Zeitschrift: Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie

Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Band: 59 (1967)

Heft: 12

Artikel: Die Verunreinigung des Rheins von seinen Quellenflüssen bis zum Bodensee

Autor: Märki, Erwin / Jaag, O.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-921011

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: 25.12.2025

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

DIE VERUNREINIGUNG DES RHEINS VON SEINEN QUELLFLÜSSEN BIS ZUM BODENSEE

DK 628.31

Bericht über die chemischen Untersuchungen vom 22. bis 24. Februar und 9./10. November 1965. Im Auftrage des Rheinverbandes verfasst von Dr. Erwin Märki, Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz an der ETH (Direktion Prof. Dr. O. Jaag) und seit 1966 Gewässerschutzamt des Kantons Aargau.

ANMERKUNG: Der ausführliche Originalbericht über diese Untersuchungen wird ab Frühjahr 1968 in beschränkter Anzahl beim Eidg. Amt für Gewässerschutz, bei den Kantonen Graubünden und St. Gallen, beim Fürstentum Liechtenstein, beim Lande Vorarlberg, beim Rheinverband und bei der Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz zur Einsicht aufliegen.

INHALTSVERZEICHNIS

Vorwort
A. Einleitung
B. Zweck der Untersuchung
C. Untersuchungsprogramm und Organisation
D. Untersuchungsmethodik
E. Durchführung der Untersuchung
F. Wasserführung des Alpenrheins und seiner wichtigsten Zuflüsse
G. Bevölkerung und Industrie im Einzugsgebiet des Alpenrheins
H. Wasserkraftwerke
J. Untersuchungsergebnisse Winterkurorte an Plessur, Landwasser und Landquart (22. bis 24. Februar 1965)
K. Daueruntersuchung am gesamten Alpenrhein (9./10. November 1965)
L. Frühere Untersuchungen
M. Nährstoffbilanzen und Nährstoffzufuhr
N. Gewässerschutzmassnahmen Stand November 1965
O. Zusammenfassung
P. Schlussfolgerungen
Q. Literaturverzeichnis

Vorwort

Im Einzugsgebiet des Rheines oberhalb des Bodensees, des Alpenrheines, der sich bei Reichenau in die zwei grossen Quellflussgebiete von Vorderrhein und Hinterrhein aufteilt, entwickelte sich im Gegensatz zu andern Landesteilen die Wirtschaft als Folge der Industrialisierung nur zögernd. Demzufolge erreichte die prozentuale Bevölkerungszunahme in den letzten 20 Jahren nur einen Drittel resp. knapp die Hälfte derjenigen des Kantons Zürich beispielsweise. Erfreulich stark dagegen konnte sich der Fremdenverkehr ausweiten, was in den bekannten Kurorten zu saisonalen Schwerpunkten von Feriengästen führt, mit all ihren wirtschaftlichen Vorteilen für die Bevölkerung, den günstigen gesundheitlichen Auswirkungen für die Gäste und den nachteiligen Folgen für die öffentlichen Dienstleistungsbetriebe und die Abfallbeseitigung.

Die Industrie fand geeignete erschlossene Baugebiete in erster Linie im Tiefland. Sie rekrutiert ihren Personalbestand zum grossen Teil aus den Reserven in den angrenzenden Dörfern, aber auch aus den Gebirgstälern.

Wo Topographie und Verkehrsträger der Industrialisierung Schranken der Entwicklung auferlegen, herrschen Viehzucht und Alpwirtschaft als wichtigster Erwerbszweig.

In den Talebenen und den angrenzenden Hanggebieten, die noch nicht der Industrie erschlossen sind, wird bis zu einer gewissen Höhenlage Intensivackerbau getrieben sowie der Obst- und Weinbau gepflegt.

Es kristallisieren sich immer mehr wichtige und interessante Zentren heraus. Von diesen darf wohl Chur in kultureller Hinsicht als die bedeutendste Agglomeration gelten. Im Bündner Oberland dominieren Disentis und Ilanz — die erste Stadt am Rhein — und auch der Kurort Flims. Einige wenige Industrien bieten Arbeitsplätze auch in ländlichen Gegenden. Am Hinterrhein liegen, mit Ausnahme von Thusis, keine bedeutenden Zentren. Dagegen ragen aus einer Anzahl Siedlungen an Nebenflüssen die Kurorte Davos, Bergün und Lenzerheide heraus. Der einheimische Rohstoff Holz bringt zahlreichen Arbeitskräften Brot und Verdienst. Im Schanfigg beherrscht der wohlbekannte Kurort Arosa das Tal, während im benachbarten Prättigau sich Schiers und Klosters in die Zentrumsbildung teilen. Die Region Domat-Ems hat sich in den letzten 25 Jahren zum eigentlichen Industrieschwerpunkt des Rheintales entwickelt. Um Ragaz-Sargans beginnt eine Belebung, die zu einem neuen kulturellen Zentrum führen kann; mehrere neue Industrien profitieren von den guten Verkehrsverbindungen. Im mittleren Rheintal sind sowohl im Raume Vaduz als auch in Buchs nicht unbedeutende Ausweitungen der Industrien im Gange. Das Land Vorarlberg wird in dieser Entwicklung nicht abseits stehen. Die Bevölkerungszunahme ist recht gross, was auf eine wesentliche Steigerung der Industrialisierung zurückzuführen ist. Und schliesslich kann das gleiche auch vom unteren Rheintal berichtet werden.

Wenn die wasserwirtschaftlichen Probleme naturgemäss in den grossen Wirtschaftszentren in der übrigen Schweiz zuerst akut wurden, so verschlechterte sich doch auch der Zustand des Alpenrheines und seiner Nebenflüsse in den letzten Jahren. Dem Bodensee kommt immer mehr die Rolle eines bedeutenden Reservoirs für die Versorgung der Anliegergemeinden mit Trinkwasser zu; sogar weiter abgelegene Siedlungs- und Industrieräume stützen sich auf den Bodensee als Basis für ihre Wasserbeschaffung. Auch aus diesen Gründen muss dem Gewässerschutz des Bodensees besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden. Mit einem grossen finanziellen Aufwand wird versucht, den Ursachen der zunehmenden Eutrophierung des Sees auf die Spur zu kommen, um auf Grund der Ergebnisse die notwendigen Massnahmen zur Abwasserbeseitigung zu planen und zu realisieren, und man hofft damit den fortschreitenden Eutrophierungsprozess aufzuhalten.

Abwasserreinigungsanlagen werden in allen Ländern im Einzugsgebiet des Alpenrheins geplant, einzelne stehen bereits in Betrieb. Man darf daher annehmen, dass der Rhein heute seinen ungünstigsten chemisch-biologischen Zustand erreicht hat, sofern die weitere Industrialisierung von der gleichzeitigen Abwassersanierung abhängig gemacht wird.

Der Rheinverband betrachtete deshalb den Zeitpunkt als gegeben, den gesamten Alpenrhein einer grossangelegten Daueruntersuchung zu unterwerfen und eine wasserwirtschaftliche Bestandesaufnahme vorzunehmen.

Die finanziellen Beiträge von Bund, Kanton Graubünden, Kanton St. Gallen, Fürstentum Liechtenstein, Land Vorarlberg, Rheinverband und der Stiftung der Wirtschaft zur Förderung des Gewässerschutzes in der Schweiz ermöglichten erst die Durchführung der umfangreichen Erhebungen, die Ausarbeitung des Schlussberichtes und die Drucklegung dieses Kurzberichtes. Den Behörden, Verwaltungen und weiteren Institutionen sei an dieser Stelle für die tatkräftige Unterstützung recht herzlich gedankt.

A. Einleitung

Das Bundesgesetz vom 16. März 1955 über den Schutz der Gewässer gegen Verunreinigung setzt die Zuständigkeit zur Einleitung der Sanierungsmassnahmen in Art. 6 fest:

> «Die Verhinderung künftiger Verunreinigung und die Beseitigung bestehender Missstände obliegt den Kantonen und steht unter der Aufsicht des Bundes.»

Weiter wird in Art. 10 umschrieben, dass der Bund durch eigene Arbeiten und Unterstützung der Tätigkeit Dritter die Forschung und Versuche zum Schutze der Gewässer gegen Verunreinigung sowie die systematische Untersuchung von Seen und Flussgebieten unterstütze. In verdankenswerter Weise haben schon früher Wasserwirtschaftsverbände und Gewässerschutzämter die Initiative zu grossangelegten Untersuchungen ganzer Flussregionen ergriffen (vgl. Literaturverzeichnis), damit der heutige Zustand der Gewässer zahlenmässig festgehalten werden kann.

Das Bundesgesetz (BG) ist nun seit 12 Jahren und die dazu gehörige Vollziehungsverordnung (VVO) vom 28. Dezember 1956 seit 11 Jahren in Kraft gesetzt, und zahlreiche schweizerische Kantone haben inzwischen, einzelne schon früher, mit der Realisierung der Gewässerschutzmassnahmen begonnen, indem sie neben der Errichtung einer kantonalen Fachstelle (Art. 3 der VVO) auch eine kantonale Planung von Gewässerschutzanlagen in die Wege leiteten. Erfahrungsgemäss ist die Verwirklichung von Gewässerschutzanlagen, insbesondere von regionalen Anlagen sehr zeitraubend, und in zahlreichen Einzugsgebieten von Flusssystemen stehen die Massnahmen für den Gewässerschutz erst im Anfangsstadium (vgl. Abschnitt N). Es ist deshalb von hohem praktischen und wissenschaftlichen Interesse, den heutigen Zustand der Gewässer zu kennen, insbesondere denjenigen Zustand, der im allgemeinen die ungünstigsten Verhältnisse hinsichtlich der Verunreinigung darstellt. Im Laufe der nächsten 10 bis 20 Jahre werden voraussichtlich die heute bestehenden Lücken in den Gewässerreinhaltemassnahmen systematisch geschlossen, was einer stetigen Verbesserung der chemisch-biologischen Bilanz in den Gewässern ruft. Auch lassen sich unter Berücksichtigung der Planung der Abwasseranlagen und der Bevölkerungsentwicklung Prognosen für die zukünftige Beschaffenheit der Gewässer aufstellen und nach der Wiederholung der gleichen Untersuchung in einigen Jahren auch die Auswirkungen der Abwasseranlagen auf die Vorflut überprüfen.

Im Frühjahr 1964 wurden auf Anregung des Rheinverbandes und unter dessen Patronat der Rahmen der Untersuchung, die Zahl der Probenahmestellen und die Verteilung auf die an der Untersuchung beteiligten Kantone St. Gallen und Graubünden und die Länder Fürstentum Liechtenstein und Vorarlberg sowie die mutmasslichen Kostenbeiträge festgelegt. Zu ihrer finanziellen Entlastung bewilligte der Bund einen Beitrag von 40 Prozent für die Finanzierung der Untersuchungen und die Veröffentlichung der Ergebnisse. Auch die Stiftung der Wirtschaft zur Förderung des Gewässerschutzes in der Schweiz unterstützte diese Massnahme durch einen namhaften Beitrag.

Die technischen Vorbereitungen wurden durch das Meliorations- und Vermessungsamt des Kantons Graubünden in enger Fühlungnahme mit der Kantonspolizei und dem Stadtbauamt von Chur, von der Rheinbauleitung zusammen mit dem Kantonalen Amt für Gewässerschutz in St. Gallen, vom Bauamt Fürstentum Liechtenstein Vaduz und dem Landeswasserbauamt Bregenz vorgenommen. Die chemische Abteilung der Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG) übernahm die chemisch-bakteriologischen Untersuchungen aller Probenahmestellen im Kanton Graubünden, während das kantonale Labor St. Gallen die entsprechenden Probenahmestellen im Unterlauf des Rheins bearbeitete.

Recht kompliziert gestaltet sind die Abflussverhältnisse im Rheineinzugsgebiet, bewirtschaften doch zahlreiche Kraftwerkunternehmungen das Rheinwasser und einen grossen Teil der Zuflüsse.

Um das für die Probenerhebung eingesetzte Personal nicht unnötig Gefahren auszusetzen, war es notwendig, alle Probenahmestellen auf ihre Tauglichkeit für eine 24stündige Daueruntersuchung zu prüfen. Unter Berücksichtigung der hydrologischen, meteorologischen, personellen und finanziellen Verhältnisse kamen die Untersuchungen schliesslich am 22. bis 24. Februar 1965 und am 9./10. November 1965 zur Durchführung.

Vorgängig führte die chemische Abteilung der EAWAG im Auftrag der internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee vom Mai 1964 bis August 1965 in insgesamt 10 Untersuchungsserien an 35 Kontrollstellen am Alpenrhein weitere chemische Wasseruntersuchungen durch, und zwar mit der Aufgabe, die Herkunft der eutrophierenden Stoffe im Rhein festzustellen, nachdem Zuflussuntersuchungen aus dem Jahre 1961 die grosse Bedeutung des Rheins bezüglich der Gesamtfracht an den Grundnährstoffen Phosphor und Stickstoff aufgezeigt haben.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind, in einem ausführlichen Bericht an die Gewässerschutzkommission Bodensee zusammengefasst, im Frühjahr 1967 eingereicht und im Mai 1967 von den Delegierten genehmigt worden. Im vorliegenden Bericht werden selbstverständlich, soweit als wünschbar, auch diese Untersuchungen vom Mai 1964 bis August 1965 mitverwendet, denn die Daueruntersuchungen vom 22. bis 24. Februar 1965 und vom 9./10. November 1965 erfahren durch die Untersuchungen bei Hoch- und Niederwasser bei verschiedenen Jahreszeiten eine willkommene und wertvolle Ergänzung.

B. Zweck der Untersuchung

Daueruntersuchungen an Gewässern dienen im allgemeinen der Abklärung folgender Probleme:

1. Von der chemisch-biologisch-bakteriologischen Untersuchung eines Gewässers erwartet man Auskunft über seinen momentanen Verunreinigungszustand. Die Ergebnisse sollen aufzeigen, an welchen Stellen ein Gewässer mit Schmutzstoffen, mitunter auch mit Giftstoffen, belastet wird, und welche hygienischen Gefahren daraus der Bevölkerung erwachsen, die dieses Wasser nutzt und mit ihm deshalb in Berührung kommt.
2. Man soll ermitteln können, welche Siedlungen und Industrien ein Gewässer in unzulässiger Weise belasten.
3. Auf der Ermittlung des status quo der Gewässer liegt ein besonderes Gewicht, denn auf dieser Basis kann zu einem späteren Zeitpunkt, nachdem die Abhilfemassnahmen wirksam geworden sind, festgestellt werden, wie weit sich ein Gewässer wieder erholt hat, und ob die seinerzeit geförderten Abwasserreinigungsanlagen zweckmässig geplant, richtig dimensioniert worden sind und vor allem optimal betrieben werden.

4. Daueruntersuchungen über 24 Stunden lassen überdies die Tagesschwankungen der Belastung der Gewässer erkennen, die einerseits von den klimatischen Faktoren, anderseits aber von der sich verändernden Abwassermenge abhängig sind. Die üblichen sogenannten Längenprofiluntersuchungen im Sinne der fliessenden Welle, wie sie vom Mai 1964 bis August 1965 ausgeführt wurden, lassen dagegen nur einen Momentanzustand der Gewässer erfassen, vermögen hingegen keine Hinweise zu geben über die täglich wiederkehrenden Verunreinigungsspitzen. Nur Profiluntersuchungen, die im Verlaufe einer Zeitperiode wiederholt durchgeführt werden und bei denen die Probenahmen zeitlich gestaffelt sind, erlauben einen Einblick in die Konzentrationsschwankungen der Verschmutzungsindikatoren.

5. Da in der Schweiz in den meisten Fällen letztlich der Stimmbürger über den Ausbau von Abwasserreinigungsanlagen zu entscheiden und so auch zusammen mit Industrie und Gewerbe die nötigen Kredite zu bewilligen hat, dürfen Volk, Behörden, Industrie und Gewerbe Anspruch darauf erheben, über die Notwendigkeit und die Dringlichkeit der Sanierungsmassnahmen orientiert zu werden.

C. Untersuchungsprogramm und Organisation; Wahl der Untersuchungsstellen

Die vorbereitende Kommission des Rheinverbandes hat die Probenahmestellen im Einvernehmen mit den zuständigen kantonalen Aemtern nach folgenden Gesichtspunkten festgelegt:

1. SCHWERPUNKTUNTERSUCHUNGEN UNTERHALB VON WINTERKURORTEN

1.1. Plessur 23./24. Februar 1965 bei der Kehrichtdeponie, nach der Aufnahme der gesamten Abwasser von Arosa bei Hochsaison.

1.2. Landwasser 22./23. Februar 1965 bei der Strassenbrücke Islen, nach der Aufnahme der gesamten Abwasser von Davos bei Hochsaison, vor ihrer Sedimentation im Stauweiher in Glaris.

1.3. Landquart 22./23. Februar 1965 beim Bad Serneus, nach der Aufnahme der gesamten Abwasser von Klosters bei Hochsaison.

1.4. Einzelproben als Vergleich mit der Grossuntersuchung aus der Plessur (Sand) oberhalb Chur und am Rhein bei Ragaz.

2. GROSSUNTERSUCHUNG IM GESAMTEN RHEINGEBIET OBERHALB DES BODENSEES
9./10. November 1965

2.1 VORDERRHEIN UND ZUFLÜSSE

Stelle Nr. 1 Vorderrhein im Quellgebiet

Der Vorderrhein setzt sich im Gebiet des Oberalpsees aus verschiedenen Quellbächen zusammen, wovon der wichtigste aus dem Tomasee stammt. Der Bau der Staumauer Curnera brachte es mit sich, dass zur Zeit der Untersuchungen diese Quellbäche zum Teil mit häuslichem Abwasser vorbelastet waren; es wurden deshalb die Wasserproben von zwei Quellbächen gefasst, die ausserhalb von menschlichen Verunreinigungen lagen.

Stelle Nr. 2 Vorderrhein unterhalb Disentis (Madernal)

Diese Kontrollstelle soll die Belastung des Vorderrheins mit häuslichem Abwasser aus dem Tujetsch (Tavetsch) und aus der grossen Ortschaft Disentis zeigen. Das Wasser verschiedener Quellbäche und aus den Stauseen Curnera (erst seit 1966) und Nalps sowie ab 1968 auch dasjenige aus dem Einzugsgebiet des Reno de Medel und dem Stausee Sta. Maria am Lukmanierpass wird in der Zentrale Sedrun genutzt und in einem Druckstollen zusammen mit dem Wasser aus dem unteren Teil des Medelser Rheins und dem Reno de Somvitg nach der Zentrale Tavanasa geleitet. Diese Wasserableitung hat zur Folge, dass der Vorderrhein zu bestimmten Jahreszeiten unterhalb von Disentis nur einen Bruchteil der natürlichen Wasserführung zeigt. Dementsprechend dürften sich in diesem Raum die Beeinflussungen der ungereinigten Abwässer in verstärktem Ausmasse bemerkbar machen.

Stelle Nr. 3 Vorderrhein oberhalb Ilanz bei Strada (Eisenbahnbrücke)

An dieser Kontrollstelle sind die gesamten Wassermengen des Vorderrheins, die in irgendeiner Weise bewirtschaftet werden, wieder beisammen. Die baulichen Massnahmen im Flussbett im Tavetsch verursachten zwar eine dauernde Trübung, was das chemisch-physikalische Bild etwas verfälschen könnte.

Stelle Nr. 4 Glenner bei der Strassenbrücke Ilanz

Das relativ dicht besiedelte Valsertal ist durch den Bau der Zervreilakraftwerke eines Teils seines natürlichen Abflusses beraubt worden, was die Abwasser-Vorfluterverhältnisse nachteilig beeinflussen könnte. Zudem führt der Glenner aus dem Vrin-Tal sehr häufig grössere Geschiebemengen mit sich, die den chemischen Charakter des Wassers durch Adsorptionsvorgänge wesentlich verändern können.

Stelle Nr. 5 Vorderrhein (Reichenau beim Zusammenfluss mit dem Hinterrhein)

Obschon ein Teil des Vorderrheinwassers über die Kraftwerkgruppe Zervreila-Rothenbrunnen die Abflussverhältnisse des Hinterrheins verbessert, so ist kaum zu erwarten, dass im allgemeinen der chemische Charakter des Vorderrheins durch diese Massnahme wesentlich verändert worden ist.

2.2 HINTERRHEIN UND ZUFLÜSSE

Stelle Nr. 6 Hinterrhein (oberhalb der Baustelle für den San Bernardinotunnel)

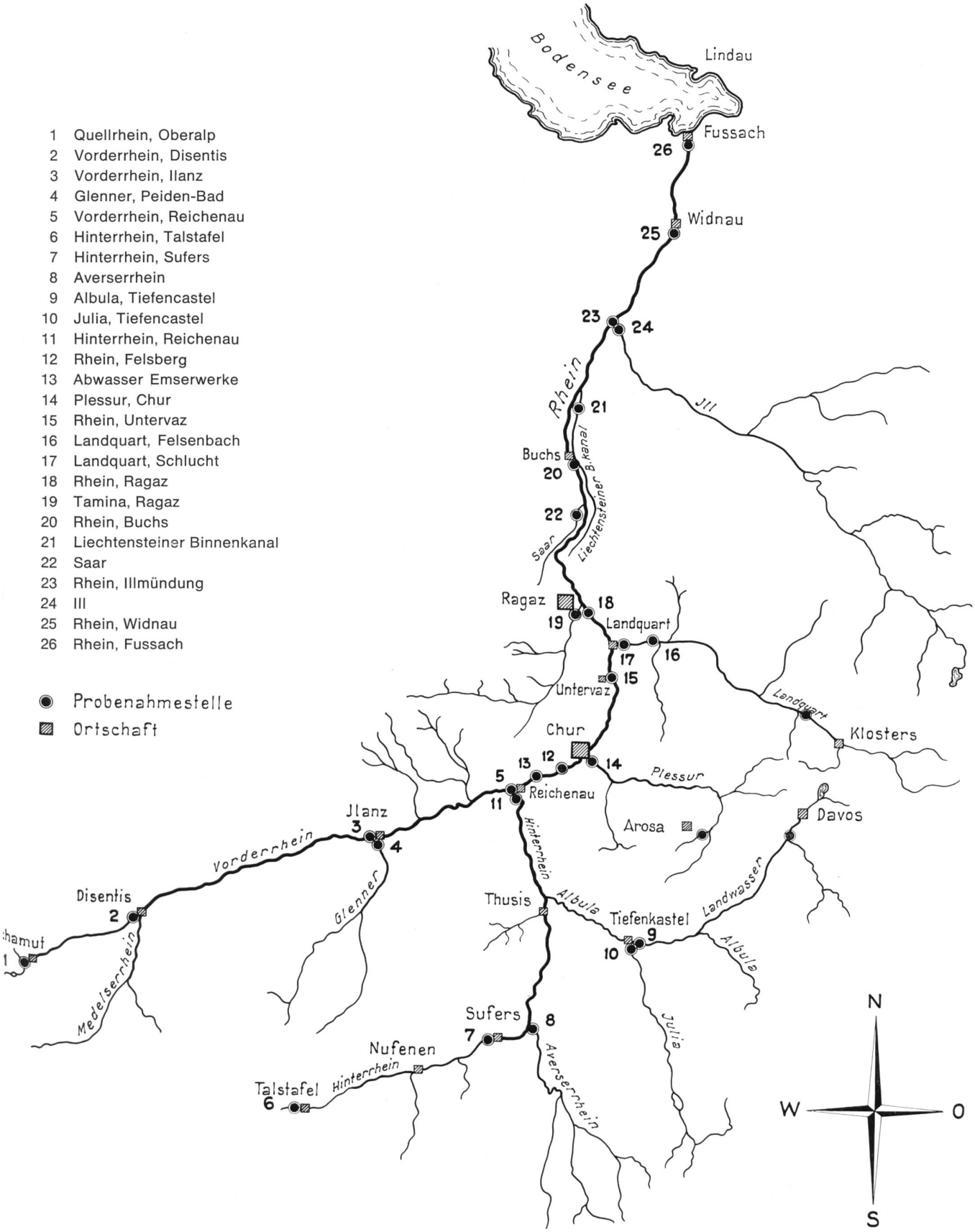
Das Wasser des Hinterrheins dürfte hier noch nicht durch Abwässer vorbelastet sein und noch seinen natürlichen Charakter im Abfluss und Chemismus beibehalten.

Stelle Nr. 7 Hinterrhein (vor dem Stausee Sufers, neue Strassenbrücke)

Je nach Stand des Wassers im Stausee liegt das Rheinbett bei der Strassenbrücke im Rückstau oder in der Fliesszone. Man erfasst an dieser Stelle die Abwässer der Talgemeinden in ihrem vollen Umfang, da noch keine Flusswasserumleitungen den Abflusscharakter verändern.

Stelle Nr. 8 Averserrhein (unterhalb Innerferrera beim Ueberlaufwerk in den Stauraum Sufers)

Bild 1 Der Alpenrhein und seine wichtigsten Zuflüsse von den Quellen bis zum Bodensee.
Lage der Probenahmestellen für die chemischen Untersuchungen vom 22. bis 24. Februar (Davos, Arosa, Klosters) und vom 9./10. November 1965 (Nrn. 1 bis 26).



