 50. Jahrestag der Rheinüberschwemmung von 1927. Selbstverlag der Gemeinden Eschen, Gamprin, Mauren, Ruggell, Schaan und Schellenberg; Vaduz 1977, 174 S., zahlr. Photos, 22 x 25 cm.

Am 25. September 1927 ereignete sich am Rhein eine Hochwasserkatastrophe, die für das Fürstentum Liechtenstein das Ausmass eines Landesunglücks annahm. Durch einen Dammbruch bei Schaan verliess der Rhein sein Bett und überflutete beinahe die Hälfte der liechtensteinischen Rheinebene. Aus Anlass des 50. Jahrestages der grossen Rheinüberschwemmung haben die damals betroffenen Gemeinden ein reich bebildertes Erinnerungsbuch in schöner Aufmachung herausgegeben.

In einem ersten Abschnitt wird eine kurze geschichtliche Übersicht über die Rheinnöte und Rheinverbauungen seit 1206 gegeben. Nach diesen Ausführungen bestanden die ersten Wehrbauten aus unkoordinierten Selbsthilfemassnahmen der beidseitigen Rheinanstösser. Seit Ende des 19. Jahrhunderts wird der Rhein gemeinsam und systematisch verbaut. Trotzdem aber kam es zur Hochwasserkatastrophe von 1927, deren Verlauf in Wort und Bild beschrieben wird.

Der grössere Teil des Buches widmet sich Berichten und Erlebnissen aus den beteiligten Dörfern. Zum Teil recht packende Schilderungen der Betroffenen beschwören die während der Unglückstage herrschende Atmosphäre herauf. Das Buch legt auch Zeugnis ab von einer spontanen, weltweiten Hilfsbereitschaft von Regierungen, österreichischem und schweizerischem Militär, Privatpersonen und Jugendorganisationen.

Obwohl dem Ortsunkundigen das Fehlen eines Übersichtsplanes etwas als Mangel erscheinen wird, so zeigt das Buch doch in Wort und mit sehr viel Bildern in eindrucksvoller Weise die Ohnmacht der Menschen gegenüber der Gewalt des ausgebrochenen Rheins.

Es wird dargelegt, wie die Katastrophe den Menschen herausgefordert hat, nicht nur die eingetretenen Schäden zu beheben, sondern gleichzeitig die überschwemmten ursprünglichen Moor- und Streueböden in fruchtbare Äcker umzuwandeln.

Das vorliegende Buch ist für alle Freunde und Kenner des Rheintales ein sehr interessantes Dokument. G. Peter, Zürich

Ermittlung und Untersuchung der schutzwürdigen und naturnahen Bereiche entlang des Rheins (schutzwürdige Bereiche im Rheintal). Von H. Solmsdorf, W. Lohmeyer und W. Mrass. Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz, Heft 11, Bonn-Bad Godesberg, 1975. Textband 186 Seiten, Kartenband 5 Uebersichtskarten, 160 Einzelkarten. Zu beziehen beim Landwirtschaftsverlag GmbH., Postfach 480 210, D-44 Münster-Hiltrup. Preis 65 DM.

Längs des Rheinstromes vom Bodensee bis zur niederländischen Grenze wurde der Umfang der Belastung durch menschliche Eingriffe im Ufer- und Talbereich erfasst und die Gebiete ermittelt, die vor weiteren Eingriffen geschützt werden sollen. Ziel der Arbeit ist die Ausweisung eines klassifizierten Systems von ökologisch wertvollen Schutzbereichen oder für die Erholung bedeutsamen Freiflächen. Die Untersuchung erwies sich als notwendig, weil die Zustände allgemein beklagt werden, jedoch exakte Unterlagen kaum vorhanden waren. Es wurde der Versuch unternommen, den Zustand der Talaue der gesamten Rheinstrecke innerhalb der Bundesrepublik Deutschland zu untersuchen und zu bewerten. EA

Baggerseen — Bestandsaufnahme, Hydrologie und planerische Konsequenzen. Von Dipl.-Ing. Eiko Lübbe. «Schriftenreihe des Kuratoriums für Wasser und Kulturbauwesen», Heft 29. 1977. 214 Seiten mit 59 Abbildungen und 25 Tabellen. Format 15 x 21 cm. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin. Kartoniert 30 DM.

In detaillierter, wissenschaftlicher Weise befasst sich der Verfasser mit Bestandesaufnahme, Hydrologie und planerischen Konsequenzen an Baggerseen für Sand- und Kiesgewinnung in der Bundesrepublik Deutschland. Er will hiermit den Einfluss der Baggerseen auf die Umwelt und das Grundwasser darlegen, zu planerischen Massnahmen anregen, die Rechtslage in Deutschland aufzeigen und somit den Genehmigungsbehörden Richtlinien an die Hand geben. Der Einfluss auf das Grundwasser wird gründlich untersucht und es wird gezeigt, dass bei Beachtung der verschiedenen Gesichtspunkte unkorrigierbare Schäden vermieden werden können. Die vergleichende Beschreibung der in den einzelnen Bundesländern recht verschiedenen gesetzlichen Regelungen zeigt, dass eine koordinierende Angleichung der Vorschriften für Antragsteller und Genehmigungsbehörde