Im grossen Speichersee Valle di Lei werden die Abflüsse im Quellgebiet des Averser- und des Madriserrheins gespeichert und über die Zentrale Ferrera dem Stausee Sufers und der Zentrale Bärenburg bei Andeer zugeleitet. An dieser Stelle konnte daher nicht eine korrespondierende Probe wie an anderen Punkten gefasst werden, sondern es entstand eine Mischprobe mit dem Charakter des ganzen Einzugsgebietes.

Stelle Nr. 9 Albula bei Tiefencastel oberhalb der Strassenbrücke

An dieser Kontrollstelle werden die Abwasserverhältnisse der Talschaft Davos über das Landwasser und auch des eigentlichen Albulatales mit Bergün und Filisur erfasst. Mit Ausnahme desjenigen Wassers, das über den Davosersee den Kraftwerken Klosters und Küblis zugeleitet wird, gelangen alle Wasser über die Kraftwerkgruppen im Einzugsgebiet der Albula schliesslich bei Tiefencastel wieder in die Albula.

Stelle Nr. 10 Julia beim EWZ-Kraftwerk Tiefencastel

Da nur noch ein geringer Anteil des Oberhalbsteins zwischen dem Ausgleichweiher Burvagn und Tiefencastel natürlich entwässert wird, wurden die Wasserproben aus dem Unterwasser des EWZ-Kraftwerkes Tiefencastel entnommen, gelangen doch alle Abwasser vom Julierpass bis und mit der untersten Talgemeinde Cunter über den Stau Burvagn zum Kraftwerk, während die Restwassermenge mit Abwasser nicht belastet sein dürfte.

Stelle Nr. 11 Hinterrhein in Reichenau beim Zusammenfluss mit dem Vorderrhein

Mit dem Zusatzwasser aus dem Zervreila- und Safiental und der Minderwasserführung aus der Ableitung in die Landquart dürfte sich der wahre chemische Charakter des Wassers des Hinterrheins nicht wesentlich verändert haben.

Die Stellen Nr. 5 und Nr. 11 bilden die Ausgangslage für die eigentliche Rheinstrecke bis zum Bodensee. Mit Hilfe der Wasserführungen und der chemischen Untersuchungen der Einzelflüsse kann die Zusammensetzung des Rheins bei Reichenau, vollständige Durchmischung vorausgesetzt, errechnet werden.

2.3 VEREINIGTER RHEIN UND ZUFLÜSSE

Stelle Nr. 12 Rhein bei Felsberg (Strassenbrücke)

An dieser Stelle hat der Rhein eine weitere Kraftwerkstufe überwunden (Reichenau I) und zugleich die Abwässer der grössten Industrieregion des bündnerischen Rheintales übernommen.

Stelle Nr. 13 Abwasser der Emserwerke AG in Ems

Aus dem Abwasserkanal der Emserwerke (vormals Hovag), vor seiner Mündung in den Stau des Kraftwerks Reichenau I, erfasst man die Menge und die Zusammensetzung des Abwassers aus dem bedeutenden Industriebetrieb der Chemiebranche.

Stelle Nr. 14 Plessur beim Krematorium oberhalb der Stadt Chur

Unterhalb des Kraftwerkes Sand fliesst die gesamte Wassermenge des Schanfiggs, mit dem bedeutenden Kurort Arosa am Oberlauf der Plessur, gesamthaft durch die Stadt Chur. Die gesamten Abwässer der Plessurgemeinden werden an dieser Stelle erfasst.

Stelle Nr. 15 Rhein bei Untervaz (Strassenbrücke zur Zementfabrik)

An dieser Kontrollstelle fliessen alle Abwässer aus dem nördlichen Teil des Kantons Graubünden, mit Ausnahme des Prättigaues, durch, und es können die gesamten Wassermengen ohne Einschränkung durch Ableitungen in andere Talschaften an dieser Stelle erfasst werden.

Stelle Nr. 16 Landquart oberhalb Papierfabrik

Da die Hauptwassermenge der Landquart in der Felsenschlucht in den Fabrikkanal der Papierfabrik abgezweigt wird, wurde die Probenahmestelle in den Oberwasserkanal des Kraftwerkes verlegt. An dieser Stelle wird die Gesamtabwassermenge der Prättigauergemeinden erfasst.

Stelle Nr. 17 Landquart unterhalb Papierfabrik

Eine Untersuchung der Abwasser der Papierfabrik Landquart an einem einzigen Sammelstrang war technisch nicht möglich, weshalb der Landquartkanal unterhalb der Fabrik beim Bahngeleise kontrolliert wurde. Die Differenz zum Oberwasserkanal ist auf die Belastung des Wassers durch Papierfabrikabwässer zurückzuführen.

Stelle Nr. 18 Rhein (Strassenbrücke Ragaz—Maienfeld)

An dieser Stelle verlässt der Rhein das Gebiet des Kantons Graubünden und wird nach kurzer Strecke zum Grenzgewässer zwischen dem Fürstentum Liechtenstein und dem Kanton St. Gallen. Die Kontrollstelle gibt den Zustand des Rheins, beeinflusst durch die Abwässer des Kantons Graubünden, wieder.

Stelle Nr. 19 Tamina vor der Mündung in den Rhein

Als bedeutendster Zufluss zum Rhein aus dem Gebiete des Kantons St. Gallen führt die Tamina die Abwässer aus dem Calfeisental und diejenigen von Ragaz dem Rhein zu.

Stelle Nr. 20 Rhein bei Buchs

Zwischen der Taminamündung und der Strassenbrücke in Buchs gelangen nur die Abwässer aus dem Gebiete von Sargans, Vilters und Mels über die Saar in den Rhein. Buchs und die übrigen Gemeinden entwässern in den Werdenberger Binnenkanal, von dem aus am Untersuchungstag das Wasser in den Rheintaler Binnenkanal übergeleitet wurde und den Rhein damit nicht belastete. Zwischen Ragaz und Buchs kann der Rhein daher praktisch als Selbstreinigungsstrecke betrachtet werden.

Stelle Nr. 21 Liechtensteiner Binnenkanal vor der Mündung in den Rhein bei Ruggell

Dieser Kanal übernimmt alle Abwässer des Fürstentums Liechtenstein und zeigt damit die Gesamt-Belastung an.

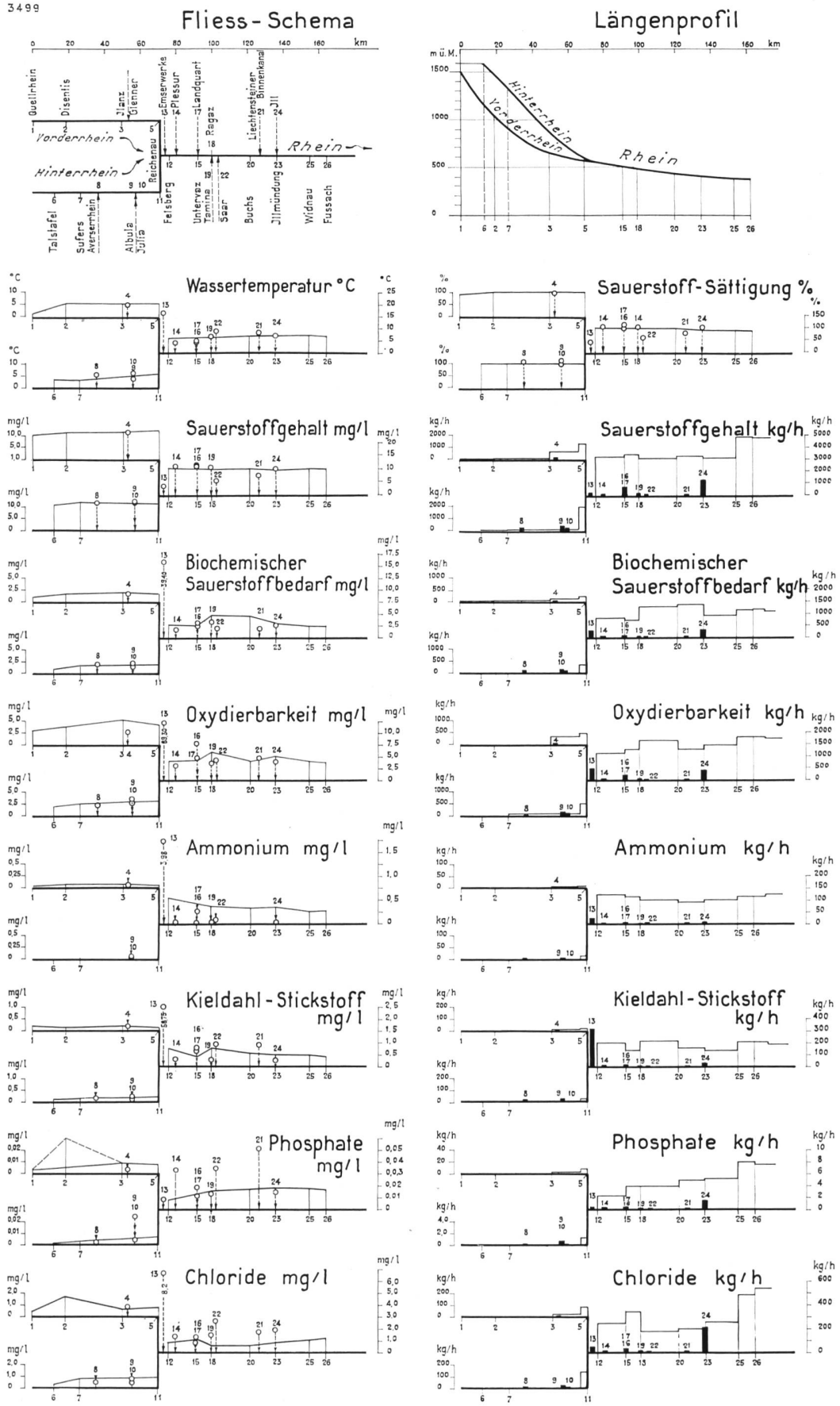
Stelle Nr. 22 Saar, in der Pumpstation zum Rhein

Da der Werdenberger Binnenkanal für die Untersuchung des Rheins auf seine Belastung wegen Ableitung in den Rheintaler Binnenkanal ausfiel, wurde als Ersatzuntersuchungsstelle die Saar eingesetzt, welche die Gegend um Sargans entwässert.

Stelle Nr. 23 Rhein vor der Illmündung

Der grösste Zufluss des Alpenrheins, die Ill, beeinflusst vermutlich mit ihrer chemischen Zusammensetzung das Rheinwasser in bedeutendem Ausmass. Es wurde deshalb die Zusammensetzung des Rheins unmittelbar vor der Mündung ermittelt, so dass die Mischung aus den Untersuchungen errechnet werden kann.

Bild 2 Ergebnisse der Daueruntersuchung vom November 1965 mit Fliess-Schema und Längenprofil.



Stelle Nr. 24 Ill vor der Mündung in den Rhein

Die Ill entwässert den grössten Teil des Landes Vorarlberg bis hinauf zum Arlberg und nimmt die Abwässer der zahlreichen Gemeinden auf. Im Einzugsgebiet der Ill, mit einzelnen Speicherseen, nutzen zahlreiche Kraftwerkstufen das grosse Gefälle aus.

Stelle Nr. 25 Rhein bei Widnau (Wiesenrhein)
Die Rheinstelle untersteht der Beeinflussung der Ill, während die

Stelle Nr. 26 Rhein bei Fussach
den Zustand des Rheins wiedergibt, so wie er in den Bodensee eintaucht.

D. Untersuchungsmethodik

Die folgenden chemischen Laboratorien teilten sich in die Untersuchung.

1. SCHWERPUNKTUNTERSUCHUNG 22. bis 24. Februar 1965. Chemische Abteilung der EAWAG, Zürich (Dr. E. Märki)
2. GROSSUNTERSUCHUNG IM GESAMTEN RHEINGEBIET 9./10. November 1965
   Stellen 1 bis 17 Chemische Abteilung der EAWAG, Zürich, unter Mitwirkung des kantonalen Labors, Chur (Dr. E. Märki und Dr. M. Christen)
   Stellen 18 bis 26 kantonales Laboratorium St. Gallen (Kantonschemiker Dr. E. Wieser)

An den Stellen 1 und 6 wurde nur alle vier Stunden je eine Probe gefasst, da keine zu grossen Schwankungen zu erwarten waren; an der Stelle 13 entnahm man aus technischen Gründen jede Stunde eine Probe und an allen übrigen Posten wurden alle 10 Minuten Wasserproben aus dem Gewässer geschöpft. Das Wasser aus je sechs Einzelproben ergab einstündige Mischproben, die nach einem bestimmten Turnus alle zwei bis vier Stunden in die entsprechenden Laboratorien geliefert wurden.

Die Analyse umfasste folgende Komponenten:

1. Temperatur des Wassers in Grad Celsius, an Ort und Stelle bestimmt.
2. Temperatur der Luft in Grad Celsius, an Ort und Stelle bestimmt.
3. Elektrische Leitfähigkeit $Ohm^{-1} \cdot cm^{-1} \cdot 10^{-6}$
4. pH-Wert (potentiometrisch im Labor).
5. Trübung mit Photometer (Messung der Durchsichtigkeit).
6. Schwebestoffe mg/l gravimetrisch Membranfilter.
7. Sauerstoff Winkler-Methode (an Einzelproben).
8. Sauerstoffzehrung 48 Std. Winkler-Methode.
9. Biochemischer Sauerstoffbedarf in 5 Tagen, Winkler-Methode an Einzelproben oder nach Verdünnung.
10. Oxydierbarkeit $KMnO_4$-Verbrauch nach Kubel-Tiemann.
11. Ammoniak Nessler-Reagens (photometrische Messung).
12. Nitrit, Diazomethode nach Gries-Ilosway (zum Teil photometrische Messung).
13. Nitrat, Salicylatmethode (photometrische Messung).
14. Kjeldahl-Stickstoff.
15. Phosphate, Meth. Ambühl, Zinnchlorür Molybdänblaureduktion.
16. Gesamtphosphor (Nassaufschluss).
17. Chloride (Mercurinitratmethode).
18. Gesamthärte mit Komplexon.
19. Karbonathärte (Titration mit Salzsäure gegen Methylorange).
20. Detergentien, Methylenblaureaktion auf anionenaktive Stoffe.
21. Sulfate, Bariumchloridfällung komplexometrisch.
22. Colikeime an stündigen Einzelproben (Membranfilter auf Endoagar).

E. Durchführung der Untersuchung

Für die Vorbereitung der Probenahmestellen, die Entnahme der Proben und ihren Transport in die Laboratorien waren die folgenden Amts- und Dienststellen besorgt:

KANTON GRAUBÜNDEN:
Meliorations- und Vermessungsamt
Vorsteher: Dipl. Ing. E. Schibli
Tiefbauamt der Stadt Chur
Kantonspolizei
Gemeindebauamt Arosa

KANTON ST. GALLEN:
Rheinbauleitung für St. Gallische Rheinkorrektion
Internationale Rheinregulierung Rorschach
Vorsteher: Oberingenieur Dipl. Ing. Hch. Bertschinger
Kantonales Amt für Gewässerschutz
Vorsteher: Dipl. Ing. B. Dix

VORARLBERG:
Landeswasserbauamt Bregenz
Leiter: Hofrat Dipl. Ing. H. Wagner

FÜRSTENTUM LIECHTENSTEIN:
Liechtensteinisches Bauamt Vaduz
Leiter: Dipl. Ing. Ospelt

EAWAG, ZÜRICH:
Chemische Abteilung

Die Gerätschaften zur Probenerhebung wurden teils durch die Bauämter zur Verfügung gestellt, teils durch das aufgebotene Personal selbst beschafft. Im allgemeinen waren pro Probenahmestelle vier Mann notwendig, die sich in Zweiergruppen nach ca. 6stündigem Einsatz ablösten. Diese Mitarbeiter rekrutierten sich aus dem Personal der Kantonspolizei, der Bauämter und der EAWAG. Die rund 100 Mann Personal wurden vor der Daueruntersuchung in ihre Aufgabe gründlich eingeführt und in der Handhabung der Geräte eingeübt. Jeder Posten führte über seine Arbeit Protokoll und wurde im Verlaufe der Daueruntersuchung von der Untersuchungsleitung mehrmals besucht.

Nachdem die September-Oktober Hochwasserstände des Rheins infolge guter Wetterlage in der zweiten Hälfte Oktober auf unter 100 m^3/s absanken, konnte am 7. November 1965 durch die EAWAG, im Einvernehmen mit den Kantonen Graubünden und St. Gallen sowie den Ländern Vorarlberg und Fürstentum Liechtenstein, die definitive Weisung zur Durchführung der ganzen Untersuchung auf den 9. November 1965 mit Beginn um 08.00 Uhr ausgegeben werden.

Die Untersuchung war vom Wetter begünstigt und konnte bis zum 10. November 1965 ca. 06.00 Uhr ohne Niederschläge und auch ohne Unfall durchgeführt werden. Alle Mitarbeiter haben mit einem erfreulichen Einsatz zum guten Gelingen der ausserordentlichen Unternehmung, sowohl im Freien als auch in den Laboratorien zum Teil mit einer Präsenz von über 24 Stunden, beigetragen.

Die drei Untersuchungen an den Winterkurorten Arosa, Davos und Klosters vom 22. bis 24. Februar 1965 erfolgten ausschliesslich durch Personal der chemischen Abteilung der EAWAG, und zwar bei ausgezeichnetem Wetter, aber sehr tiefen Nachttemperaturen, und konnten — abgesehen von einigen Proben, die durch Frosteinwirkung verloren gingen — gut unter Dach gebracht werden.

Die in den nachfolgenden Tagen in den einzelnen Laboratorien ermittelten Ergebnisse wurden fristgemäss dem

Berichterstatter der chemischen Abteilung der EAWAG zur Zusammenstellung und Ausarbeitung des Gesamtberichtes abgeliefert.

Vom Eidg. Amt für Wasserwirtschaft konnten die Ergebnisse der Wassermengenmessungen vor ihrer Drucklegung bezogen werden. Die Unternehmungen der zahlreichen im Einzugsgebiet des Rheins in Betrieb stehenden Kraftwerke stellten in verdankenswerter Weise zusätzliche Angaben über die Wassermengen an den Untersuchungstagen zur Verfügung.

F. Wasserführung des Alpenrheins und seiner wichtigsten Zuflüsse

Für die Auswertung der Resultate der chemischen Untersuchung standen im Einzugsgebiete des Alpenrheins 22 vom Eidg. Amt für Wasserwirtschaft (EAWW) bediente Limnigraphenstationen in Betrieb, von denen ein Teil der Messstreifen zur Ermittlung der Einzelwassermengen am 9./10. November 1965 zur Verfügung gestellt wurden.

Ferner übermittelten die folgenden Kraftwerke weitere Messergebnisse, aus denen schliesslich die Berechnungsgrundlagen für die Schmutzstofffrachten im Rhein erarbeitet werden konnten:

Nordostschweizerische Kraftwerke AG, Baden – Vorderrhein
Elektro-Watt Ingenieurunternehmung AG, Zürich – Hinterrhein
Kraftwerke Hinterrhein AG, Thusis – Hinterrhein
Elektrizitätswerk der Stadt Zürich – Julia
Kraftwerke Zervreila AG, St. Gallen – Valserrhein
Elektrizitätswerk der Landschaft Davos – Landwasser
AG Bündner Kraftwerke, Klosters – Landquart
Industrielle Betriebe der Stadt Chur – Plessur
St. Gallisch-Appenzellische Kraftwerke AG, St. Gallen – Rheintaler Binnenkanal
Bauamt Liechtenstein Vaduz – Liechtensteiner Binnenkanal
Landeswasserbauamt Bregenz – Ill

Leider konnten die Wasserführungen für einige wichtige Probenahmestellen nicht mit zuverlässigen Messungen belegt werden. Es ist auch dieser Tatsache zuzuschreiben, dass die eigentliche Auswertung erst vorgenommen werden konnte, als die langwierigen Erhebungen über die Wasserführungen, die massgebend von den Kraftnutzungen abhingen, vorlagen.

Die Kontrolle der Tagesmessstreifen führte zum überraschenden Ergebnis, dass sowohl das Vorderrhein- als auch das Hinterrhein-Flussgebiet rasch wechselnden und sehr grossen Wasserstands-Schwankungen durch den Betrieb der neuen hydraulischen Kraftwerke unterworfen sind.

Die 1956 in Bau genommene Kraftwerkgruppe Vorderrhein mit drei Stauseen Nalps (1961), Curnera (erst 1966) und Santa Maria (ab 1968) führt grössere Wassermengen von der Zentrale Sedrun über das Somvixertal zur Zentrale nach Tavanasa. Somit werden die Abwässer der zwischenliegenden Gemeinden, insbesondere von Disentis, weniger «verdünnt». Die Betriebsweise der erwähnten Kraftwerke führte am Untersuchungstag zu einer Steigerung der Wasserführung bei der Messstelle Ilanz zwischen 08 und 09 Uhr von 7,4 auf 25,8 m³/s.

Die Wasserkraftanlagen der Zervreilawerke leiten dagegen Wasser aus dem Valsertal über das Safiental in den

WASSERFÜHRUNG DES ALPENRHEINS AM 9./10. NOVEMBER 1966 — Tabelle 1

	Probenahmestelle	9. November m³/s	10. November m³/s	Mittel m³/s	m³/Std.
1	Quellrhein, Oberalp*	0.20	0.20	0.200	720
1	Quellrhein, Oberalp*	0.20	0.20	0.200	720
2	Vorderrhein, Disentis	0.63	0.68	0.655	2358
3	Vorderrhein, Ilanz	15.80	15.00	15.400	55440
4	Glenner, Ilanz	3.42	3.59	3.505	12618
5	Vorderrhein, Reichenau*	30.00	30.00	30.000	108000
6	Hinterrhein, Talstafel	0.62	0.65	0.635	2286
7	Hinterrhein, Sufers*	1.00	1.00	1.000	3600
8	Averserrhein	5.90	5.90	5.900	21240
9	Albula, Tiefencastel	10.10	10.30	10.200	36720
10	Julia, Tiefencastel	6.50	6.50	6.500	23400
11	Hinterrhein, Reichenau*	47.00	47.00	47.000	169200
12	Rhein, Felsberg	77.10	78.00	77.550	279180
13	Abwasser Emserwerke, Ems	1.50	1.50	1.500	5400
14	Plessur, Chur	3.62	3.88	3.750	13500
15	Rhein, Untervaz*	82.00	82.00	82.000	295200
16	Landquart, Felsenschlucht	7.28	7.70	7.490	26964
17	Landquart, unterhalb Papierfabrik	7.28	7.70	7.490	26964
18	Rhein, Ragaz	75.40	76.20	75.800	272880
19	Tamina, Ragaz	1.64	1.77	1.705	6138
20	Rhein, Buchs*	80.00	80.00	80.000	288000
21	Liechtensteiner Binnenkanal	1.00	1.00	1.000	3600
22	Saar, Mündung*	0.50	0.50	0.500	1800
23	Rhein, Illmündung*	80.00	80.00	80.000	288000
24	Ill	30.00	30.80	30.400	109440
25	Rhein, Widnau	124.00	123.00	123.500	444600
26	Rhein, Fussach	124.00	123.00	123.500	444600

* Wasserführung berechnet

22./23. Februar 1965		m³/s	23./24. Februar 1965		m³/s
Landwasser	Davos	0.67	Plessur	Arosa	0.8—1.2
Landquart	Klosters	0.66			

Unterlauf des Hinterrheins ab und verursachen dort mit der dem Vorderrheingebiet entzogenen Wassermenge ähnliche An- und Abschwellungen der Wasserführung.

Eine weitere Kraftwerkgruppe, diejenige am Hinterrhein mit dem Stausee Valle di Lei als Kernstück, leitet Wasser aus dem Aversertal über die Zentrale Ferrera nach Sufers und von dort nach Andeer-Bärenburg, wo weitere Seitenbäche gefasst und das gesamte Wasser der Zentrale Sils im Domleschg zur Verarbeitung zugeführt wird. Dem Hinterrhein fliesst dieses Wasser mit stark wechselnden Wasserständen gegenüber der Normalwasserführung nun über die Albula wieder zu.

Auch im Oberhalbstein werden die Wasservorkommen bewirtschaftet. Mit dem Stausee Marmorera und den Zentralen Tinizong und Tiefencastel treten zusätzliche Aenderungen der Wasserführung im Unterlauf des Hinterrheins auf, die sich zu derjenigen aus der Gruppe Zervreila addieren.

Die Zentrale Filisur verarbeitet das Wasser aus den Anlagen der Albula-Landwasser-Werke und beeinflusst demnach ebenfalls die Wasserführung der dem Hinterrhein zufliessenden Albula, hier allerdings in sehr geringem Masse, da es sich um Laufwerke handelt.

Schliesslich sei aus dem Kanton Graubünden noch die Werkgruppe Davosersee — Klosters — Küblis der AG Bündner Kraftwerke genannt, die Wasser aus dem Einzugsgebiet des Hinterrheins (Landwasser) in dasjenige der Landquart überleitet.

Im Kanton St. Gallen stehen noch keine Kraftwerke in Betrieb, die massgeblich das Regime der Rheinwasserführung grundsätzlich ändern.

Im Einzugsgebiet der Ill im Lande Vorarlberg ist seit Jahrzehnten eine bedeutende Kraftwerkgruppe in Betrieb und im Ausbau begriffen. Die Silvretta-, Vermunt- und Lünerstauseen mit den Zentralen Vermunt - Latschau, Rodund und Lünersee im Montafon verändern die Wasserführung der Ill ganz bedeutend. Ueber das Obervermuntwerk werden noch Wassermengen aus dem Paznauntal (Tirol) vom Einzugsgebiet des Inn in das Einzugsgebiet des Rheins übergeleitet.

All diese, durch den Betrieb von hydraulischen Kraftwerken erzwungenen Aenderungen im Abflussregime des Alpenrheins veranlassten das Eidg. Amt für Wasserwirtschaft, die bisherige Messreihe für die Rheinmündung (Schmitter) im Jahre 1961 abzuschliessen und 1962 mit einer neuen Serie zu beginnen.

Die anlässlich der Untersuchung vom 9./10. November 1965 ausgewiesene Rheinwassermenge von 123/124 m^3/s ist jährlich an 228 Tagen vorhanden oder überschritten und wird nur an 137 Tagen noch unterschritten. Im Februar 1965 — anlässlich der Untersuchung der Vorflutverhältnisse bei Winterkurorten — lag die Wasserführung bei 108 bis 116 m^3/s, welche an 274 Tagen vorhanden oder überschritten wird. Aus diesen beiden Gegenüberstellungen geht klar hervor, welchen bedeutenden Einfluss die zahlreichen Kraftwerke im Rheineinzugsgebiet auf den Ausgleich der Niederwasserführungen über grössere Zeitperioden ausüben.

Bild 3 Die oberste Landschaft am vereinigten Rhein — eines der bedeutendsten Belastungsgebiete für den Rhein — vom Zusammenfluss des von rechts kommenden Hinterrhein mit dem Vorderrhein (im Vordergrund), dem Fabrikkomplex der Emserwerke, der Industriesiedlung Domat/Ems und der Stadt Chur im Hintergrund (Photo L. Crameri, Kantonales Tiefbauamt Chur).

G. Bevölkerung und Industrie im Einzugsgebiet des Alpenrheins

Rund 5000 Einwohner leben im Tavetsch bis Disentis. Das ganze Vorderrheintal beherbergt knapp 26 000 Bewohner. Das Handwerk ist neben der Alpwirtschaft (Graswirtschaft) sehr weit verbreitet. Das Gewerbe wird kaum durch Industrien verdrängt. Einige Textilfabriken und holzverarbeitende Betriebe bringen Verdienst in die Talschaft. Der Kraftwerkbau schaffte vorübergehend zusätzliche Arbeitsplätze. Während der Ferienzeiten beschäftigten die Saisonbetriebe sowohl einheimische wie fremde Arbeitskräfte.

Eher spärlich ist das Rheinwald besiedelt. Im Einzugsgebiet des Hinterrheins liegen die dichtbesiedelten Gebiete im Landwassertal und auf der Lenzerheide. Von rund 25 000 Einwohnern lebt die Hälfte im Landwassertal, wobei die Landschaft Davos mit beinahe 10 000 Einwohnern den Löwenanteil dazu beiträgt. Industrien sind nur spärlich vertreten.

Mit 5000 Personen ist der Anteil des Schanfiggs eher bescheiden. Die Zahl unterliegt aber grossen saisonalen Schwankungen, wobei Arosa mit 13—14 000 Bewohnern mitbeteiligt ist.

Mit etwas über 12 000 Personen kann das Prättigau eher als schwach besiedelt gelten.

Im Kanton Graubünden liegt der Besiedlungsschwerpunkt ganz eindeutig im Raume der Kantonshauptstadt mit rund 33 000 Seelen. In diesem Gebiet entstand mit dem Emserwerk auch der industrielle Schwerpunkt im Rheintal. In Chur sind noch einige weitere kleinere Industrien angesiedelt. Dann sind die Papierindustrie in Landquart und die Zementfabrik in Untervaz zu erwähnen. Weitere 14 000 Menschen leben im Raume Landquart—Buchs auf der linken Rheinseite, während im Fürstentum Liechtenstein rund 20 000 gezählt werden. Nicht unerwähnt dürfen die zahlreichen Industrien der Textil-, Metall- und Chemiebranche bleiben.

Schweizerseits entwässern die Siedlungen im unteren Rheintal in den Werdenberger Binnenkanal und nicht in den Rhein.

Aus dem Lande Vorarlberg entwässern Gebiete mit einer Bevölkerung von rund 70 000 Personen über die Ill und 12 000 aus den restlichen Gebieten in den Rhein. Zahlreich sind auch die grossen und kleinen Betriebe verschiedener Branchen.

Somit leben im hydrologischen Einzugsgebiet des Alpenrheins rund 240 000 Menschen mit dem einheimischen Handwerk, der Landwirtschaft, dem Kleingewerbe und vereinzelten grösseren Industrien, mit folgender Verteilung:

Kanton Graubünden	115 000
Kanton St. Gallen	10 600
Fürstentum Liechtenstein	20 000
Land Vorarlberg	82 500

Während der Bevölkerungszuwachs im Kanton Graubünden seit 1950 lediglich 8 % erreichte, betrug er im Kanton St. Gallen 9,5 % und im Illgebiet rund 12,5 %.

H. Wasserkraftwerke

Am 1. Januar 1966 standen im Bündner Rheintal 35 Kraftwerke mit über 450 PS installierter Leistung in Betrieb; die gesamte Leistung dieser Werke beträgt rund 1350 MW[1]. Mit zahlreichen Speicherseen, die etwa 400 Mio m³ Wasser fassen, wird ein wesentlicher Eingriff in das Wasserregime des Rheins vollzogen. Von den bedeutendsten Werken seien aufgezählt: Albula-Landwasser-Kraftwerke (Stufen Naz-Bergün, Glaris-Filisur, Bergün-Filisur), Albula-Kraftwerk, Julia-Kraftwerke (Marmorera-Tinizong, Burvagn-Tiefencastel), Hinterrhein-Kraftwerke (Valle di Lei-Ferrera, Ferrera/Sufers-Bärenburg, Bärenburg-Sils), Zervreila-Kraftwerke (Seewerk, Zervreila-Safien Platz, Safien Platz-Rothenbrunnen), Vorderrhein-Kraftwerke (Sedrun, Sedrun-Tavanasa), Kraftwerk Reichenau I, Plessur-Kraftwerke (Lüen, Sand), Bündner Kraftwerke (Davosersee-Klosters, Klosters-Küblis) u.a.m.

Im St. Galler Rheintal liegen lediglich acht Kraftwerke mit sehr bescheidenen Leistungen an Nebenflüssen. Dagegen ist ein Grosskraftwerk im Oberlauf der Tamina mit Ueberleitung von Wasser aus der Seez und zwei Speicherseen geplant.

Im Fürstentum Liechtenstein werden die Wasserkräfte ebenfalls in bescheidenen Anlagen ausgenutzt, dagegen haben die Vorarlberger Illwerke AG die Wasserkräfte der Ill stark ausgebaut. Kombinationen von Speicherseen mit Pumpspeicheranlagen und mehreren Werkstufen nutzen die Wasserenergie weitgehend aus; zudem sind an der Alfenz, einem Nebenfluss der Ill, einige Kraftwerkstufen der Oesterreichischen Bundesbahnen in Betrieb.

[1] 1 MW = 1000 kW

J. Untersuchungsergebnisse von Plessur (Arosa), Landwasser (Davos) und Landquart (Klosters) vom 22. bis 24. Februar 1965

Durch seine geographische Lage und seine daraus resultierenden klimatischen Verhältnisse zählt der Kanton Graubünden zu den beliebtesten Ferien- und Erholungsgegenden der Schweiz. Insbesondere hat seit dem letzten Krieg der Wintersport einen derartigen Aufschwung erlebt, dass bestimmte Orte während der Winterferien, aber auch im Hochsommer, ein Mehrfaches der angestammten Einwohnerzahl beherbergen. Dass damit auch die Beseitigung der flüssigen und festen Abfallstoffe zu einem immer grösser werdenden Problem wird, versteht sich von selbst.

Die Hochsaison des winterlichen Fremdenverkehrs mit maximalem Abwasseranfall und die niederste Wasserführung der Flüsse fallen im Kanton Graubünden in die gleiche Jahreszeit, nämlich in den Monat Februar. Dies sind auch die idealen Voraussetzungen — vom Standpunkt der Analytik aus gesehen — für die Durchführung einer Untersuchung. Leider konnte aber die gesamte Alpenrhein-Daueruntersuchung für rund 30 Beobachtungsstellen aus technischen Gründen nicht in diese Jahreszeit verlegt werden, da im Februar mit extrem tiefen Temperaturen gerechnet werden muss, die eine speditive Arbeit am Wasser gar nicht zulassen. Die Grossuntersuchung wurde deshalb auf den Spätherbst festgesetzt, während die maximale Verunreinigung der Gewässer durch Hochsaisonbetrieb gezielt an den vier wichtigsten Winterkurorten des Kantons Graubünden ermittelt werden sollte. Flims schied bei näherer Prüfung der örtlichen Gegebenheit deswegen aus, weil der grösste Teil der Abwässer im Bergsturzgebiet des Flimsersteins versik-

kert. Für diese Untersuchung verblieben daher noch Arosa im Oberlauf der Plessur, Davos im Oberlauf des Landwassers und Klosters im Oberlauf der Landquart.

Bei schönstem Wetter aber empfindlicher Kälte, die nachts sogar unter minus 15 °C absank, konnten die Vorflutverhältnisse unterhalb der drei genannten Kurorte vom 22. bis 24. Februar 1965 ermittelt werden. Das Gemeindebauamt von Arosa stellte in verdankenswerter Weise Personal und Material zur Erstellung eines Zeltlagers im 1,5 m tiefen Schnee bei der grossen Kehrichtdeponie zur Verfügung, und mit Hilfe von Butagasstrahlern konnte verhindert werden, dass die Glasflaschen durch Eisbildung einfroren.

Am Landwasser in Davos stand ein Unterstand in einem nahen Gelände zur Verfügung (Bilder 6,7), und an der Landquart (Bild 8) bezog die Untersuchungsgruppe Standquartier im Kurhaus Bad Serneus. Die Proben wurden ausschliesslich durch zwei Gruppen von drei Personen der chemischen Abteilung der EAWAG erhoben, nach Zürich transportiert und in den dortigen Laboratorien untersucht.

Die folgende Uebersicht gibt Auskunft über die Besetzungsverhältnisse in den drei Kurorten zur Zeit der Abwasser-Vorfluteruntersuchungen:

	AROSA	DAVOS	KLOSTERS
Stammbevölkerung 1960	2600	9588	3181
Beherbergungen 22./24. 2. 65	6890	23300	4600
Saisonpersonal (ca. 1/2 der Gäste)	3500	11500	2300
Total	13–14000	44–45000	10000

Die Zahl der Saisonangestellten ist nur für Arosa einigermassen zuverlässig errechnet worden, indem 6150 Personen als Einwohnerzahl angegeben wurden, welche die Ansässigen, Niedergelassenen und das Saisonpersonal umfassen.

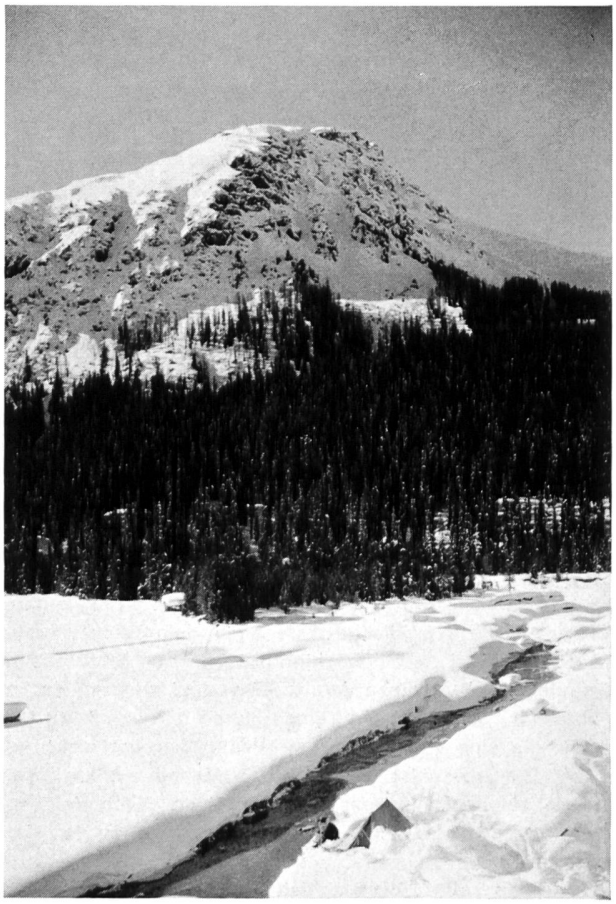


Bild 4 Die Plessur unterhalb Arosa zur Zeit der chemischen Untersuchungen vom 23./24. Februar 1965 (Photo J. H. Meyer Zürich).

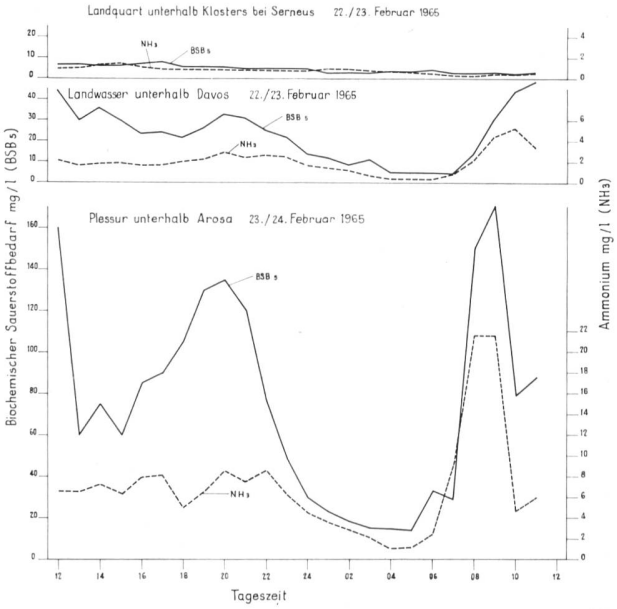


Bild 5 Ergebnisse der chemischen Untersuchungen der Abflüsse unterhalb der bedeutenden Kurorte Klosters, Davos und Arosa.

Für die drei Flüsse lauten die Angaben über die Wasserführung:

	m³/s	Schätzung für Probestelle m³/s
Plessur (Stau Islen)	0,8–1,2	0,25
Landwasser (Arenno)	0,67	1,1
Landquart (Monbiel)	0,66	0,7

Plessur unterhalb Arosa 23./24. Februar 1965

Der Aspekt des Flusses wird eindeutig durch die Abwasserzuleitung beherrscht. Das gesamte Flussbett ist mit einer praktisch kompakten Abwasserpilzschicht belegt, von der sich von Zeit zu Zeit Zotten ablösen und weitertreiben. Die Gerüche nach Abwasser werden durch solche aus der glimmenden und brennenden Kehrichtdeponie vermischt.

Die Untersuchung, die um 16.00 Uhr begonnen werden konnte, zeigte eine relativ hohe Bachwassertemperatur, die ausser durch Abwasser auch durch die Sonneneinstrahlung mitbeeinflusst wurde. Mit dem Abflauen der Abwasserflut nach 23 Uhr und der starken nächtlichen Abstrahlung, sank die Wassertemperatur auf weniger als 1 °C, um mit dem steigenden Abwasseranfall und der Sonneneinstrahlung wieder über 1 °C zu erreichen. Entsprechend der Zufuhr der Abfallstoffe schwankte die Wassertrübung innert weiter Grenzen, und analog dazu traten auch ausserordentlich hohe Werte, bis 170 mg/l, von Schwebestoffen auf.

Die Geschichte des Abwassertages von Arosa kann an Hand einiger weiterer Komponenten sehr instruktiv verfolgt werden. Es traten in der Plessur im ganzen drei starke Abwasserspitzen auf. Die erste begann um 06.00 Uhr früh und dauerte bis 09.00 Uhr; sie wurde durch eine zweistündige Lücke von der Mittagsspitze getrennt; die Abendspitze dehnte sich zeitlich von 18 bis 22 Uhr aus und erreichte nicht die gleich hohen Werte, wie die beiden übrigen Tagesspitzen. In der Plessur herrschten ähnlich hohe Schmutzstoffkonzentrationen wie in Sammelkanälen von grossen Städten! Die Qualität des Wassers unterlag grossen Unter-

MITTELWERTE AROSA, CHUR, DAVOS, KLOSTERS

Tagesmittel, Minimum- und Maximumwerte

Tabelle 2

		Arosa—Plessur			Chur	Landwasser—Davos			Landquart—Klosters		
		Mittel	Min.	Max.	Mittel	Mittel	Min.	Max.	Mittel	Min.	Max.
Temperatur	°C	3.0	0.6	5.2	0.7	1.3	0.0	4.0	1.8	1.1	3.6
pH-Wert		7.4	7.3	7.75	7.9	7.3	7.0	7.6	7.9	7.9	8.0
el. Leitfähigkeit	$Ohm^{-1} \cdot cm^{-1} \cdot 10^{-6}$	390	280	557	457	168	148	205	331	323	338
Sauerstoff	mg O_2/l	7.9	5.8	11.8	13.6	8.8	7.4	11.1	11.8	11.4	12.5
Sauerstoff-Sättigung	%	75	57	115	106	78	69	95	99	95	106
Sauerstoff-Zehrung	mg/l (48 h)	—	8.5	>11.8	1.6	—	2.4	>11.5	3.5	2.1	5.9
Biochem. Sauerstoffbedarf	mg/l (5 Tg)	75.3	14	170	2.0	22.9	4.4	49.3	4.6	2.3	7.8
Oxydierbarkeit	mg $KMnO_4$/l	191	23	210	1.8	50.3	12.0	136	16.0	10.8	31.6
Ammonium (NH_4)	mg N/l	6.9	1.1	21.5	0.15	2.0	0.4	5.2	0.8	0.3	1.4
Nitrite (NO_2)	mg N/l	0.040	0.015	0.101	0.004	0.012	0.006	0.28	0.010	0.006	0.015
Nitrate (NO_3)	mg N/l	0.30	0.16	0.45	0.91	0.35	0.3	0.5	0.9	0.9	1.0
Kjeldahl-Stickstoff	mg N/l	32.5	—	—	0.24	3.6	—	—	1.5	—	—
Phosphate	mg P/l	1.01	0.40	1.5	0.92	0.40	0.11	0.74	0.24	0.16	0.31
Gesamtphosphor	mg P/l	3.75	—	—	1.1	0.54	—	—	0.34	—	—
Chloride	mg Cl'/l	8.9	1.6	16.6	2.9	4.4	1.4	6.9	2.9	2.0	4.2
Sulfate	mg SO''_4/l	84.2	—	—	50	16	—	—	56	—	—
Gesamthärte	franz. °H	16.05	12.9	17.3	23.75	7.65	7.25	8.5	17.85	17.5	18.25
Karbonathärte	franz. °H	16.27	13.5	22.9	21.05	7.07	6.5	7.75	11.83	11.5	12.25
Detergentien	mg WAS/l	3.05	—	—	<0.1	0.5	—	—	0.17	—	—
Schwebestoffe	mg/l	65	11	170	3	16.6	2.9	40	5.4	3.2	8.4
Trübung	% D	77.5	49	100	99.6	94.0	88.0	96.7	96.4	94.0	97.0
Bakterien der Coligruppe	pro ml	9575	2000	23000	90	1175	100	8000	78	<10	170

schieden mit Faktoren in den Grössenordnungen von 10 und mehr (vgl. Tabelle Nr. 2).

Die 75 mg BSB_5/l verursachten im Staugebiet der Islen samt den eingeschwemmten Schwebestoffen faulende Deponien und massive Sauerstoffzehrungen.

Unter der Annahme, dass die Plessur während 24 Stunden 0,25 m^3/s Wasser führte, gelangten die folgenden Schmutzstoffmengen zum Abfluss:

Wassermenge		m^3/Tag		
	l/s	21500		Einwohner-
	250	kg	=	gleichwerte
Biochemischer				
Sauerstoffbedarf	(75 g/E)	1620		21700
Oxydierbarkeit	(190 g/E)	4130		21800
Ammoniak	(12 g/E)	148		12300
Phosphate	(3 g/E)	21.6		7200
Detergentien		65		
Schwebestoffe		1400		

Um aus der Winteruntersuchung einen Vergleich zur Novemberuntersuchung ziehen zu können, sind hinter Chur beim Kraftwerk Sand Proben aus der Plessur erhoben worden. Gleichzeitig vermitteln diese Proben einen Einblick in die Selbstreinigungstätigkeit der Plessur auf dem Weg von Arosa bis nach Chur. Obschon aus der besiedelten Talschaft dem Hauptgewässer weitere Abwässer zufliessen, sind bei Chur die Schmutzstoffe, die auf biologischem Wege eliminierbar sind, praktisch abgebaut. Phosphate, Chloride und ein Teil der mineralisierten Stickstoffverbindungen verbleiben im gereinigten Wasser und legen Zeugnis über die verschiedenen Vorgänge und Abbauprozesse in der Plessur ab.

Aehnlich verhalten sich die bakteriologischen Ergebnisse. In Arosa enthielt das Plessurwasser im Durchschnitt über 9000 Colibakterien pro ml (cm^3), während bei Chur rund 99 % davon durch die Sedimentations- und Selbstreinigungsprozesse eliminiert waren. Diese an und für sich erfreuliche Feststellung tröstet aber nicht darüber hinweg, dass die Plessur in ihrem Oberlauf über eine grössere Strecke derart arg verschmutzt ist, dass sie einem Abwasserkanal gleicht.

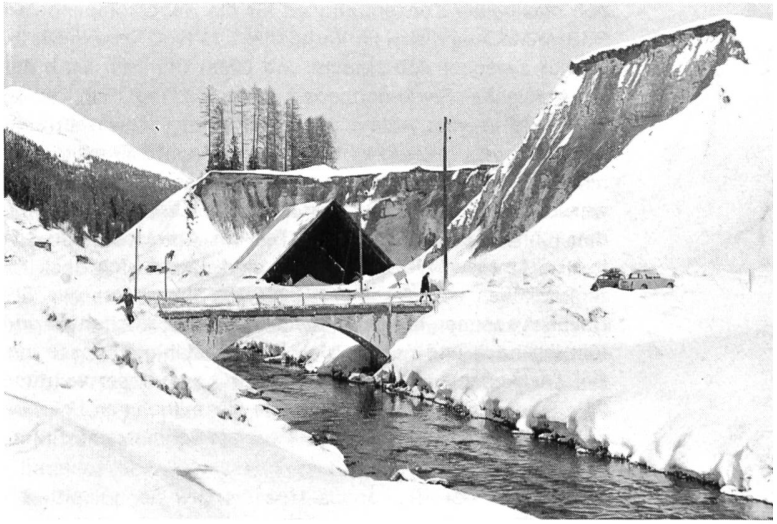


Bild 6 Landwasser unterhalb Davos zur Zeit der Probeentnahmen vom 22./23. Februar 1965.

Bild 7 Detail der Wasserentnahmen bei grosser Kälte.
(Photos J. H. Meyer Zürich)

Landwasser unterhalb Davos
22./23. Februar 1965

Die relativ grosse Wasserführung vermag die zugeleiteten Abwasser nicht derart zu verdünnen, dass die Abwasserschäden unterbunden würden. Ein ununterbrochenes Schlammtreiben von Flocken in der Grössenordnung bis Quadratdezimeter zeigte an, welche Abwassermengen zwischen Davos und der Probenahmestelle in Frauenkirch (Islen, Brücke beim Sand; Bilder 6, 7) anfallen. Das Bachbett selbst war stellenweise mit einem dichten Pelz aus Abwasserbakterien bedeckt, der eine Unmenge von tierischen Abwasserorganismen, wie Egel und Würmer, beherbergte. Wenig oberhalb der Brücke wird in einer Grube Sand und Kies abgebaut und auch gewaschen. Zur Zeit der Untersuchung lag das Kieswerk still, und die Abwasser-Vorfluter-Verhältnisse wurden durch zusätzliche Geschiebetrübungen nicht gestört.

Die Untersuchung konnte um 12 h mittags beginnen. Die Wassertemperatur lag sehr tief, im Mittel knapp über 1 °C. Die Abwassereinleitung überträgt ihren Rhythmus auf das Flusswasser und prägt dessen chemische Zusammensetzung, die in weiten Grenzen den Tagesschwankungen unterworfen wird. Man kann das Landwasser mit einem Abwasser vergleichen, das in grösseren Städten nachtsüber in den Kanälen festgestellt wird. Die minimalen standen zu den maximalen Konzentrationen für die Hauptkomponenten BSB_5, $KMnO_4$ und NH_3 im Verhältnis 1:12 (vgl. Tabelle Nr. 2).

Nur zwischen Mitternacht und 09.00 Uhr früh sank der biochemische Sauerstoffbedarf unter 14 mg/l ab, einen Wert, wie er vom Ablauf von biologischen Abwasserreinigungsanlagen verlangt wird. Während über 15 Stunden, das heisst 2/3 des Tages, zeigte das Landwasser eine Schmutzwasserkonzentration, die zu massiven fischereilichen Schäden führen muss. Ein grosser Teil der Abwasserstoffe, die in den Abwasserpilzen investiert sind, lagert sich nach ihrem Ablösen von der Fluss-Sohle im Stauweiher des EW Davos zusammen mit mineralischen Schwebestoffen ab und füllt ihn nach und nach mit einer fäulnisfähigen Masse auf. Bei der Annahme, dass ca. 1,1 m³/s Landwasser während 24 Stunden die Abwasser von Davos aufnehmen, können aufgrund der Tagesmittelwerte folgende Schmutzstoff-Frachten ermittelt werden:

Wassermenge		1,1 m³/s =	95040 m³/Tag
		kg/Tag	Einwohnergleichwerte
Biochemischer Sauerstoffbedarf	(75 g/E)	2180	29000
Oxydierbarkeit	(190 g/E)	4780	25200
Ammoniak	(12 g/E)	190	15800
Phosphate	(3 g/E)	38	12700
Detergentien		47,5	
Schwebestoffe		1580	

Weiter flussabwärts bauen neue Mikroorganismen diese Schmutzstoffe ab, sie werden zudem durch weniger verunreinigte Seitenbäche stark verdünnt, so dass das Landwasser allmählich wieder ein Aussehen annimmt, das nicht mehr an den Zustand des Wassers unmittelbar unterhalb Davos erinnert.

Auch die bakteriologische Verunreinigung des Landwassers durch Fäkalstoffe ist sehr beachtlich, führt doch das Wasser im Tagesmittel Colikeime in Konzentrationen von 1175 pro ml (cm³), die allerdings eine Elimination durch die Abbauprozesse erfahren werden.

Landquart unterhalb Klosters
22./23. Februar 1965

Während örtlich bei verschiedenen Abwassereinläufen in Klosters Verpilzungen des Bachbettes vorkommen, ist davon auf der Höhe des Bades Serneus, der Kontrollstelle (Bild 8), von Auge kaum etwas zu sehen. Der Aspekt der Landquart wird durch grobsinnliche Schwimmstoffe nicht beeinträchtigt, lediglich etwas Abwassergeruch trat vereinzelt auf. Die Untersuchung konnte um 12 h mittags begonnen werden und führte zu folgenden Feststellungen:

Die Wassertemperatur schwankte, verursacht durch die Sonneneinwirkung, in relativ weiten Grenzen.

Die Abwasserkomponenten unterlagen überraschenderweise keinen grossen Schwankungen. Der Anteil an Schwebestoffen war gering. Zu keiner Tageszeit stieg der biochemische Sauerstoffbedarf über 8 mg/l, und nachts sank die Konzentration auf 2,3 mg/l ab. Ein gesundes Gewässer soll aber nur BSB_5-Werte von weniger als 2 mg/l aufweisen, so dass auch die Landquart beim Bad Serneus als leicht überbelastet bezeichnet werden muss. Dies kommt

Bild 8
Die Landquart beim Bad Serneus zur Zeit der chemischen Untersuchungen vom 22./23. Februar 1965; im Hintergrund der Kurort Klosters.
(Photo J. H. Meyer Zürich)

ganz eindeutig im Ammoniak- und im Phosphorgehalt von 0,8 mg/l respektive 0,24 mg/l zum Ausdruck. Auch weisen die zwar geringen Mengen an Detergentien in die gleiche Richtung.

Die Wasserführung von ca. 0,7 m³/s erlaubte, die Schmutzstoff-Fracht aus dem Kurort Klosters bei Hochsaison zu berechnen:

Wassermenge		0,7 m³/s =	60480 m³/Tag
		kg	Einwohnergleichwerte
Biochemischer Sauerstoffbedarf	(75 g/E)	278	3700
Oxydierbarkeit	(190 g/E)	965	5080
Ammoniak	(12 g/E)	48,3	4020
Phosphate	(3 g/E)	14,5	4830
Detergentien		10,3	
Schwebestoffe		326	

Zweifellos wird trotz der tiefen Wassertemperaturen ein weiterer Anteil der Belastung biologisch abgebaut werden, bevor neue Zuflüsse aus den Siedlungsgebieten zur Landquart stossen.

Die Abwasserlast äussert sich auch in der Anzahl Colibakterien. Mit 78 lag sie im Tagesmittel weit hinter derjenigen der Plessur und des Landwassers, und während der Nacht sank sie sogar auf weniger als 10 pro ml (cm³) ab.

Zusammenfassend kann man die drei Gewässer, welche die drei bedeutendsten Kurorte Arosa, Davos und Klosters durchfliessen, wie folgt beurteilen:

Die Plessur und das Landwasser werden in unzulässiger Weise durch häusliche und gewerbliche Abwässer derart arg verunreinigt, dass Schäden verschiedener Art auftreten und weite Flussstrecken in hygienischer Hinsicht beeinträchtigt werden. Einer normalen Nutzung können diese Gewässer in den fraglichen Gebieten nicht mehr zugeführt werden, solange nicht die Abwässer in geeigneten Anlagen entschlammt und biologisch gereinigt werden. Der Zustand der Gewässer ist geeignet, die Kurorte in ihrer Zweckbestimmung in einem gewissen Ausmass zu entwerten.

Die Landquart wird durch die Abwässer von Klosters ebenfalls in unzulässigem Ausmass belastet, und eine Sanierung der Verhältnisse dürfte ebenfalls angezeigt sein. Doch sind die Zufuhren von Abwasser noch nicht derart, dass sie zu eigentlichen Missständen im gesamten Flussbett führen und die normale Nutzung überhaupt in Frage stellen. Eine weitere stürmische Entwicklung des Kurortes dürfte aber zweifellos zu ähnlich unhaltbaren Zuständen, wie in den benachbarten grossen Wintersportzentren führen, denn die Niederwasserführung der Landquart liegt in der gleichen Grössenordnung wie beim Landwasser und der Plessur.

K. Daueruntersuchung am gesamten Alpenrhein vom 9./10. November 1965

DIE EINZELNEN FLIESS-STRECKEN

1. Vorderrhein

Die verschiedenen Quellflüsse am Fusse des Badus- und des Pazzolastockes, wovon der wichtigste aus dem Tomasee entspringt, sammeln sich im Plaun Perdatsch und fliessen vereinigt dem obersten Dorf Tschamut zu. Die für die Untersuchung gewählten zwei Bäche zeigen eine sehr geringe Mineralisation. Die Wasser sind sehr weich, enthalten Spuren von Ammonium und Phosphaten, geringe Mengen an weiteren Stickstoffverbindungen. Erstaunlicherweise ist das Wasser an Sauerstoff leicht untersättigt, obschon der biochemische Sauerstoffgehalt innerhalb der Messgenauigkeit sich bewegt. Auch die Oxydierbarkeitswerte zeigen ein sauberes Wasser an, das nur rund die Hälfte von organischen Verunreinigungen aufweist, wie sie für Trinkwasser eben noch toleriert werden. Die Temperatur bewegte sich schon um den Gefrierpunkt.

Die Untersuchungen anderer Quellbäche und insbesondere die vereinigten Bäche zeigen ein wesentlich ungünstigeres Bild. Ein üppiges Grünalgenwachstum im Bachbett weist eindeutig auf Abwasserzuleitungen hin. Dementsprechend entstehen erhöhte Ammoniumwerte und Anteile von organischen Belastungen. Es waren diese qualitativen Veränderungen eindeutig auf die vorübergehend in Betrieb stehenden, für den Bau von Kraftwerkanlagen notwendigen Barackensiedlungen zurückzuführen. Solche Eingriffe in den Charakter der Gewässer verschwinden mit dem Abbruch der Siedlungen wieder recht schnell. Die Bauarbeiten im

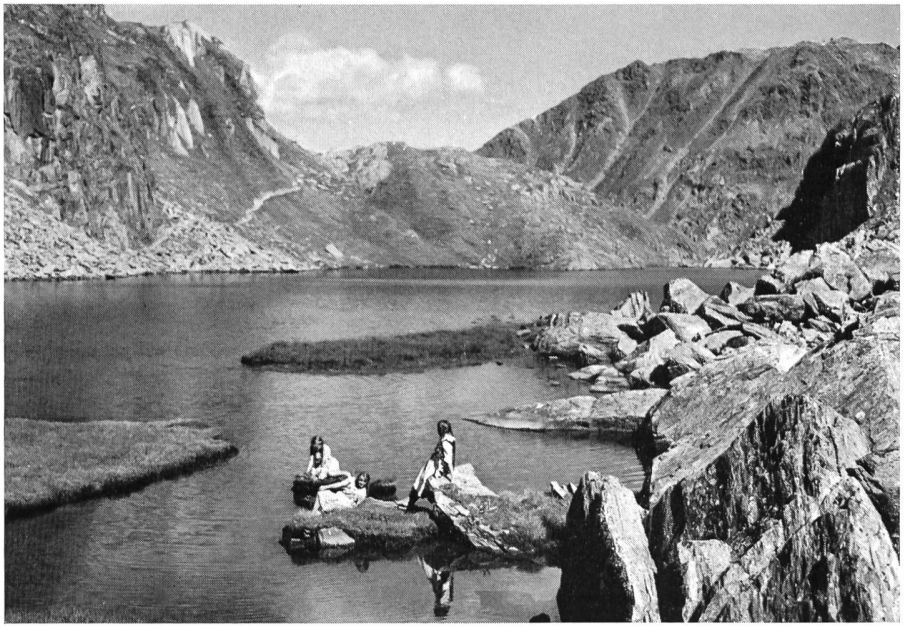


Bild 9
Tomasee — Quelle des Vorderrheins am Piz Badus.
(Photo J. Geiger Flims)

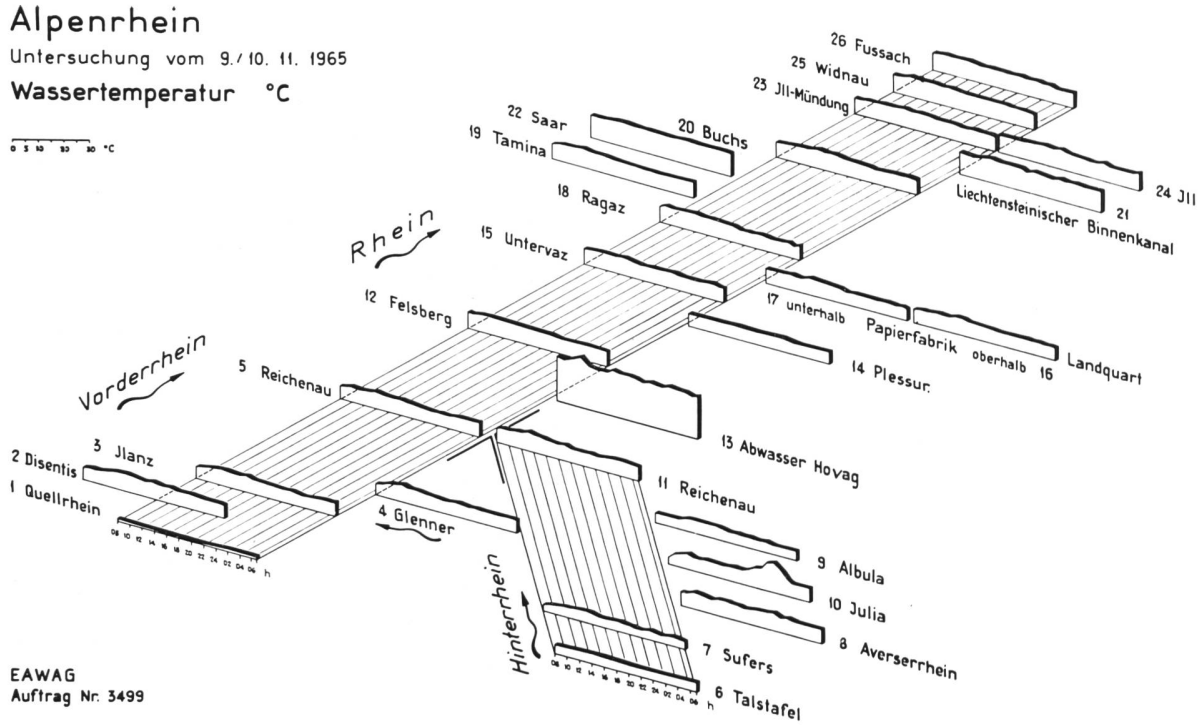


Bild 10

TEMPERATUREN, pH-WERT UND LICHTDURCHLÄSSIGKEIT (TRÜBUNG) Tabelle 3

Stelle	Lufttemperatur °C				Wassertemperatur °C				pH-Wert				Trübung in % D			
	Max.	Min.	Mittel	Amplitude	Max.	Min.	Mittel	Amplitude	Max.	Min.	Mittel	Amplitude	Max.	Min.	Mittel	Amplitude
1	9	2	4.25	7.0	1.0	0.7	0.8	0.2	7.0	6.8	6.95	0.2	100	95.5	98.9	0.5
1	9	0.5	3.62	8 5	2.0	1.8	1.88	0.2	7.4	7.3	7.35	0.1	100	99.5	99.9	0.5
2	9	—1	3.62	10	6.7	4.7	5.78	2.0	8.1	7.7	7.81	0.4	99	91	97.5	8
3	9.5	0	4.44	9.5	6.2	4.6	5.50	1.6	8.0	7.6	7.78	0.4	90	66	83.1	24
4	12	—1	4.56	13	6.4	4.2	5.46	2.2	8.4	8.0	8.14	0.4	100	94	96.4	6
5	10.5	3	6.06	7.5	6.1	5.0	5.50	1.1	8.4	7.8	8.0	0.6	92	81	87.5	11
6	3	1	2.45	2	4.2	3.5	3.78	0.7	6.8	6.5	6.65	0.3	100	100	100	0
7	6	0	3.54	6	4.5	3.0	3.65	1.5	8.9	7.8	8.0	1.1	96	83	91.0	13
8	6	2	4.06	4	6.5	5.4	5.89	1.1	7.9	7.4	7.63	0.5	99	95	96.6	4
9	7	—2	2.02	9	5.2	3.8	4.36	1.4	8.3	7.0	8.0	1.3	93	89	96.3	10
10	5	—1	1.88	6	11.8	3.0	6.52	8.8	9.0	7.0	8.11	2.0	100	95	98.8	5
11	12	3	5.83	9	7.0	5.3	5.84	1.7	8.0	7.8	7.88	0.2	98	86	94.6	12
12	10.5	4.5	6.94	6	6.8	6.0	6.35	0.8	8.1	7.6	7.88	0.5	99	86	94.3	13
13	10.5	3	5.58	7.5	19.2	16.0	16.88	3.2	9.4	4.6	7.31	4.8	93	72	89.0	21
14	10	2	5.42	8	5.0	4.8	4.91	0.2	8.2	7.9	8.12	0.3	98	88	93.4	10
15	9	4	6.46	5	7.0	5.6	6.14	1.4	8.0	7.7	7.90	0.3	98	88	93.9	10
16	9	3	5.48	6	6.8	5.1	5.69	1.7	8.1	7.8	7.93	0.3	98	91	94.9	7
17	6	5.2	5.69	1.2	6.7	5.1	5.62	1.6	8.0	7.7	7.81	0.3	96	87	93.0	9
18	8.2	3.4	5.58	4.8	7.0	5.0	6.22	2.0	8.2	7.6	7.90	0.6	100	96	98.7	4
19	8.2	3.4	5.58	4.8	7.4	6.3	6.70	1.1	8.4	7.9	8.13	0.5	100	96	97.5	4
20	9.5	3	6.62	6.5	7.6	5.8	6.49	1.8	8.1	7.4	7.90	0.7	96	90	94.3	6
21	12.0	3	7.07	9	9.2	8.3	8.72	0.9	8.2	7.5	7.85	0.7	99	97	97.9	2
22	10.8	2.1	6.19	8.7	9.4	8.8	9.12	0.6	8.1	7.5	7.72	0.6	98	84	95.5	14
23	10	4	7.02	6.0	7.4	6.2	6.84	1.2	7.95	7.75	7.85	0.2	95	90	93.2	5
24	10	3.4	6.08	6.6	7.9	6.2	6.80	1.7	7.95	7.8	7.86	0.15	96	87	91.7	9
25	15	6.1	8.65	8.9	7.8	6.4	7.16	1.4	7.95	7.8	7.90	0.15	95	91	93.3	4
26	12.5	6	7.94	6.5	7.8	6.0	6.93	1.8	7.95	7.4	7.83	0.55	97	91	93.7	6

Gewässer erzeugen naturgemäss mineralische Trübungen, bestehend aus feinstem Schlick bis zur Grössenordnung von Sand. Die zahlreichen von Süden und Norden aus sehr verschiedenen geologischen Formationen zufliessenden Gewässer prägen den chemischen Charakter des Rheins. Vom Lukmanierpass her bringt der Medelserrhein ein bedeutend härteres Wasser, das zudem noch grössere Konzentrationen an Gips mitführt. Somit wird die Karbonathärte im Rheinwasser bei Madernal, unterhalb Disentis, verdoppelt. Die künstliche Ableitung von Vorderrheinwasser durch die Kraftwerkstollen erlaubte es nicht mehr, die natürlichen chemischen Verhältnisse zu ermitteln. Während das Wasser an Sauerstoff gesättigt ist, zeigen insbesondere die Ammoniakkonzentrationen, die Phosphat- und die Chloridwerte eine bedeutende Steigerung; etwas weniger ausgeprägt erscheinen die Werte für organische Verunreinigungen.

Zwischen Disentis und Ilanz, der nächsten Kontrollstelle, unterliegt der Vorderrhein grossen hydrologischen Eingriffen. Der vorher wasserarme Rhein bekommt über die Zentrale Tavanasa einen massiven Zuwachs an Betriebswasser, das zur Zeit der Untersuchung infolge von Bauarbeiten im Raum von Santa Maria am Lukmanierpass getrübt wurde und von da weg ein recht trübes Gewässer wird. Grössere Schwankungen im Sauerstoffsättigungswert zeugen von den unterschiedlichen Betriebsweisen des Werkes. Eine deutliche Erhöhung verzeichnen nur die Werte für Oxydierbarkeit. Die übrigen Komponenten werden durch das meistens ausserhalb der bewohnten Gebiete gefasste Wasser verdünnt; sobald die Flussbauarbeiten beendet sind, werden auch die unnatürlichen Trübungen wieder verschwinden.

Der bei Ilanz in den Vorderrhein mündende Glenner weicht in seiner chemischen Zusammensetzung ganz bedeutend vom Vorderrhein ab. Die Karbonathärte erreicht den doppelten, die Gesamthärte sogar den dreifachen Wert. Der Sulfatgehalt von 85 mg/l deutet auf eine stark abweichende geologische Zusammensetzung des Einzugsgebietes hin. Diejenigen Komponenten, die eine Verunreinigung anzeigen, liegen erwartungsgemäss unter denjenigen des Vorderrheins. Bis nach Reichenau liegen aus topographischen Gründen nur noch kleinere Siedlungen im Rheintal selbst, und, mit Ausnahme von Flims, leben die Bewohner in den Nebentälern nur in kleinen Siedlungen. Der Rhein erlebt keine Steigerung der Konzentration an Verunreinigungsindikatoren, im Gegenteil wird die noch verbleibende Belastung durch weniger verunreinigte Nebenbäche verdünnt.

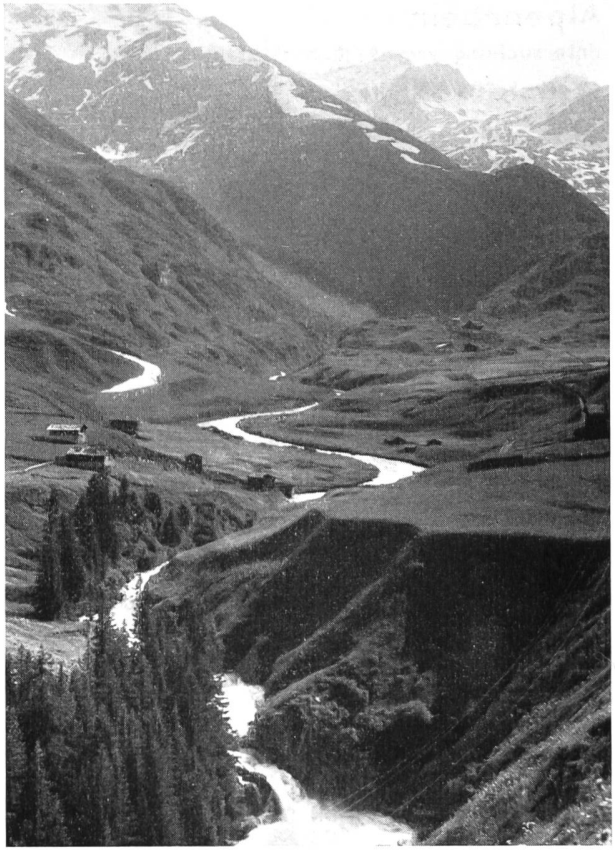


Bild 11 Landschaftscharakter am Vorderrhein im Tavetsch (Photo W. Trepp Chur).

2. Hinterrhein

Der von Zapport-, Rheinquell-, Rheinwald-, Güfer- und Hochberg-Horn umrahmte Talkessel, aus dem der Hinterrhein entspringt, liegt einige Kilometer hinter der ersten Probenahmestelle. Besiedelt ist der Oberlauf kaum, doch sicher wird etwas Viehwirtschaft getrieben, und das Tal dürfte von der nahen Baustelle des San Bernardinotunnel aus recht häufig begangen worden sein. Das Wasser ist bedeutend weniger mineralisiert, als dasjenige am Oberalppass, liegt doch der Talkessel im Kristallin der Aduladecke mit Ortho- und Paragneisen. Die Sauerstoffsättigung erreicht etwas über 100 Prozent, unbedeutende organische Belastungen deuten auf etwas Alpwirtschaft hin. Phosphor- und Stickstoffverbindungen liegen nur in der Grössenordnung von Spuren vor. Schon bis Sufers wird die Mineralisation sehr stark verschoben und zwar durch die Bündnerschiefer, welche die Talsohle zwischen den Dörfern Hinterrhein und Splügen bilden. Die Gesamthärte steigt auf den sechsfachen, die Karbonathärte auf den achtfachen und schliesslich der Sulfatgehalt auf den vierfachen Wert an. Die Einleitung von Abwässern aus den wenigen Siedlungen verursacht eine leichte Erhöhung der organischen, Stickstoff- und Phosphor-Komponenten im Rheinwasser.

Bild 12
Der Vorderrhein bei Tavanasa.
(Photo E. Märki)

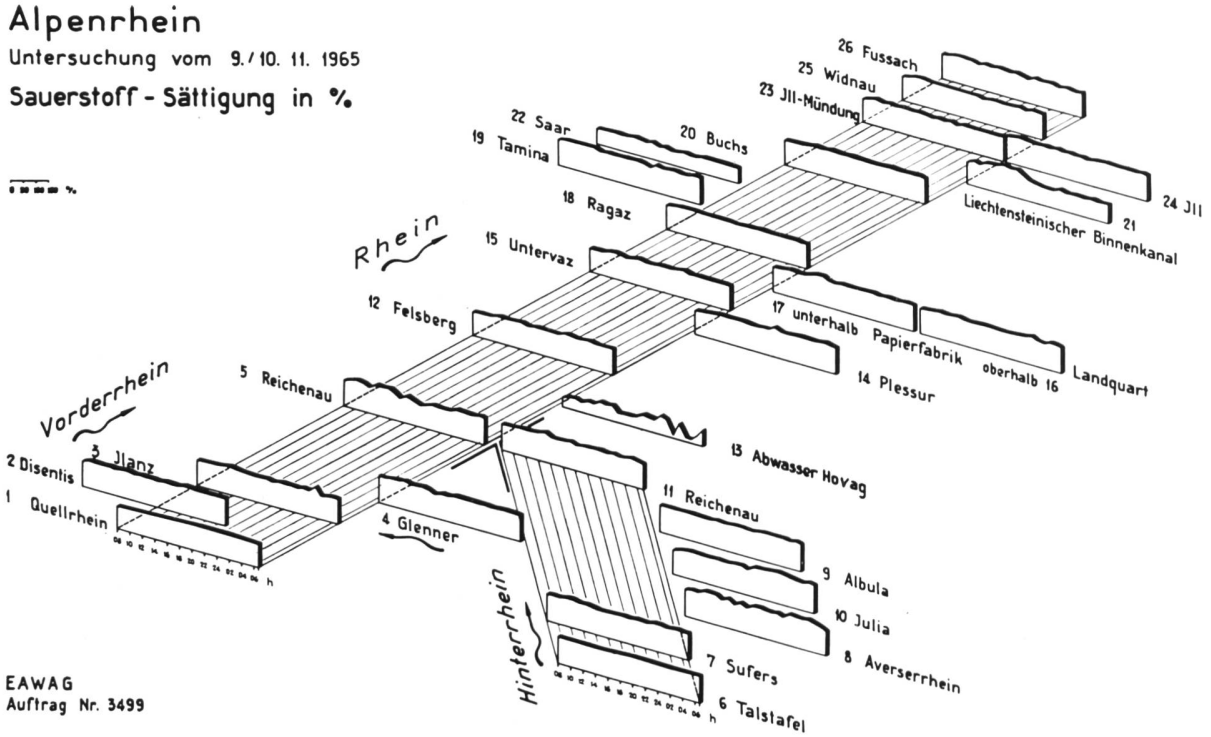


Bild 13

SAUERSTOFFKONZENTRATION UND BIOCHEMISCHER SAUERSTOFFBEDARF — Tabelle 4

Stelle	Sauerstoffgehalt mg/l			Sauerstoff-Sättigung in %			Sauerstoffmenge			Biochemischer Sauerstoffbedarf mg/l			Biochemischer Sauerstoffbedarf		
	Max.	Min.	Mittel	Max.	Min.	Mittel	Mittel kg/h	Tages-Summe Tonnen	Zu-/Ab-nahme	Max.	Min.	Mittel	Mittel kg/h	Tages-Summe Tonnen	Zu-/Ab-nahme
1	11.4	10.2	10.8	93	88	92.8	7.8	0.03	—	1.2	0.3	0.75	0.54	0.00	—
1	11.3	10.6	10.9	94	100	96.5	7.8	0.03	—	1.3	0.8	1.02	0.74	0.00	—
2	11.5	10.9	11.19	108	100	105.4	26.4	0.63	0.60	3.2	0.8	1.68	3.96	0.09	0.09
3	13.7	10.8	11.42	122	96	102.3	633.2	15.20	14.57	4.7	1.3	1.85	102.33	2.46	2.37
4	12.7	10.7	11.61	111	96	103,9	146.5	3.52	—	2.8	1.4	1.97	24.82	0.59	—
5	12.9	10.0	11.75	118	88	104,0	1269.4	30.47	15.27	2.7	0.7	1.90	205.20	4.92	2.46
6	11.0	10.5	10.82	106	102	104.2	24 8	0.59	—	1.5	1.1	1.25	2.86	0.07	—
7	12.3	10.0	11.09	111	97	103.1	39.9	0.96	0.37	2.3	1.2	1.70	6.14	0.15	0.08
8	12.7	10.1	11.84	121	102	112.6	251.4	6.03	—	3.1	0.6	2.16	45.84	1.10	—
9	12.4	11.3	11.87	109	103	105,7	435.7	10.46	—	3.8	1.8	2.47	90.58	2.17	—
10	12.1	11.2	11.64	122	98	109.7	272.3	6.54	—	3.0	1.4	1.98	46.41	1.11	—
11	12.2	11.4	11.62	111	99	103.6	1966.2	47.19	46.23	2.6	1.3	1.98	334.88	8.04	7.89
12	12.1	10.8	11.55	108	98	104.1	3223.4	77.36	30.17	4.2	1.5	2.84	792.17	19.01	10.97
13	6.2	1.3	3.98	70	15	45.3	21.5	0.52	—	69	26	39.42	212.85	5.11	—
14	13.3	11.6	12.03	116	101	104.8	162.4	3.90	—	3.5	1.2	2.05	27.62	0.66	—
15	12.0	10.7	11.28	107	96	100.6	3329.6	79.91	2.55	4.0	2.0	2.62	773.67	18.57	—0.44
16	12.7	11.4	11.83	111	100	104.4	319.0	7.66	—	4.3	1.2	2.56	69.10	1.66	—
17	12.9	11.4	12.00	117	101	106.0	323.5	7.76	—	5.1	1.9	3.36	90.55	2.17	—
18	11.7	11.1	11.33	105	96	100.9	3091.5	74.20	—5.71	10.5	3.3	4.74	1293.9	31.05	12.48
19	11.9	11.1	11.60	110	93	104.4	71.2	1.71	—	7.3	1.2	3.50	21.48	0.52	—
20	11.6	11.1	11.34	104	99	100.8	3265.2	78.36	4.16	11.0	2.9	4.69	1351.2	32.43	1.38
21	11.5	7.3	8.85	109	68	83.4	31.88	0.76	—	4.4	0.9	2.10	7.58	0.18	—
22	7.2	6.1	6.58	68	57	62.1	11.84	0.28	—	6.4	0.3	2.24	4.04	0.10	—
23	11.6	10.4	10.93	104	93	97.7	3146.7	72.37	—5.99	6.3	1.8	3.10	891.6	21.40	—11.03
24	11.6	10.9	11.29	103	97	100.6	1235.2	28.41	—	4.2	2.1	2.92	320.1	7.68	—
25	11.3	10.4	10.99	102	93	98.9	4885.0	117.24	44.87	3.4	1.6	2.59	1150.4	27.61	6.21
26	11.2	10.2	10.91	102	91	97.8	4851.7	116.44	—0.80	3.8	1.4	2.46	1094.8	26.28	—1.33

Die Untersuchung des Wassers aus dem Averstal und dem Valle di Lei mit Stausee wurde beim künstlichen Ausfluss in den Stausee Sufers vorgenommen. Die Werkwasserfassungen liegen in diesen Talschaften, mit Ausnahme des Dörfchens Juf, oberhalb der Dörfer, so dass der Stausee praktisch mit sauberen Gewässern gespiesen wird. In den tiefer gelegenen Fassungen werden dagegen die durch Dörfer vorbelasteten Gewässer gefasst und dem Sufersstausee zugeleitet; zudem wird ein Teil der unterhalb Innerferrera gefassten Wassermengen des Averser Rheines zur

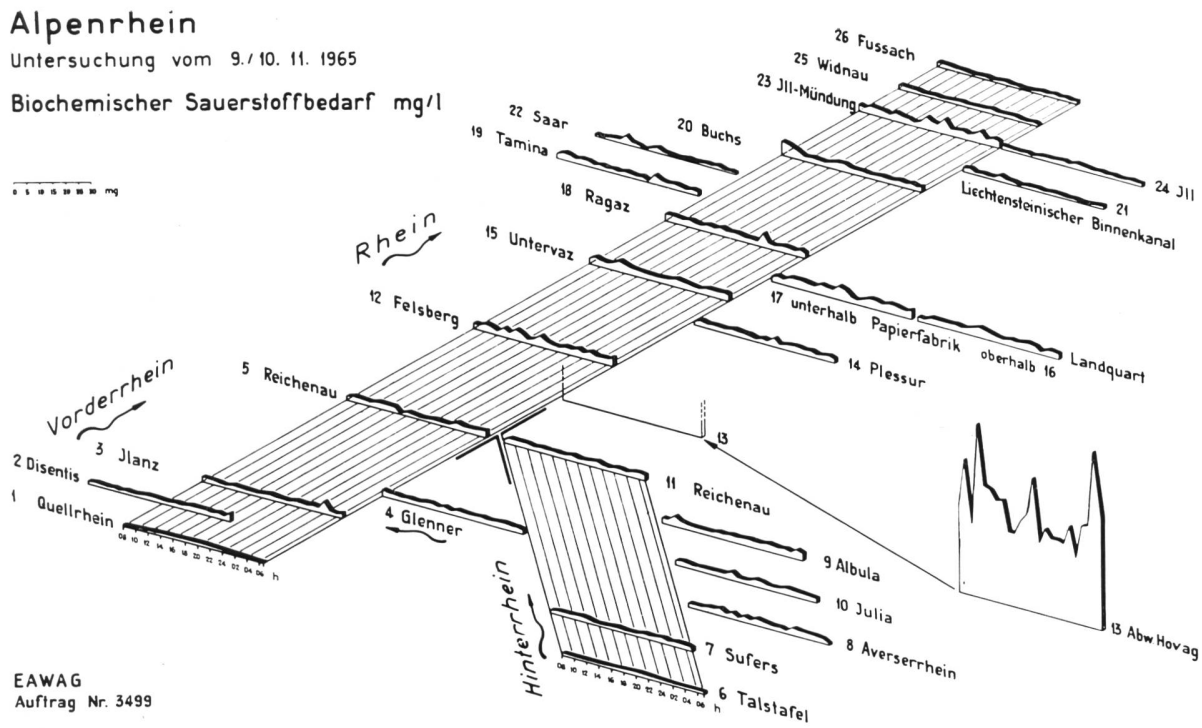


Bild 14

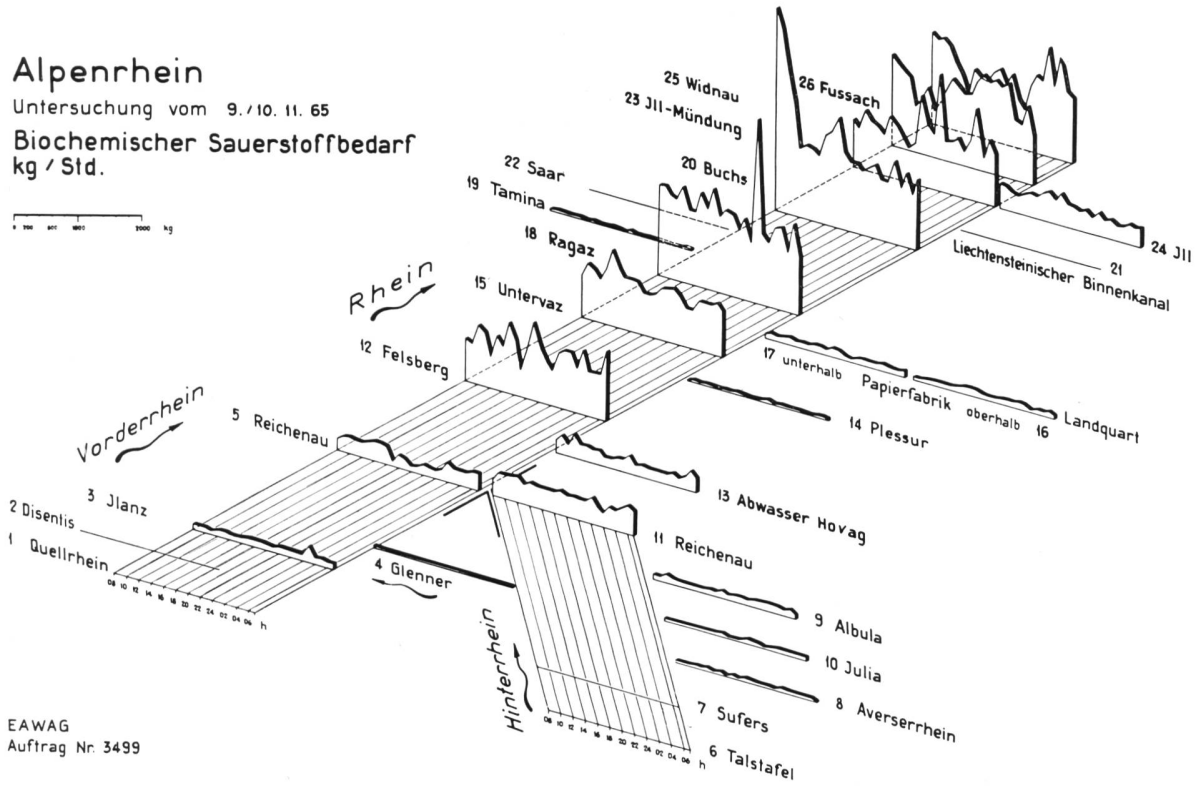


Bild 15

restlichen Füllung des grossen Speichers Valle di Lei in diesen hochgepumpt. Die chemische Qualität des an Sauerstoff leicht übersättigten Wassers ist unbedeutend verschlechtert. Die Mineralisation ist relativ gering, aber doch infolge Einbezug der aus Bündner-Schiefer bestehenden Avers-Talschaft nicht unbedeutend erhöht.

Die Albula bei Tiefencastel, die bei Filisur auch das Landwasser übernimmt, entwässert die Nordwesthänge der Gebirgskette, die das Engadin abgrenzt. Rechtsufrig fliessen nur kleine Bäche zu. Das geologisch stark gegliederte Gebiet ist für eine Karbonathärte des Wassers von rund 10 fr. °H verantwortlich. Ein hoher Sulfatgehalt von ca.

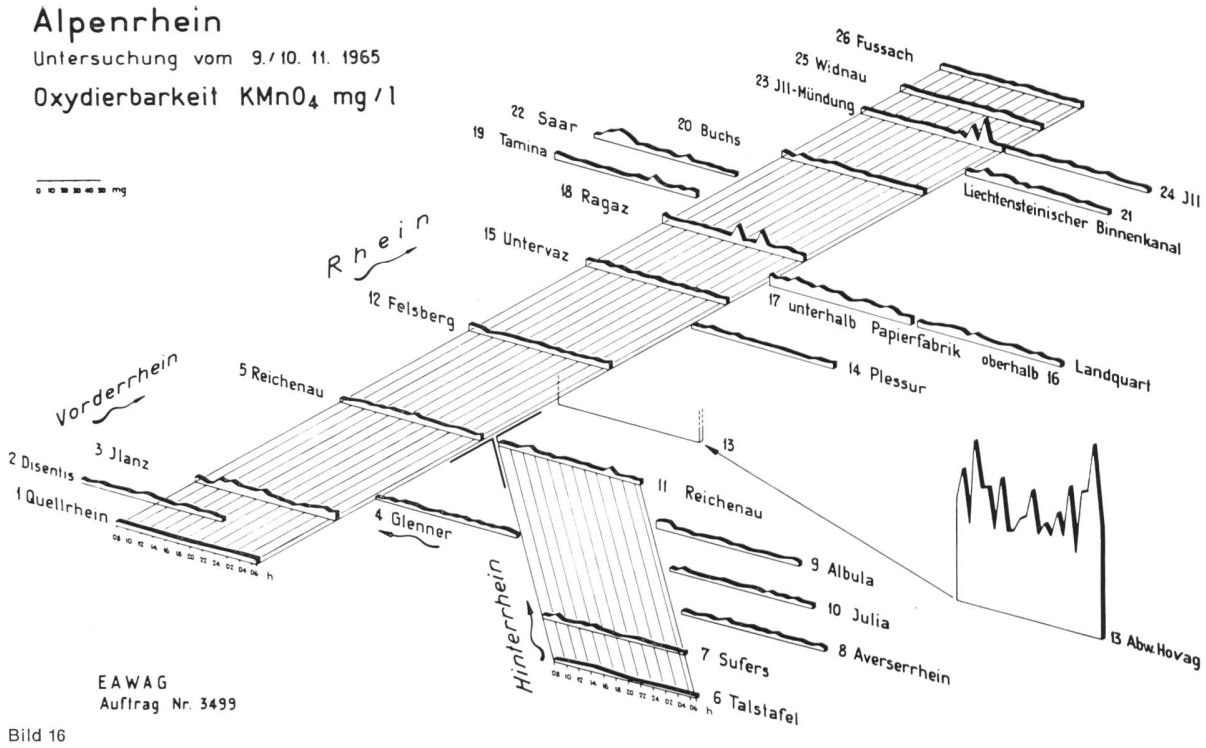


Bild 16

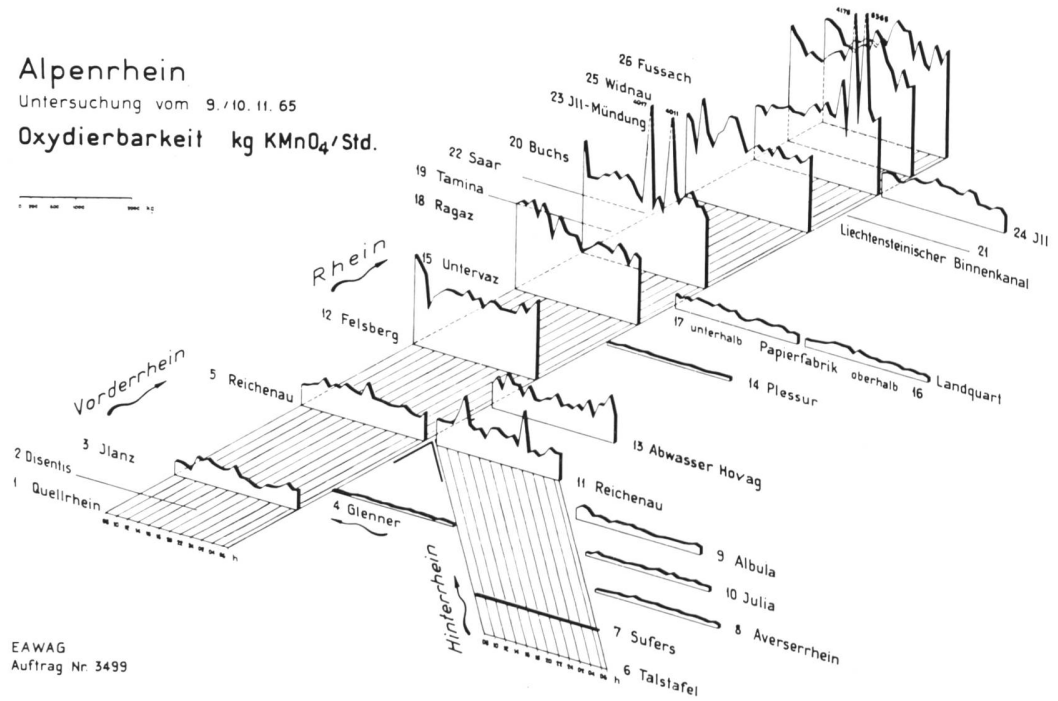


Bild 17

100 mg/l bedingt einen Anteil an bleibender Härte im Ausmass von ebenfalls 10 fr. °H. Das Wasser ist an Sauerstoff während des ganzen Tages leicht übersättigt. Der Gehalt an Stoffen, der den biochemischen Sauerstoffbedarf verursacht, liegt an dieser Stelle schon über dem für saubere Gewässer festgelegten Grenzwert von 2 mg O_2/l. Die Phosphor- und Stickstoffkomponenten zeigen an, dass dem Gewässer aus verschiedenen Talschaften grössere Abwassermengen zugeführt werden. Es treten auch grössere Tagesschwankungen auf, die einerseits durch den unterschiedlich starken Abwasseranfall im Verlaufe eines Tages und andererseits durch stark wechselnde Wasserführungen bei Kraftwerkbetrieb verursacht werden.

Das Juliawasser weist praktisch die gleiche Mineralisation auf wie die Albula. Sein Gehalt an organischen Verunreinigungen liegt aber bedeutend tiefer, dementsprechend auch die Phosphor- und Stickstoffkomponenten. Die Sauerstoffkonzentration liegt wesentlich über dem Sättigungswert. Wie weit dabei die Stauhaltung im Marmorerasee für diese Eigenschaft verantwortlich ist, bleibt noch unbestimmt. Die natürlichen Tagesschwankungen werden durch die Wasserbewirtschaftung stark verwischt. Obschon

Stelle	Oxydierbarkeit mg/l Max.	Min.	Mittel	Amplitude	Oxydierbarkeit Mittel kg/h	Tages-Summe Tonnen	Zu-/Abnahme	Chloride mg/l Max.	Min.	Mittel	Amplitude	Chloride Mittel kg/h	Tages-Summe Tonnen	Zu-/Abnahme
1	3.3	2.9	3.2	0.1	2.3	0.06	—	0.4	0.4	0.4	0.0	0.29	0.01	—
1	4.3	2.2	3.15	1.1	2.3	0.05	—	0.5	0.4	0.48	0.1	0.34	0.01	—
2	5.3	2.9	3.92	2.4	9.2	0.22	0.17	1.2	0.9	1.07	0.3	2.52	0.06	0.05
3	8.2	2.1	5.42	6.1	300.5	7.21	6.99	0.7	0.6	0.66	0.1	36.50	0.88	0.82
4	3.8	1.9	2.86	1.9	36.1	0.87	—	1.1	0.8	0.86	0.3	10.88	0.26	—
5	6.7	3.5	4.42	3.2	477.0	11.45	4.24	0.9	0.8	0.82	0.1	89.1	2.14	1.26
6	3.3	1.8	2.28	1.5	5.2	0.12	—	0.2	0.1	0.15	0.1	0.34	0.01	—
7	5.5	1.9	2.60	3.6	9.4	0.22	0.10	0.7	0.6	0.62	0.1	2.25	0.05	0.04
8	4.6	1.9	2.76	2.7	58.7	1.41	—	0.5	0.4	0.48	0.1	10.09	0.24	—
9	6.9	2.3	3.62	4.6	133.1	3.20	—	0.9	0.7	0.81	0.2	29.84	0.72	—
10	4.8	1.7	2.93	3.1	68.5	1.64	—	0.6	0.5	0.52	0.1	12.09	0.29	—
11	6.2	1.9	3.08	4.3	521.7	12.52	12.30	1.1	0.8	0.91	0.3	154.4	3.70	3.65
12	5.7	2.5	4.14	3.2	1155.1	27.72	15.20	1.1	0.8	0.90	0.3	252.4	6.06	2.36
13	150	61.6	88.55	88.4	478.1	11.48	—	122.8	2.5	8.20	120.3	44.3	1.06	—
14	4.5	2.2	3.20	2.3	43.3	1.04	—	1.7	1.1	1.38	0.6	18.7	0.45	—
15	5.6	3.4	4.37	2.2	1290.3	30.97	3.25	1.8	1.0	1.18	0.8	346.9	8.32	2.26
16	6.9	3.2	4.80	3.7	129.5	3.11	—	1.4	0.8	1.08	0.6	29.2	0.70	—
17	10.3	5.3	7.72	5.0	208.2	5.00	—	2.2	1.0	1.35	1.2	36.4	0.87	—
18	14.7	4.4	6.08	10.3	1657.7	39.79	8.82	1.7	0.4	0.64	1.3	175.1	4.20	—4.12
19	7.4	2.5	3.62	4.9	22.2	0.53	—	2.6	1.2	1.51	1.4	9.3	0.22	—
20	6.2	2.8	4.45	3.4	1280.4	30.73	—9.06	1.2	0.4	0.63	0.8	182.8	4.20	0.00
21	8.2	3.2	4.76	5.0	17.1	0.41	—	2.7	1.3	1.84	1.4	6.6	0.16	—
22	11.2	1.9	4.39	9.3	7.9	0.19	—	4.2	2.1	2.74	2.1	4.9	0.12	—
23	22.1	2.8	5.17	19.3	1489.2	35.74	5.01	1.5	0.6	0.87	0.9	250.8	6.02	1.82
24	5.4	2.8	4.04	2.6	442.3	10.62	—	2.7	1.2	1.92	1.5	209.8	5.03	—
25	5.4	3.2	4.12	2.2	1830.3	43.93	8.19	1.3	0.7	1.10	0.6	490.9	11.78	5.76
26	4.9	3.3	3.93	1.6	1748.8	41.97	—1.96	1.5	0.9	1.22	0.6	542.8	13.03	1.25

einzelne Verunreinigungsspitzen beobachtet wurden, zeigt der Chemismus der Wasser keineswegs den gleichen Verunreinigungsrhythmus wie andernorts (vgl. Kap. J).

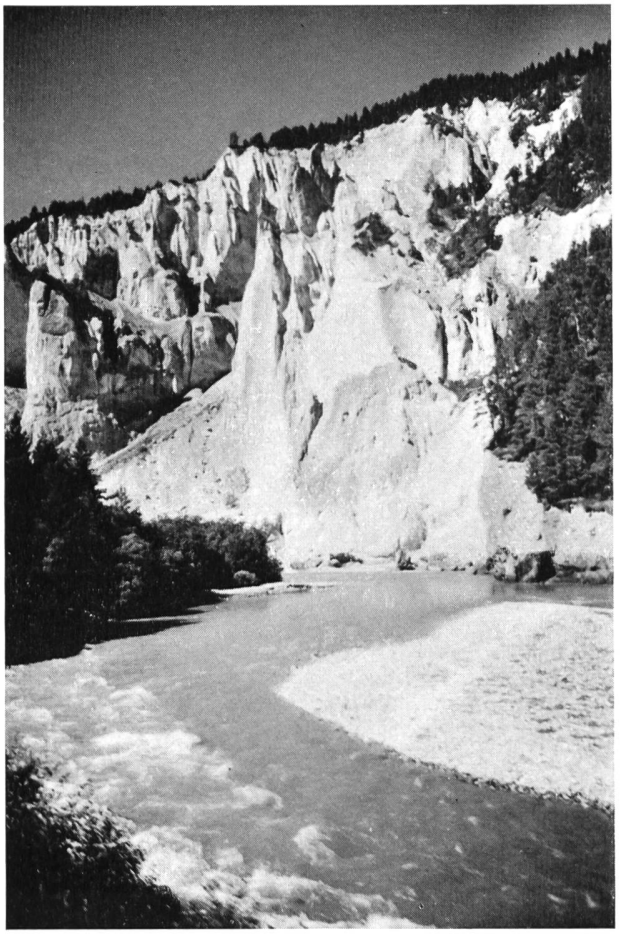
Bei Reichenau, wo dem Hinterrhein auch noch ein Teil des Valserrheins und der Rabiusa aus dem Einzugsgebiet des Vorderrheins beigemengt wird und wo sich auch die Betriebsschwankungen der Kraftwerke überlagern, weist der Hinterrhein eine etwas geringere Mineralisation auf als sein Partner Vorderrhein. Das Wasser ist praktisch an Sauerstoff gesättigt und enthält organische Verunreinigungen in einer Grössenordnung, die knapp den zulässigen Grenzwert erreicht.

Die oxydierbaren Stoffe liegen im Tagesmittel etwas günstiger als im Vorderrhein. Sie erreichen im Mittel gerade die Hälfte der für Trinkwasser zulässigen Konzentration. Von den noch in Spuren nachweisbaren Indikatoren für Abwasser, dem Ammonium und dem Phosphat, zeigten sich besonders bei der ersteren Komponente grosse Schwankungen im Tagesablauf. Der pH-Wert von im Mittel 7,9 wies eine bemerkenswerte Konstanz im Verlaufe von 24 Stunden auf, im Gegensatz zum Vorderrhein. Allerdings erfuhr der Wert eine Steigerung um mehr als eine pH-Einheit von schwach saurem Wasser im Quellgebiet bis zur Mündung. Chloride lagen in geringen Mengen mit unbedeutenden Konzentrationsänderungen vor. Da die Julia und die Albula recht hohe Sulfatmengen ableiten und über das Valsertal noch weitere gipsreiche Wasser dem Hinterrhein im Domleschg übergeben werden, liegt dementsprechend der Sulfatspiegel auch mit 64 mg/l entsprechend hoch.

3. Der Rhein von Reichenau bis Ragaz

Ems, Chur und Landquart prägen den chemischen Charakter des Rheins im obersten Teil der vereinigten Fliessstrecke. Vorderrhein und Hinterrhein gemischt geben dem

Bild 18 In tief erodierter Schlucht durchfliesst der Vorderrhein das Flimser Bergsturzgebiet (Photo G. A. Töndury).

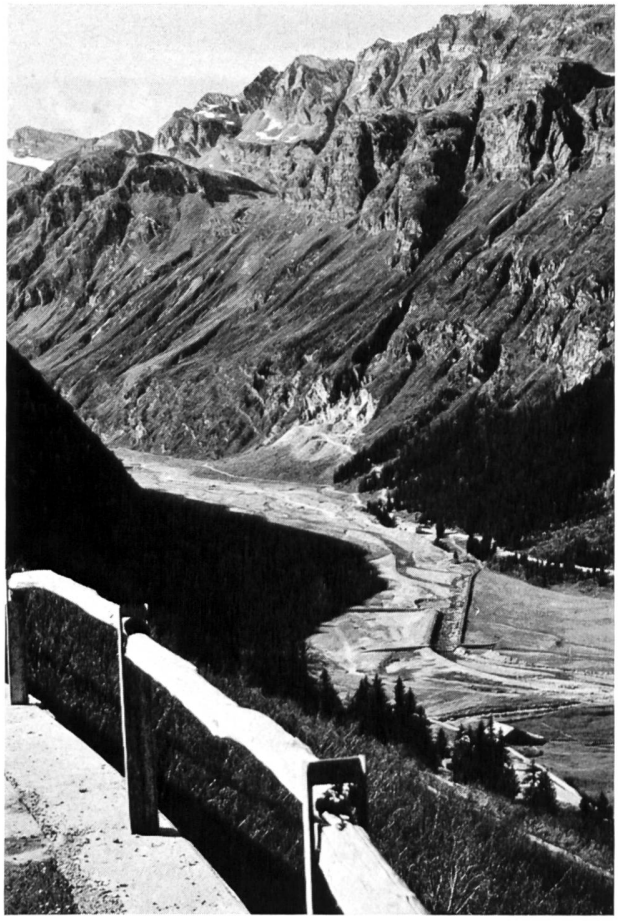


Rhein die folgende chemische Zusammensetzung (wichtigste Komponenten):

	Vorderrhein	Hinterrhein	Mischrhein	Rhein Felsberg
Sauerstoff	10,0	11,4	10,8	10,8
Biochemischer Sauerstoffbedarf mg O_2/l	1,9	1,98	1,95	2,84
Oxydierbarkeit mg KMn O_4/l	4,42	3,08	3,59	4,14
Ammonium mg N/l	0,06	0,035	0,045	0,546
Kjeldahl Stickstoff mg N/l	0,17	0,2	0,19	0,75
Phosphat mg P/l	0,008	0,07	0,0075	0,009
Schwebestoffe mg/l	15,74	16,39	16,1	13,22
Gesamthärte fr. °H	13,08	15,18	14,35	13,30
Karbonathärte fr. °H	9,16	8,58	8,7	8,09
Sulfate mg SO''_4/l	37	64	53	54
Chlorid mg Cl'/l	0,82	0,91	0,87	0,90

Die vorliegenden Berechnungen sind sehr aufschlussreich. Das Rheinwasser wird durch das Kraftwerk Reichenau I auf der Höhe von Ems so hoch gestaut, dass der Stauspiegel praktisch bis an die Vereinigungsstelle des Vorderrheins mit dem Hinterrhein reicht. Im Stauraum erfolgt naturgemäss eine weniger gute Durchmischung der Wassermassen. Je nach Temperaturbedingungen und Wasserführungen können Ueber- und Unterschichtungen die Hydrologie des Stauraumes verändern. In der Nähe des Wehres münden die Abwässer der Emserwerke AG in Ems, während sie in früheren Jahren über die Steilufer mehrere Meter tief in den Rhein hinunter stürzten, wobei durch diese «Entlüftung» je nach Art der Abwasserqualität mehr oder weniger intensive «chemische» Gerüche aus dem Abwasser in die Luft entwichen. Durch die heutige Einleitungsanordnung ist dieser Prozess unterbunden.

Bild 19 Im Quellgebiet des Hinterrheins, oberhalb des gleichnamigen Dorfes (Photo E. Märki).



Ueber das Bruttogefälle von rund 18 m vermischen sich die gesamten in den Stau einmündenden Flüsse, Bäche und Abwässer recht innig. Auf seinem Lauf Richtung Chur werden dem Rhein von rechts noch die Abwasser des Dorfes Domat/Ems zugeleitet. Dies alles ergibt nun bei Felsberg ein Wasser, das im 24 Stundenmittel wesentlich andere Eigenschaften aufweist. So hat sich der Anteil an organischen Verunreinigungen bedeutend erhöht und liegt über dem vom Standpunkt der Grundwasserinfiltration her abgeleiteten Grenzwert von 2 mg O_2/l.

Leicht erhöht wird die Oxydierbarkeit. Der Ammoniumgehalt erfuhr gar eine Vervielfachung im Ausmass des Faktors 12 und parallel dazu stieg auch die Konzentration des Kjeldahl-Stickstoffs. Eine leichte Veränderung stellte man beim Phosphatkreislauf fest. Die übrigen praktisch vom Abwasser unabhängigen Komponenten bewegten sich eindeutig in der Nähe jener Werte, die aus der Mischungsrechnung ermittelt werden konnten.

Auf die Qualität der Abwasser der Emserwerke und ihre Bedeutung für den Rhein bis zum Bodensee wird am Schluss dieses Abschnittes näher eingetreten.

Die Plessur, von der einige Analysen aus der Zeit der winterlichen Hochsaison vorliegen, weist in beiden Jahreszeiten sehr ähnliche Sauerstoffverhältnisse auf. Ueberraschenderweise war die Restbelastung mit organischen Stoffen, gemessen am biochemischen Sauerstoffbedarf, ähnlich wie im Winter. Einen Rückgang um drei Viertel, gegenüber der Hochsaison zeigen die Ammoniumkonzentrationen, und da in der Talschaft auch weniger stickstoffhaltige Abwässer in die Plessur gelangen, erfahren auch die Endprodukte der Ammoniumoxydation, die Nitrate, eine Verminderung. Besonders deutlich kommt die tote Saison bei den Phosphaten zum Ausdruck. Es ist allerdings zu berücksichtigen, dass im Winter die Schmutzstoffe etwas weniger verdünnt werden, als im Rahmen der November-Daueruntersuchung (2 m^3/s gegen 3,7 m^3/s). Somit ist auch die Verminderung der Härte und des Sulfatgehaltes von 50 auf 30 mg/l erklärlich.

Bis Untervaz, nach der Aufnahme der ungereinigten Abwasser der Stadt Chur und einiger Randgemeinden, hat sich die Karbonathärte des Wassers wenig verändert. Der Sauerstoffgehalt und damit die Sättigung erfährt als direkte Folge der biologischen Prozesse — hervorgerufen durch die im Wasser aufgeschwemmten Abwasserstoffe — eine deutliche Verminderung, analog dazu der biochemische Sauerstoffbedarf und die Stickstoffverbindungen.

Nicht unerwartet kommt die Erhöhung des Phosphorspiegels im Rheinwasser um rund 50 Prozent, bringen doch in erster Linie häusliche Abwasser Phosphor ins Gewässer.

Die Landquart führte am Untersuchungstag rund die doppelte Wassermenge wie die Plessur. Ihre Karbonathärte lag in der gleichen Höhe wie diejenige der Julia; sie führte aber etwas weniger als die Hälfte der Gipskonzentration. Das Wasser war sowohl oberhalb als auch unterhalb der Papierfabrik an Sauerstoff gesättigt, erfuhr aber durch deren Abwässer, gemessen am BSB_5 und an der Oxydierbarkeit, eine starke Erhöhung des Gehaltes an organischen Verunreinigungen. Dies wird durch die massive Steigerung des Ammoniumgehaltes noch unterstrichen. Etwas merkwürdig mutete die Reduktion der Phosphate an. Sie dürfte unter Umständen mit Adsorptionsprozessen an Schwebestoffen zusammenhängen, die insbesondere tags-

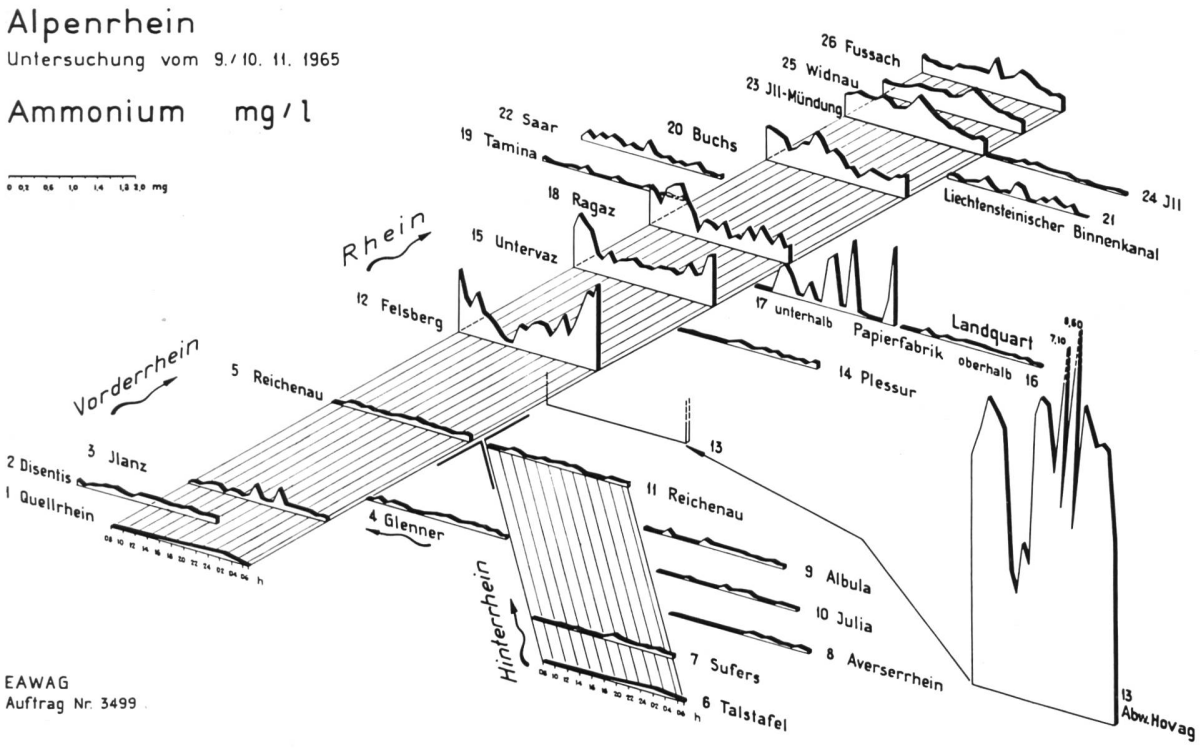


Bild 20

AMMONIUM UND NITRITE

Tabelle 6

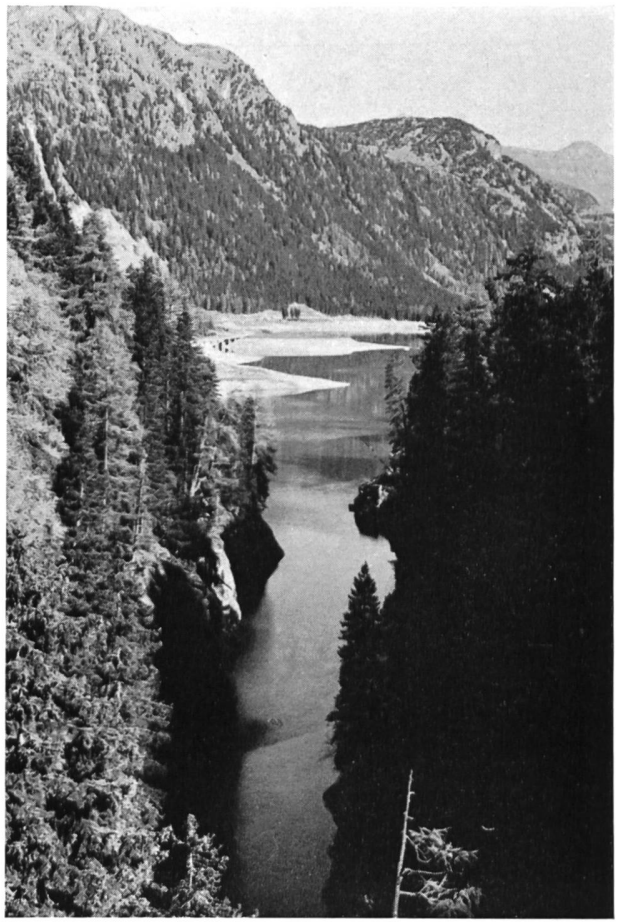
Stelle	Ammonium mg/l Max.	Min.	Mittel	Amplitude	Ammonium Mittel kg/h	Tages-Summe kg	Zu-/Abnahme	Nitrit mg/l Max.	Min.	Mittel	Amplitude	Nitrit Mittel kg/h	Tages-Summe kg	Zu-/Abnahme
1	0.08	0	0.04	0.08	0.03	0.1	—	0	0	0	0	0	0	—
1	0.08	0	0.04	0.08	0.02	0.1								
2	0.10	0.01	0.077	0.09	0.18	4.3	4.2	0.005	0.002	0.004	0.003	0.009	0.21	0.21
3	0.31	0	0.075	0.31	4.14	99.2	94.9	0.006	0.001	0.002	0.005	0.129	3.10	2.89
4	0.08	0	0.044	0.08	0.55	13.2	—	0.002	0	0.001	0.002	0.014	0.33	—
5	0.10	0	0.060	0.10	6.52	156.6	57.4	0.005	0.001	0.003	0.004	0.279	6.70	3.60
6	0.06	0	0.025	0.06	0.06	0.2	—	0	0	0	0	0	0	—
7	0.09	0	0.031	0.09	0.11	2.7	2.5	0.003	0	0.001	0.003	0.005	0.13	0.13
8	0.05	0	0.018	0.05	0.39	9.3	—	0.002	0	0	0.002	0.011	0.26	—
9	0.10	0	0.042	0.10	1.53	36.7	—	0.005	0.002	0.003	0.003	0.095	2.28	—
10	0.07	0	0.022	0.07	0.51	12.2	—	0.001	0	0	0.001	0.007	0.16	—
11	0.08	0	0.035	0.08	5.92	142.1	139.4	0.004	0	0.002	0.004	0.331	7.95	7.82
12	1.36	0.06	0.546	1.30	152.50	3660.0	3517.9	0.010	0.004	0.007	0.006	1.861	44.67	36.72
13	8.60	1.62	3.984	6.98	21.51	516.3	—	1.000	0.322	0.449	0.678	2.426	58.22	—
14	0.09	0	0.038	0.09	0.51	12.3	—	0.006	0.001	0.003	0.005	0.038	0.91	—
15	0.84	0.21	0.442	0.63	130.40	3129.1	—530.9	0.011	0.004	0.007	0.007	2.116	50.77	6.10
16	0.08	0	0.033	0.08	0.89	21.3	—	0.005	0.001	0.002	0.004	0.054	1.29	—
17	1.22	0	0.265	1.22	7.13	171.2	—	0.009	0.001	0.004	0.008	0.116	2.78	—
18	0.76	0.10	0.369	0.66	100.74	2417.7	—711.4	0.015	0.002	0.009	0.013	2.388	57.31	6.54
19	0.09	0	0.021	0.09	0.13	3.1	—	0.006	0	0.002	0.006	0.010	0.25	—
20	0.64	0.11	0.341	0.53	98.16	2355.8	—61.9	0.015	0	0.010	0.015	2.796	67.10	9.79
21	0.22	0	0.062	0.22	0.22	5.3	—	0.038	0.006	0.022	0.032	0.078	1.88	—
22	0.26	0	0.093	0.26	0.17	4.0	—	0.053	0	0.009	0.053	0.015	0.37	—
23	0.62	0.20	0.361	0.42	103.92	2494.1	138.3	0.015	0.010	0.012	0.005	3.420	82.08	14.98
24	0.06	0	0.035	0.06	3.78	90.8	—	0.005	0.001	0.003	0.004	0.369	8.86	—
25	0.47	0.17	0.268	0.30	119.30	2863.2	369.1	0.014	0.010	0.011	0.004	5.020	120.5	38.42
26	0.52	0.17	0.273	0.35	121.34	2912.1	48.9	0.014	0.009	0.011	0.005	4.891	117.4	—3.1

über sich bemerkbar machten und eine ähnliche Trübung wie im Vorder- und Hinterrhein verursachten.

Zwischen Untervaz und R a g a z verliert der Rhein Wassermengen durch Versickerung in das Grundwasser, die für 1965 im Jahresmittel ca. 4 m³/s erreichten. Es ist daher von grosser Bedeutung für die Qualität des Grundwassers, dass das infiltrierende Rheinwasser sehr arm an organischen, schwer abbaubaren geschmacks- und geruchsintensiven Stoffen ist. Andernfalls könnte eine massive Entwertung des Grundwassers die Folge sein.

Stelle	Nitrat mg/l				Nitrat			Kjeldahl — N mg/l				Kjeldahl — N		
	Max.	Min.	Mittel	Amplitude	Mittel kg/h	Tages-Summe kg	Zu-/Abnahme	Max.	Min.	Mittel	Amplitude	Mittel kg/h	Tages-Summe kg	Zu-/Abnahme
1	0.2	0.2	0.2	0.0	0.14	3.5	—	0.2	0.2	0.2	0.0	0.14	3.4	
1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.07	1.7		0.2	0.1	0.2	0.1	0.08	2.1	—
2	1.0	0.5	0.62	0.5	1.45	34.9	32.9	0.2	0.1	0.2	0.1	0.35	8.40	5.0
3	0.4	0.3	0.37	0.1	20.33	487.9	453.0	0.2	0.2	0.2	0.2	11.09	266.2	257.8
4	0.4	0.2	0.26	0.2	3.31	79.5	—	0.2	0.2	0.2	0.2	2.59	62.2	—
5	0.4	0.2	0.30	0.2	32.85	788.4	300.5	0.2	0.1	0.2	0.1	18.9	453.6	187.4
6	0.3	0.2	0.22	0.1	0.51	12.3	—	0.2	0.1	0.2	0.1	0.29	6.9	—
7	0.3	0.2	0.27	0.1	0.96	23.0	10.7	0.2	0.1	0.2	0.1	0.54	12.96	6.06
8	0.2	0.2	0.20	0.0	4.25	101.9	—	0.2	0.2	0.2	0.2	4.25	102.0	—
9	0.3	0.2	0.28	0.1	10.25	246.0	—	0.2	0.2	0.2	0.2	7.34	176.1	—
10	0.3	0.2	0.21	0.1	4.97	119.3	—	0.2	0.1	0.2	0.1	3.51	84.24	—
11	0.4	0.2	0.28	0.2	47.94	1150.6	1127.6	0.2	0.2	0.2	0.2	33.84	812.2	799.24
12	0.5	0.3	0.36	0.2	100.04	2400.9	1273.3	1.0	0.4	1.0	0.4	209.25	5022	4210
13	8.6	2.0	5.02	6.6	27.11	650.7	—	86.0	43.0	86.0	43.0	317.25	7614	—
14	0.4	0.3	0.35	0.1	4.78	114.8	—	0.4	0.2	0.4	0.2	4.05	97.2	—
15	0.5	0.3	0.36	0.2	105.78	2538.7	137.8	0.6	0.3	0.6	0.3	140.2	3365	—1657
16	0.4	0.2	0.32	0.2	8.54	204.9	—	0.9	0.6	0.9	0.6	20.92	502.2	—
17	0.5	0.3	0.37	0.2	10.00	240.0	—	0.8	0.6	0.8	0.6	19.6	469.8	—
18	0.6	0.2	0.38	0.4	103.47	2483.2	—55.5	1.16	0.62	1.16	0.62	217.6	5223	1858
19	0.4	0.2	0.27	0.2	1.64	39.3	—	0.49	0.20	0.49	0.20	1.90	45.5	—
20	0.6	0	0.41	0.6	117.60	2822.4	339.2	0.64	0.49	0.64	0.49	159.8	3836	—1387
21	1.0	0.5	0.82	0.5	2.96	70.9		1.01	0.76	1.01	0.76	3.23	77.6	—
22	1.4	0.8	1.26	0.6	2.26	54.4	—	1.04	0.89	1.04	0.89	1.48	35.6	—
23	0.5	0.4	0.47	0.1	136.80	3283.2	460.8	0.57	0.46	0.57	0.46	141.85	3404	—432
24	0.5	0.4	0.44	0.1	48.34	1160.1	—	0.30	0.26	0.30	0.26	30.37	728.8	—
25	0.7	0.5	0.55	0.2	242.68	5824.3	2541.1	0.57	0.42	0.57	0.42	212.3	5095	1691
26	0.6	0.5	0.55	0.1	246.38	5913.2	88.9	0.47	0.39	0.47	0.39	190.1	4562	—533

Bild 21 Hinterrhein-Landschaft im obern Staubereich des Speichersees Sufers, Blick talauswärts (Photo E. Märki).



Während die Sauerstoffsättigung auf der Zwischenstrecke von Untervaz bis Ragaz praktisch keine Aenderung erfuhr, traten in den Konzentrationen von organischen Verunreinigungen grössere Schwankungen auf, deren Herkunft nur vermutet werden kann. Mit über 4,7 mg O_2/l erreicht der Alpenrhein an dieser Stelle die maximale Verunreinigung mit biochemisch abbaubaren Stoffen, die flussaufwärts zustande kam. Im Tagesablauf zeigte auch der Ammoniumgehalt Unterschiede auf, genau wie in Felsberg und Untervaz. Sie sind ganz eindeutig auf noch weit grössere Tages-Schwankungen im Abwasser der Emserwerke und der Siedlungen Domat/Ems, sowie von Chur und Landquart zurückzuführen. Die Nachtspitzen an Stickstoffverbindungen im Abwasser der Emserwerke liessen sich zwei Stunden später etwa bei Felsberg und wiederum im gleichen Zeitabstand in Untervaz und auch bei Ragaz feststellen.

4. Der Rhein von Ragaz bis zum Bodensee

In der Tamina werden die Abwässer aus den Siedlungen im Calfeisental dem Rhein zugeführt. Leicht an Sauerstoff übersättigt, aber relativ stark mit organischen Stoffen belastet, muss daneben der Ammoniumgehalt des Flusswassers eher als gering bezeichnet werden. Die Härteverhältnisse widerspiegeln den geologischen Aufbau des Calfeisentales, das von verschiedenen Sedimentgesteinen gebildet wird.

Während von Ragaz an flussaufwärts im Wasser keine Detergentien nachgewiesen werden konnten, traten Richtung Bodensee sporadisch sowohl im Rhein als auch in den Nebenflüssen vereinzelte messbare Mengen auf.

Der Sauerstoffgehalt der Saar, die über eine Pumpstation aus einem tiefergelegenen Gerinne in den Rhein gepumpt werden muss, ist sehr gering. Das Wasser blieb

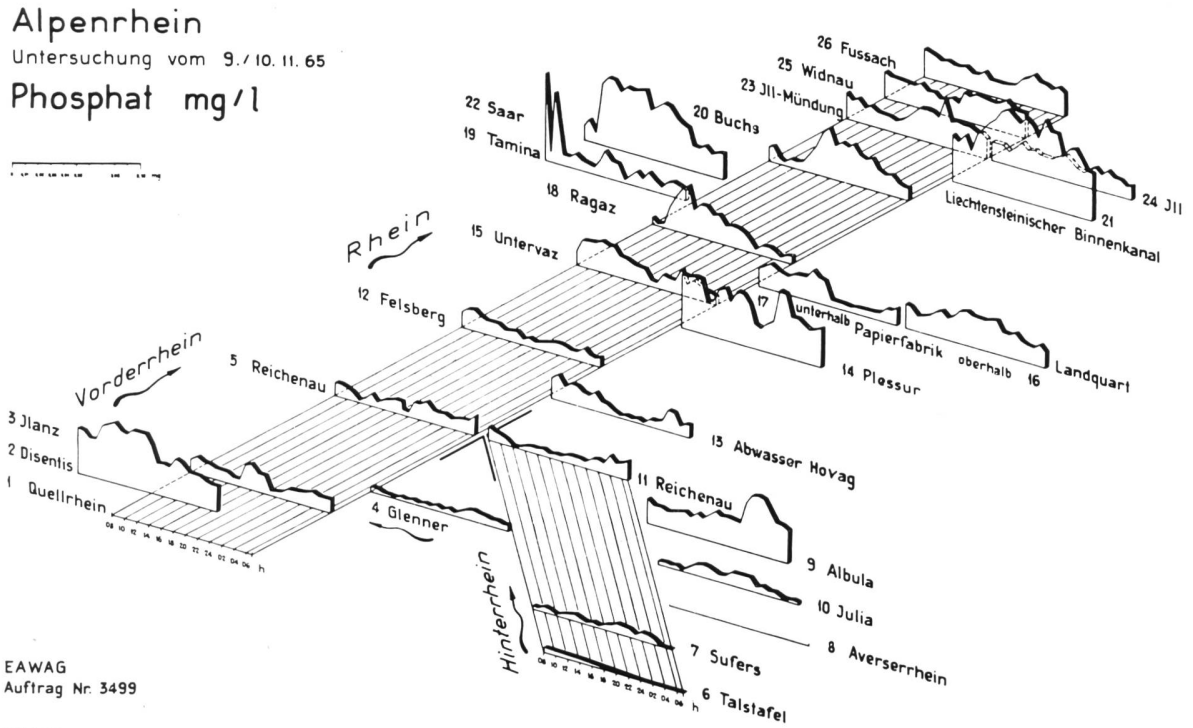


Bild 22

PHOSPHORVERBINDUNGEN UND KARBONATHÄRTE — Tabelle 8

Stelle	Phosphate mg/l				Phosphate			Gesamt Phosphor			Karbonathärte	
	Max.	Min.	Mittel	Amplitude	Mittel kg/h	Tages-Summe kg	Zu-/Abnahme	Mittel mg/l	Tages-Summe kg	Zu-/Abnahme	Mittel	Zu-/Abnahme
1	0.007	0.001	0.004	0.006	0.003	0.07	—	0.0090	0.16	—	1.31	—
1	0.003	0.001	0.0015	0.002	0.001	0.02		0.0010	0.19		2.81	
2	0.047	0.020	0.033	0.027	0.078	1.86	1.81	0.0540	3.03	2.84	6.27	3.46
3	0.020	0.003	0.010	0.017	0.541	12.97	11.11	0.0495	65.86	62.83	6.50	0.33
4	0.008	0.001	0.004	0.007	0.048	1.16	—	0.0105	3.26	—	13.00	—
5	0.015	0.001	0.008	0.014	0.909	21.82	8.85	0.0310	80.40	17.67	9.16	2.66
6	0.004	0	0.002	0.004	0.005	0.11	—	0.0095	0.11	—	1.00	—
7	0.007	0	0.003	0.007	0.012	0.29	0.18	0.0140	1.21	1.16	8.01	7.01
8	0.002	0	0.001	0.002	0.020	0.49	—	0.0105	5.35	—	4.60	—
9	0.046	0.013	0.024	0.033	0.892	21.41	—	0.0415	46.57	—	9.94	—
10	0.010	0.001	0.005	0.009	0.120	2.88	—	0.0150	8.42	—	9.74	—
11	0.015	0.001	0.007	0.014	1.121	26.90	26.61	0.0250	101.52	100.31	8.58	0.57
12	0.016	0.004	0.009	0.012	2.466	59.19	32.29	0.0270	180.80	79.28	8.09	—0.49
13	0.020	0.001	0.009	0.019	0.050	1.21	—	0.0161	20.86	—	10.75	—
14	0.051	0.017	0.034	0.034	0.453	10.87	—	0.0520	16.85	—	14.14	—
15	0.024	0.004	0.014	0.020	4.034	96.83	37.64	0.0315	223.10	42.30	8.51	8.42
16	0.026	0.012	0.019	0.014	0.510	12.24	—	0.0325	21.06	—	9.38	—
17	0.024	0.004	0.012	0.020	0.326	7.82	—	0.0100	6.48	—	9.76	—
18	0.038	0.001	0.014	0.037	3.957	94.96	—1.87	0.0370	242.4	19.3	8.77	0.26
19	0.068	0.002	0.014	0.066	0.085	2.05	—	0.0260	3.81	—	12.12	—
20	0.039	0.002	0.017	0.037	4.944	118.66	23.70	0.0415	268.89	26.49	9.17	0.40
21	0.069	0.028	0.051	0.041	0.185	4.44	—	0.0535	4.62	—	14.05	—
22	0.054	0.011	0.035	0.043	0.062	1.50	—	0.0490	2.11	—	19.24	—
23	0.036	0.009	0.018	0.027	5.268	126.43	7.77	0.0375	259.2	—9.69	9.93	0.76
24	0.020	0.009	0.015	0.011	1.619	38.86	—	0.0410	107.68	—	10.98	—
25	0.025	0.011	0.018	0.014	8.151	195.62	69.19	0.0365	389.4	130.2	10.50	0.57
26	0.025	0.012	0.017	0.013	7.725	185.40	—10.20	0.0315	336.1	—53.3	10.67	0.17

ganztägig untersättigt. Die Ursache dürfte in der Speisung durch Grundwasservorkommen und Drainagen zu suchen sein. Von allen im Kontrollprogramm figurierenden Stellen lieferte die Saar die höchsten, eher noch bescheidenen Chloridwerte — im Mittel von 2,7 mg/l. Naturgemäss kommen sowohl Stickstoff- als auch Phosphorverbindungen im Saarwasser vor, die ihren Ursprung in der Abwassereinleitung haben.

Stelle	Schwebestoffe mg/l				Schwebestoffe		
	Max.	Min.	Mittel	Amplitude	Mittel kg/h	Tages-Summe Tonnen	Zu-/Abnahme
1	1.4	0.1	0.85	1.3	0.6	0.01	—
1	1.7	0.6	1.08	1.1	0.8	0.02	
2	17.6	9.9	13.32	7.7	31.4	0.75	0.74
3	61.0	16.2	33.77	44.8	1872	44.93	44.18
4	5.4	1.4	3.60	4.0	45.5	1.09	—
5	28.0	7.0	15.74	21.0	1700	40.80	—4.13
6	2.5	0.5	1.38	2.0	3.1	0.08	—
7	27.3	6.3	10.58	21.0	38.1	0.91	0.83
8	6.2	0.2	2.01	6.0	42.8	1.03	—
9	24.1	2.1	9.93	22.0	364.8	8.75	—
10	7.7	1.2	2.79	6.5	65.2	1.57	—
11	59.1	3.9	16.39	55.2	2773	66.55	65.64
12	27.5	7.7	13.22	19.8	3692	88.61	22.06
13	34.8	4.9	11.47	29.9	61.9	1.49	—
14	21.2	3.3	10.47	17.9	141.3	3.39	—
15	27.7	7.0	16.42	27.0	4849	116.37	27.76
16	20.5	3.3	11.02	17.2	297.2	7.13	—
17	20.4	2.4	10.50	18.0	283.0	6.79	—
18	28.8	10.2	21.42	18.6	5846	140.32	23.95
19	8.4	1.2	4.04	7.2	24.8	0.59	—
20	37.2	18.2	24.72	19.0	7121	170.90	30.58
21	7.8	1.8	4.11	6.0	14.8	0.36	—
22	41.4	0.4	13.12	41.0	23.6	0.57	—
23	56.6	16.5	35.51	40.1	10228	245.46	74.56
24	59.8	20.0	37.04	39.8	4054	97.29	—
25	57.0	23.2	34.02	33.8	15128	363.06	117.60
26	55.0	17.0	26.88	38.0	11949	286.77	—76.29

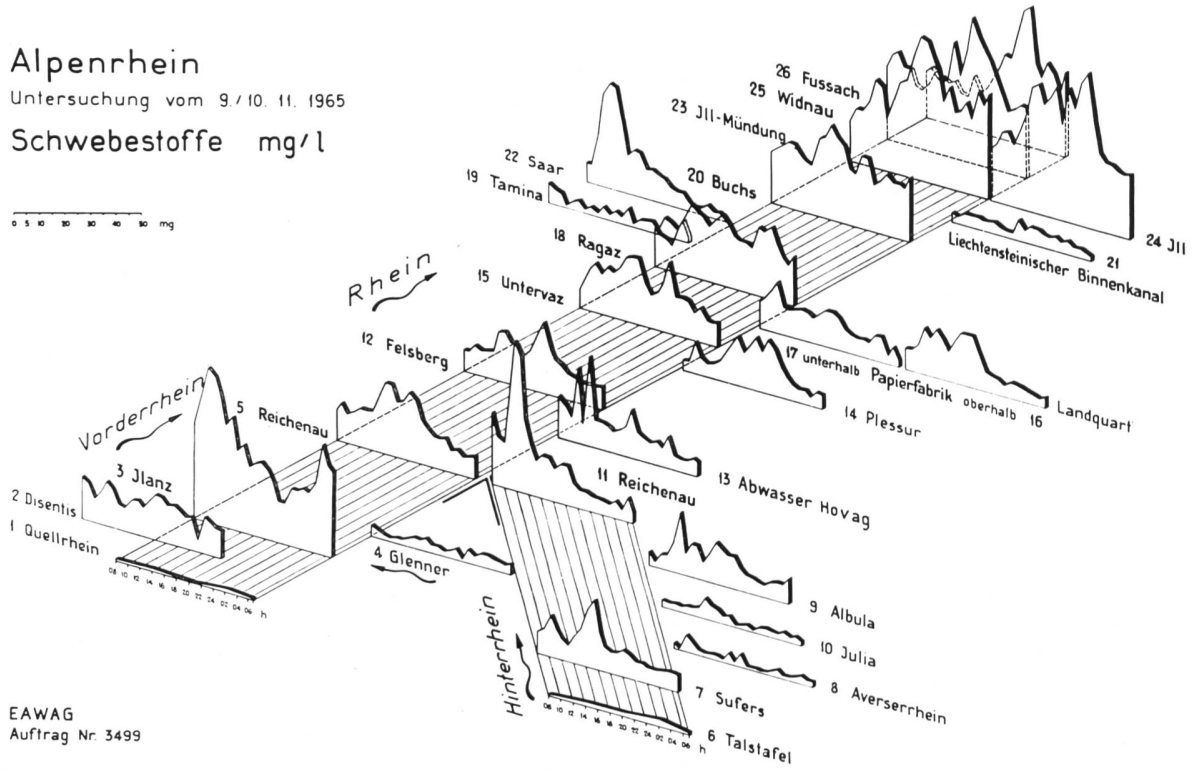
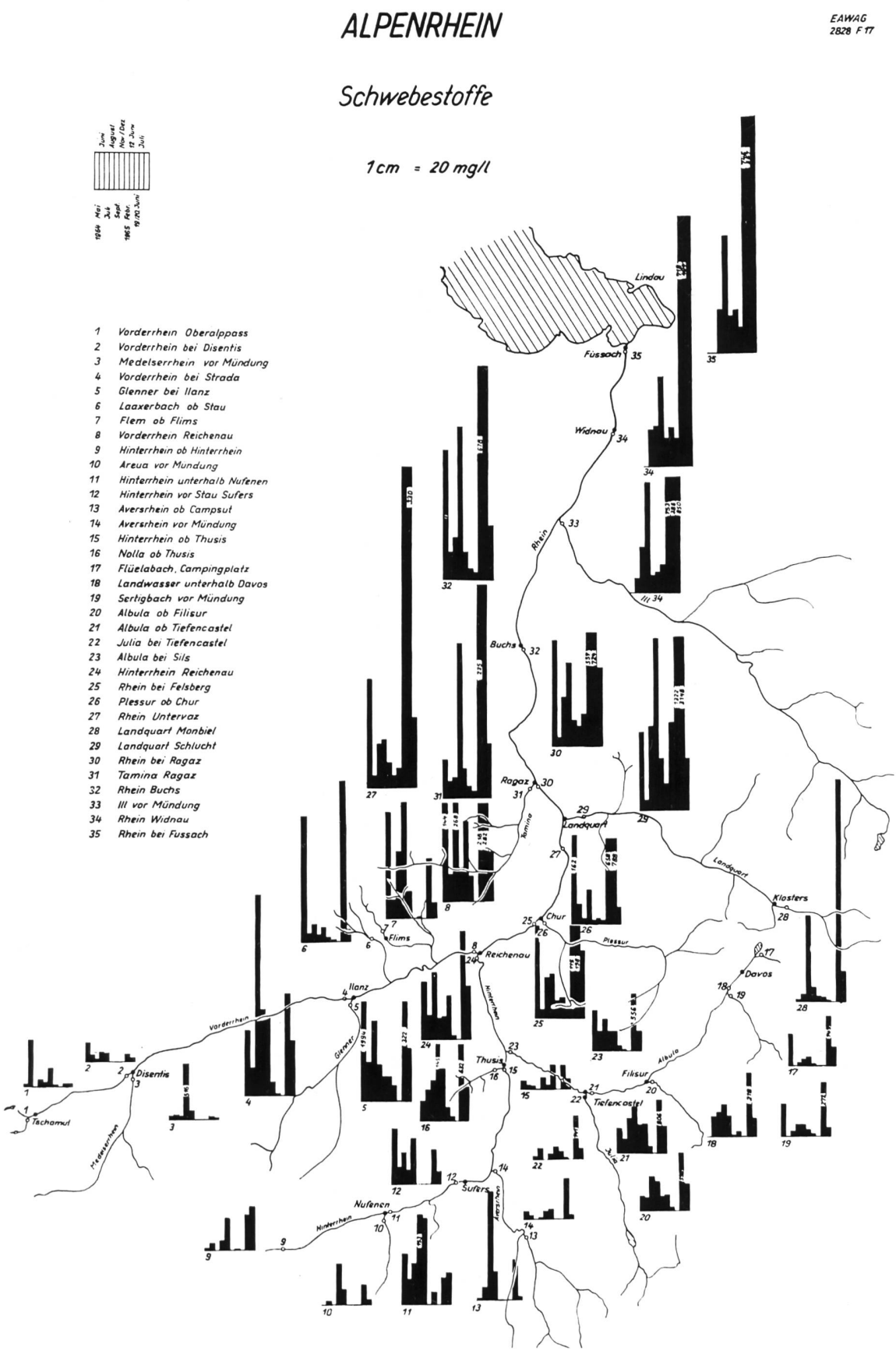


Bild 23

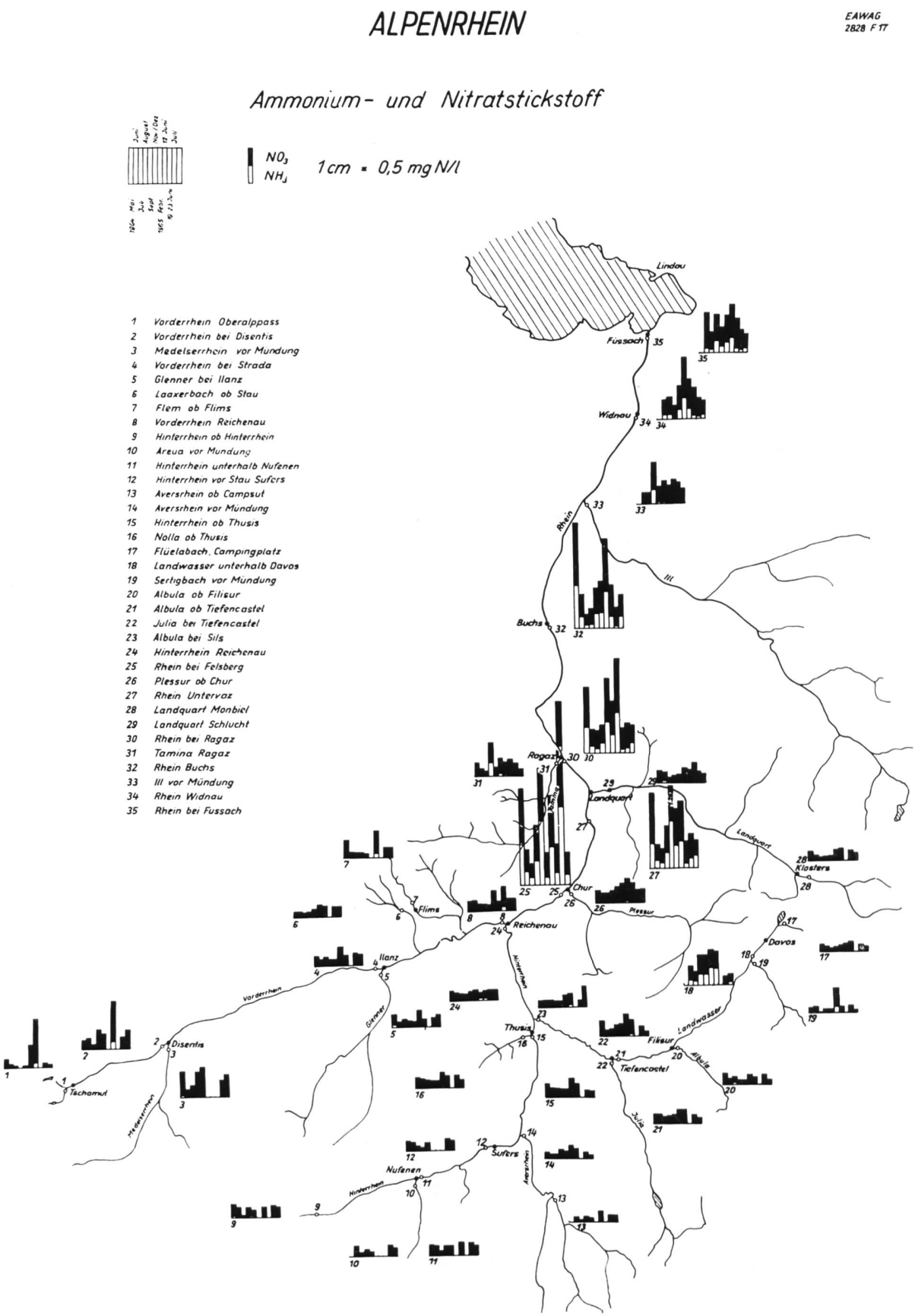
Der Rhein bis Buchs durchfliesst eine etwa 20 km lange sogenannte Selbstreinigungsstrecke, das heisst eine Fliessstrecke, längs der nur unbedeutende Schmutzstoffzufuhren erfolgen, dagegen ein bedeutender Teil der Abwasserlast abgebaut, eliminiert und umgesetzt wird. Die Sättigung an Sauerstoff bleibt unverändert, der biochemische Sauerstoffbedarf und der Ammoniumgehalt erfahren zwar nur eine geringe Reduktion, und der Phosphatgehalt sowie die Mineralisation bleiben erwartungsgemäss unverändert.

Bild 24 Ergebnisse der Untersuchungen vom Mai 1964 bis August 1965 betreffend Schwebestoffe.



Der grösste Teil des Fürstentums Liechtenstein entwässert in den rechtsufrigen Binnenkanal. Damit erfolgt eine spezifisch hohe Belastung des Gewässers mit täglichen Schwankungen, die zu einem ausgeprägten Sauerstoffdefizit führt. Das Kanalwasser enthielt überraschenderweise die höchsten Phosphatwerte aller gemessenen

Bild 25 Ergebnisse der Untersuchungen vom Mai 1964 bis August 1965 betreffend Ammonium und Nitratstickstoff.



Stellen, was vor allem auf den hohen spezifischen Anteil an häuslichen Abwässern zurückzuführen ist. Der Binnenkanal weist mit 20 Einwohnern pro Sekundenliter Vorflut eine beinahe untragbar hohe Belastung auf. Vergleichsweise steht beim Vorderrhein für 0,9 Einwohner und beim Hinterrhein gar für 0,5 Einwohner ein Sekundenliter Vorflut zur Verfügung.

Auf der weiteren 14 km messenden Rheinstrecke bis zur Mündung der Ill werden praktisch nur die Wasser aus Liechtenstein übernommen; im Tagesmittel blieben sie an Sauerstoff leicht untersättigt. In dieser Fliessstrecke erfolgt ein reger biochemischer Abbau der organischen Körper. Mit 2,24 mg O_2/l ist praktisch die Hälfte der zugeführten organischen Stoffe aus dem Wasser verschwunden. Nicht dagegen das Ammonium, das zusammen mit dem organisch-gebundenen Stickstoff beim Selbstreinigungsprozess über die Verbindung Nitrit zu Nitrat umgewandelt wird.

Die einen wesentlichen Teil des Landes Vorarlberg entwässernde Ill war mit rund 30 m^3/s an der Wasserführung des Rheins beteiligt. Mit diesem Anteil wird sie in die Lage versetzt, den biochemischen Zustand des Rheins wesentlich zu beeinflussen. Die Ill lieferte am Untersuchungstag ein etwas trüberes Wasser als der Rhein, und ihr Mineralisationsgrad lag um rund 50 Prozent höher. 100 mg Sulfat pro Liter sind die Ursache für den Anstieg der Gesamthärte auf über 21 fr. ° Härte. Deutlich höher als der zulässige Grenzwert lag der biochemische Sauerstoffbedarf der Ill. Die übrigen wichtigen Abwasserindikatoren bewegten sich in relativ bescheidenen Grenzen.

Das Rheinwasser erfährt in Widnau, dank der Ill, eine Aufwertung der Sulfate und der Karbonathärte. Die letzten 20 bis 30 km Rheinstrecke von der Illmündung bis Widnau resp. Fussach führen zu einem für den Bodensee willkommenen weiteren Abbau der organischen Verunreinigungen, freilich ohne dass damit ein gleich hoher Abbau der Stickstoff- und Phosphorverbindungen verbunden wäre. Für die Phosphorverbindungen käme lediglich eine Adsorption an tonigen Schwebestoffen in Frage, die aber am Untersuchungstag praktisch im Unterlauf des Rheins fehlten.

Der Rhein besitzt bei seiner Einmündung in den Bodensee eine Wasserqualität, die vergleichbar ist mit derjenigen der Landquart oberhalb der Papierfabrik. Ohne Zweifel genügte aber die gesamte 100 km lange Fliessstrecke mit einem Gefälle von 184 m noch nicht, um die belastenden Stoffe soweit abzubauen, dass die Ausgangsqualität, wie sie sich in Reichenau präsentiert, wieder erreicht wurde.

Es darf aber sicher erwartet werden, dass mit der allgemeinen Einführung der Abwasserreinigung im Einzugsgebiet ein derart grosser Anteil von Belastung wegfällt, dass damit eine entscheidende Entlastung für das Gewässer erreicht wird.

Die Emserwerke AG in Ems (früher Holzverzuckerungs AG), die einen Abwasseranfall von rund 1,5 m^3/s verzeichnen, produzieren neben häuslichem Abwasser vor allem chemisches Abwasser mit sehr unterschiedlichen Qualitäten aus der Fabrikation. Die stündliche Kontrolle ergab erwartungsgemäss Aufschluss über die Schwankungen in der Beschaffenheit der Abwasser. Trotz der relativ hohen organischen Belastung brach der Sauerstoffgehalt nicht vollständig zusammen. Nachts traten allerdings mehrmals Spitzenkonzentrationen auf, die eine hohe Sauerstoffzehrung zur Folge hatten. Diese Zustände können nur auf die Einleitung grösserer Mengen stark reduzierender Stoffe zurückgeführt werden. Es ist wohl dem grossen Wasserverbrauch zuzuschreiben, dass ein minimaler Sauerstoffgehalt von ca. 1 mg/l noch erhalten bleibt. Ein ausserordentliches Ausmass nahmen die abgeleiteten Stickstoffverbindungen an und zwar fielen nachts rund 50 Prozent höhere Mengen an als tagsüber. Phosphate stammen in erster Linie aus den Sanitäranlagen.

Die Menge der biochemisch abbaubaren Stoffe steigt pro Tag auf rund 5000 kg und reicht theoretisch aus, um dem Rheinwasser 7 Prozent des Sauerstoffvorrates zu entziehen. Bei noch geringerer Wasserführung steigt dieser Prozentwert proportional an.

Wenn über die Abwasser der Emserwerke rund 500 kg Ammonium abgeleitet werden, so erreicht der Anteil der nach der Methode Kjeldahl bestimmten Stickstoffmenge eine Grössenordnung von über 7 Tonnen pro Tag.

Rechnet man diesen Anfall vergleichsweise auf Einwohnergleichwerte um, so resultieren sehr aufschlussreiche Hinweise über die Bedeutung dieser Abwässer für die Rheinbiozönose im Unterlauf. Es fielen am Untersuchungstag Stickstoffmengen im Abwasser der Emserwerke an, die einem Einwohnergleichwert von 700 000 entsprechen, während die 5000 kg BSB_5 einem solchen von 100 000 vergleichbar sind!

Da in der Papierfabrik Landquart keine Proben direkt an einem Sammelkanal gefasst werden konnten, musste die Schmutzstofflast durch eine Differenzrechnung ermittelt werden. Die Sauerstoffsättigung der Landquart wurde durch die Papierabwässer nicht beeinflusst. Um 510 kg pro Tag nimmt der Gehalt an biochemisch abbaubaren Stoffen zu, was einem Einwohnergleichwert von rund 10 000 entspricht. Die Oxydierbarkeit wird mit 1900 kg einer Einwohnerzahl von ca. 15 000 vergleichbar sein, und auch die 180 kg Stickstoff im Kanal ergeben die gleiche Anzahl.

BAKTERIOLOGISCHE UNTERSUCHUNG

An allen Untersuchungsstellen wurde die Grössenordnung der Anzahl Escherichia Coli resp. der coliformen Bakterien ermittelt. Erwartungsgemäss zeigten diese Unterlagen grosse Schwankungen auf, und die Resultate sollen deshalb nicht im Detail kommentiert werden.

In beiden Quellgebieten, dem Vorder- und dem Hinterrhein, konnten keine Colibakterien im Wasser nachgewiesen werden. Sobald ein Gewässer eine Siedlung erreicht und passiert, stellen sich sofort entsprechende Colibakterien im Wasser ein. Ein sehr grosser Teil dieser Keime geht in diesem artfremden Milieu, dem Flusswasser, zugrunde. Je grösser die Abwassermenge, die dem Vorfluter zugeleitet wird, desto höher fallen auch die Colizahlen aus, resp. es hängt die Frequenz von der spezifischen Belastung pro Sekundenliter ab. Die nachstehende Uebersicht zeigt die Mittelwerte aus 12 resp. 24 Einzelproben.

	Escherichia Coli pro ml	Coliforme Bakterien pro ml
Quellflüsse, Oberalp	0	0
Vorderrhein, Disentis	16	63
Vorderrhein, Ilanz	57	40
Glenner, Ilanz	17	28
Vorderrhein, Reichenau	54	35
Hinterrhein, Talstafel	0	0
Hinterrhein, Sufers	16	6
Aversrhein, Sufersstausee	unter 1	unter 1
Albula, Tiefencastel	104	54
Julia, Tiefencastel	39	43
Hinterrhein, Reichenau	36	28
Rhein, Felsberg	64	49
Plessur, Chur	40	12
Rhein, Untervaz	210	56
Landquart, ob Papierfabrik	138	60
Rhein, Ragaz	–	60
Tamina, Ragaz	–	33
Rhein, Buchs	–	44
Liechtensteiner Binnenkanal	–	172
Saar	–	100
Rhein vor Ill-Mündung	–	42
Ill	–	52
Rhein, Widnau	–	42
Rhein, Fussach	–	32

L. Frühere Untersuchungen

1. In den Jahren 1942 bis 47 wurden im Rahmen von Expertengutachten (August 1949) über die schädlichen Auswirkungen von Abwässern aus Holzverzuckerungsanlagen umfangreiche Erhebungen im Raume Reichenau bis Ragaz und vereinzelt bis zum Bodensee vorgenommen. Damals war der Rhein auf weite Strecken derart mit massiven Abwasserpilzwucherungen verseucht, dass ernsthafte Schädigungen des Fischbestandes auftraten und dementsprechend das Ausmass auch fachmännisch abgeklärt werden musste.

2. Am 1. Juli 1956 wurden die Sprit- und Hefebetriebe der damaligen Holzverzuckerungs AG stillgelegt, worauf sich schlagartig der Charakter des Rheinwassers wandelte. Dieser Qualitätswechsel veranlasste die Behörden des Kantons Graubünden, eine neue Untersuchung der fraglichen Rheinstrecke anzuordnen, die dann auch zwischen 1957 und 1958 vorgenommen wurde. So liegt nun über die Hauptstrecke des Alpenrheins von Reichenau bis Buchs eine erste Daueruntersuchung vom 12./13. März 1958 vor.

Sie zeigte schon damals eindeutig eine Verschiebung der Qualität des Wassers in Richtung Stickstoffkomponenten. Der Gehalt an biochemisch abbaubaren Stoffen im Abwasser hat sich seit damals kaum stark verändert, denn 1958 lag der BSB_5-Wert im Tagesmittel bei 48 mg O_2/l und heute gar nur noch bei 39,4 mg O_2/l. In Untervaz fand man 1958 einen BSB_5 von 2,6 mg O_2/l und 0,31 mg N/l als Ammonium, während heute ein BSB_5 von 2,6 respektive ein Stickstoffgehalt von 0,48 beobachtet wurde. Die durchgeführten innerbetrieblichen Massnahmen wirkten sich durchaus in positivem Sinne für den Rhein als Gewässer aus. Die nachteiligen Auswirkungen und gewisse Gefahren für die Fischerei waren durch die Umstellung des Werkes 1956 im Vergleich mit 1949 in hohem Masse verringert.

3. Im Rahmen der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee übernahmen es einige Laboratorien, eine Daueruntersuchung von je 1 Woche während drei verschiedenen Jahreszeiten durchzuführen. Allerdings beschränkte sich für den Alpenrhein die Zahl der Probenahmestellen auf eine einzige, nämlich an der Mündung in den Bodensee. Die Ergebnisse dieser Messungen werden nicht im Detail publiziert werden, doch wird die Gewässerschutzkommission einen zusammenfassenden Bericht im Jahre 1967 gedruckt herausgeben. Dieser Bericht kommt zum Schluss, dass praktisch die Hälfte aller Verunreinigungen, die dem Bodensee zugeleitet werden, mit dem Rhein hineingebracht werden. Der BSB_5 bewegte sich für ein Wochenmittel zwischen 2 und 3 mg O_2/l. An Gesamtstickstoff verzeichnete man 1 bis 2 mg/l und schliesslich erreichte der Gesamtphosphor im gleichen Zeitabschnitt Konzentrationen von 0,08 bis 0,13 mg/l. Die Frachtberechnungen pro Tag ergaben Mengen von

42 Tonnen BSB_5
16,2 Tonnen Stickstoff
2,1 Tonnen Gesamt-Phosphor

4. Die Auswertungen der Zuflussuntersuchungen aus dem Jahre 1961 machten zusätzliche Erhebungen im Hinterland des Rheintals erforderlich, und es wurden deshalb in der Zeit vom Mai 1964 bis August 1965 durch Einzelproben an 35 verschiedenen Stellen im ganzen Alpenrheingebiet umfangreiche chemische Erhebungen ausgeführt. Sie hatten zum Ziele, etwas genauere Unterlagen über die Herkunft der Nährstoffe im Alpenrhein zu erlangen; insbesondere interessierte die quantitative Aufschlüsselung in die 3 Produzenten, resp. Lieferanten: Natur — Landwirtschaft — Abwasser. Die Diagramme Nr. 24 und 25 über Schwebestoffe und Stickstoffverbindungen illustrieren in klarer Weise die ausserordentlich grossen jahreszeitlichen Schwankungen, zu denen sich noch die täglichen Abweichungen zuordnen, die in den Raum-Diagrammen Nr. 20, 23 dargestellt sind. Für die Erstellung einer Aufschlüsselung ist eine einigermassen gültige Bilanz notwendig. Es wurde für die Komponente Phosphor versucht, die Aufschlüsselung vorzunehmen. Von 945 kg pro Tag oder 346 Jahrestonnen liefert die Natur 11 %, aus der Landwirtschaft können bei Hochwasser und über Drainagen je 23 bis 36 % abgeschwemmt werden, und schliesslich liefern die Abwässer den restlichen Teil von 53 bis 66 %. Die Erhebungen bei Hochwasserständen des Rheines beweisen eindeutig, dass die Zahl der Hochwasser im Einzugsgebiet des Bodensees in hohem Masse verantwortlich ist für die Gesamtmenge an Phosphor, die ihm jährlich zugeführt wird.

In zahlreichen weiteren Arbeiten über den Rhein, die auf andere Fragestellungen und Ziele ausgerichtet waren, sind Untersuchungsergebnisse publiziert.

M. Nährstoffbilanzen und Nährstoffzufuhr

1. NÄHRSTOFFBILANZEN
(Tabellen 10a bis c)

Mit dem Abwasser gelangen anorganische und organische Verbindungen in die Flüsse und Seen. Bei den Rheinuntersuchungen im Jahre 1965 sind folgende anorganische Stoffe ermittelt worden:

Ammonium, Nitrit, Nitrat, Phosphat, Chlorid, Karbonat- und Gesamthärte, Sauerstoff, Sulfat, Schwebestoffe.

Die organischen Verbindungen wurden erfasst als Sauerstoffzehrung, als biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB_5), als Oxydierbarkeit ($KMnO_4$), als Kjeldahl-Stickstoff, als Gesamtphosphor und als Detergentien.

Die Stoff- und im speziellen die Nährstoffbilanzen erstrecken sich auf die erwähnten anorganischen Verbindungen, mit Ausnahme der Härte, der Sulfate und der Chloride. Letztere zählen zwar nicht zu den Nährstoffen, sie stellen aber einen Abwasserindikator dar, der im allgemeinen keinen chemischen Veränderungen unterworfen ist und sich deshalb ohne weiteres als Leitsubstanz zum Nachweis von Strömungen, Abwasserwolken und zur Berechnung von Verdünnungen eignet.

Die Ermittlung des BSB_5 und der Oxydierbarkeit gibt einen Ueberblick über die verfügbaren Kohlenstoffquellen. Noch genauer gibt über diesen bedeutsamen Wert die direkte Kohlenstoffbestimmung Auskunft. An Mischproben der Abwasser der Emserwerke wurde der Kohlenstoff bestimmt und daraus kann auch der BSB_5 berechnet werden, da zum Kohlenstoff theoretisch der BSB_5 im Verhältnis 1:2,75 und zum BSB_{25} wie 1:4 steht. Im Mittel wies das Emserwerk-Abwasser 18,4 mg C/l auf; dies ergäbe theoretisch einen BSB_5 von 53 mg O_2/l. Der effektiv gemessene Wert mit 39 mg/l liegt rund 25 % tiefer als der errechnete.

Als Stickstoffquellen kommen Ammonium, Nitrit, Nitrat und Kjeldahlstickstoff in Frage. Für die Bilanz wurden die Komponenten in einem Werte, dem Gesamtstickstoff, zusammengefasst. Der Kjeldahlstickstoff setzt sich aus den

organischen Stickstoff-Verbindungen und dem Ammoniak zusammen, während bei der Bestimmung der Nitrate auch der Nitrit-Stickstoff miterfasst wurde. Nitrit liegt im allgemeinen ein bis zwei Grössenordnungen tiefer als Nitrat, so dass daraus keine gravierenden Fehler für die Bilanzrechnungen entstehen.

Gesamtphosphor, Phosphat und organische Phosphorverbindungen sind die Phosphorquellen, und aus der Differenz kann der Anteil an organischer Phosphor-Verbindung errechnet werden.

1.1 Sauerstoff: biochemischer Sauerstoffbedarf und Oxydierbarkeit

Mit Ausnahme der Saar und des Liechtensteiner Binnenkanals sind alle untersuchten Gewässer sehr gut an Sauerstoff gesättigt. Dementsprechend ist der Sauerstoffvorrat der Gewässer von ihrer Wasserführung abhängig. Der Rhein liefert mit seinen 123 m³ Wasser pro Sekunde somit dem Bodensee pro Tag eine gelöste Sauerstoffmenge von über 115 Tonnen.

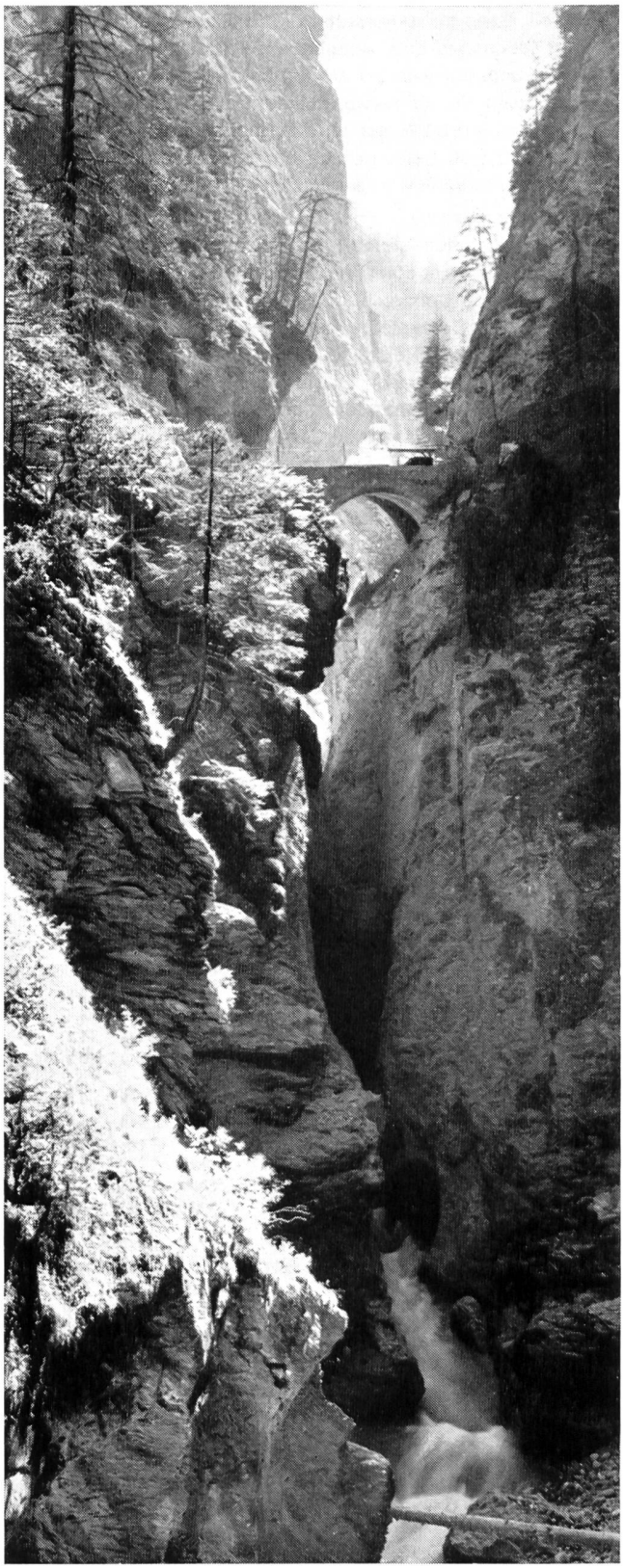
Für die Vergleichsbetrachtungen über die Abwassermenge können schon rein rechnerisch die spezifischen Belastungen pro l/s Vorflutwasser dienen. Im folgenden ist die Einwohnerzahl pro Einheitsmenge (1 l/s) errechnet.

	Spezifische Belastung Einwohner pro l/s Wasser
Quellrhein	—
Vorderrhein, Disentis	7,7
Vorderrhein, Ilanz	0,8
Glenner, Ilanz	1,3
Vorderrhein, Reichenau	0,9
Hinterrhein, Talstafel	—
Hinterrhein, Sufers	0,6
Aversrhein, vor Mündung	0,13
Albula, Tiefencastel	1,2
Julia, Tiefencastel	0,35
Hinterrhein, Reichenau	0,54
Rhein, Felsberg	0,7
Plessur, Chur	1,3
Rhein, Untervaz	1,1
Landquart, ob Papierfabrik	1,7
Rhein, Ragaz	1,45
Tamina, Ragaz	2,7
Rhein, Buchs	1,5
Liechtensteiner Binnenkanal	20
Saar	9,7
Rhein, vor Illmündung	1,75
Ill	2,3
Rhein, Widnau	1,7
Rhein, Fussach	2,0

Es ragen die Stellen Disentis, Tamina, Liechtensteiner Binnenkanal, die Saar und die Ill als Gebiete starker Besiedlung aus der Liste heraus (>2). Zu Zonen mit einer Besiedlung im mittleren Bereich (1—2) gehört das Valsertal, das Landwassertal, das Schanfigg, das Prättigau und das ganze untere Rheintal. Spärlich besiedelt (<1) sind das Oberhalbstein, das Avers, sowie das Oberland nebst den Quellgebieten, die nicht besiedelt sind.

Während das Oberland 26 % des Sauerstoffs zur Versorgung beiträgt, fallen nur 18,7 % der biochemisch abbaubaren Stoffe an. Für den Hinterrhein gilt generell das gleiche. Beide Gebiete können noch als Sauerstoffüberschussgebiete gelten; während die Stelle Disentis sauerstoffbilanzmässig ausgeglichen erscheint, so ist die Stelle Felsberg eindeutig sauerstoffdefizitär. Bei Untervaz ist ein Ausgleich zu beobachten, während bei Ragaz das grösste Defizit (54 %) zu verzeichnen ist. Mit über 30 Tonnen BSB_5 pro Tag steht diese Rheinregion an der Spitze, wobei die Emserwerke allein schon mit rund 20 % oder 5 Tonnen pro Tag an diesem «Ueberfluss» mitwirken. Von der Oxydierbarkeit sind ähnliche Beobachtungen zu melden.

Bild 26 In tiefer wilder Schlucht durchfliesst der Hinterrhein die Viamala (Photo O. Furter Davos, Cliché aus «Terra Grischuna»).



Erstaunliche Uebereinstimmung stellt man zwischen Einwohnerzahl und organischer Belastung bei der Ill fest. Mit rund 30 % oder ca. 7,7 Tonnen pro Tag ist das Land Vorarlberg an der Belastung des Rheines beteiligt.

1.2 Stickstoff und Phosphorverbindungen

In noch recht bescheidenen Mengen nehmen sich die Ammoniak-Werte aus. Im Oberland steht der Kjeldahlstickstoff im Gleichgewicht mit der Einwohnerzahl. Im Hinterrhein überragt die Stickstofführung mit 18,8 % den Bevölkerungsanteil. Ganz massiv werden die Stickstoffbilanzen im Raum von Reichenau-Ems verschoben. Bei einem Anteil der Bevölkerung, der weniger als 1/4 beträgt, sind 71 % Stickstoff gemessen. Die Emserwerke liefern allein aufgrund der Messungen rund 80 % der an der Rheinmündung gemessenen Werte. Die Ill beteiligt sich an der Stickstoffbilanz erwartungsgemäss mit weniger als 20 %.

Die prozentuale Phosphatführung im Vorderrhein entspricht ziemlich genau der Einwohnerzahl, dagegen gibt das Hinterrheingebiet, im speziellen das Albula-Landwassertal, einen Ueberschuss an Phosphat an die tieferen Regionen ab. Dementsprechend resultiert auch ein Gesamtüberschuss bei Reichenau. Das Schanfigg trägt ebenfalls zum Ueberschuss bei. Es sind nicht zufällig jene Talschaften, die die bedeutenden Kurorte Davos und Arosa beherbergen. Mit Ausnahme an der Ill werden im unteren Rheintal die Verhältnisse recht unübersichtlich. Die Ill führt wiederum diejenige Phosphormenge, die dem prozentualen Anteil der Bevölkerung entspricht. Es wurden am Untersuchungstag über den Rhein 185 kg Phosphat-Phosphor und 336 kg Gesamt-Phosphor in den Bodensee eingeschwemmt.

In den einzelnen Fliessstrecken treten zwischen den beiden Komponenten Stickstoff und Phosphor die folgenden Verhältniszahlen auf:

	Stickstoff	: Phosphor
Quellrhein	17	1
Valsertal (Glenner)	42	1
Vorderrhein, Reichenau	15	1
Hinterrhein, Talstafel	175	1
Avers	70	1
Albula	9	1
Julia	24	1
Hinterrhein, Reichenau	19	1
Abwasser Emserwerke	395	1
Felsberg	41	1
Schanfigg (Plessur)	12	1
Prättigau (Landquart)	33	1
Calfeisental (Tamina)	22	1
Buchs	25	1
Liechtenstein	32	1
Vorarlberg (Ill)	18	1
Fussach	31	1
Häusliches Abwasser	4	1

Aus diesen Grössen kann man allgemein schliessen, dass in einem Flussgebiet das Verhältnis von Stickstoff zu Phosphor um so enger wird, je höher die Abwasserlast aus Siedlungen ist. Störungen in den Verhältniszahlen treten dort auf, wo über die landwirtschaftliche Düngung mehr Stickstoff als Phosphor eingeschwemmt wird, oder, wie im Falle der Emserwerke, ein sehr einseitig zusammengesetztes Abwasser die Gesamtmengen dominiert. In Quellgebieten sollte erwartungsgemäss ein sehr weites Verhältnis die Regel sein. Für den Hinterrhein trifft dies zu, dagegen für das Oberland nicht, wo zwei unterschiedliche Quellflüsse für die Berechnung dienten.

1.3 Chloride

Aus der vorliegenden Untersuchungsserie lässt sich auch die Chloridzufuhr bilanzmässig erfassen. Da diese Salze an

TAGESSUMMEN DER BELASTUNG DES RHEINS IN %, BEZOGEN AUF DIE STELLE RHEIN WIDNAU/FUSSACH. Tabelle 10a

Nr.	Probenahmestelle	Einwohner			Wassermenge		Sauerstoffgehalt		Biochemischer Sauerstoffbedarf		Oxydierbarkeit	
		Anzahl	summiert	%	m³/s	%	To/Tag	%	To/Tag	%	To/Tag	%
1	Quellrhein, Oberalp	0	0	0	0.2	0.16	0.03	0.03	0	0	0.055	0.13
2	Vorderrhein, Disentis	5066	5066	2.1	0.655	0.5	0.63	0.5	0.09	0.4	0.22	0.5
3	Vorderrhein, Ilanz	7922	12988	5.4	15.4	12.5	15.2	13.1	2.46	9.4	7.21	17.3
4	Glenner, Ilanz	4644	—	1.9	3.505	2.8	3.52	3.0	0.59	2.2	0.87	2.1
5	Vorderrhein, Reichenau	8236	25868	10.8	30.0	24.2	30.47	26.3	4.92	18.7	11.45	27.4
6	Hinterrhein, Talstafel	0	0	0	0.635	0.5	0.59	0.5	0.07	0.3	0.12	0.3
7	Hinterrhein, Sufers	612	612	0.2	1.0	0.8	0.96	0.8	0.15	0.6	0.22	0.5
8	Aversrhein vor Mündung	777	—	0.3	5.9	4.8	6.03	5.2	1.10	4.2	1.41	3.3
9	Albula, Tiefencastel	11980	—	5.0	10.2	8.3	10.46	9.0	2.17	8.3	3.20	7.6
10	Julia, Tiefencastel	2246	—	0.9	6.5	5.3	6.54	5.6	1.11	4.2	1.64	3.9
11	Hinterrhein, Reichenau	9811	25426	10.6	47.0	38.0	47.19	41.0	8.04	30.6	12.52	30.0
12	Rhein, Felsberg	4530	55824	23.2	77.55	62.8	77.36	66.6	19.01	72.9	27.72	66.0
13	Abwasser Emserwerke Ems	—	—	—	1.5	1.2	0.52	0.4	5.11	19.5	11.48	27.4
14	Plessur, Chur	4985	—	2.1	3.75	3.0	3.90	3.3	0.66	0.25	1.04	2.5
15	Rhein, Untervaz	28278	89087	37.1	82.0	66.6	79.91	69.0	18.57	70.5	30.97	73.9
16	Landquart, ob Papierfabrik	12489	—	5.2	7.49	6.0	7.66	6.6	1.66	6.3	3.11	7.4
17	Landquart, unter Papierfabrik	12489	—	5.2	7.49	6.0	7.76	6.6	2.12	8.3	5.00	12.0
18	Rhein, Ragaz	8823	110399	46.0	75.8	61.2	74.2	64.0	31.05	118	39.79	91.0
19	Tamina, Ragaz	4589	—	1.9	1.705	1.4	1.71	1.5	0.52	2.0	0.53	1.3
20	Rhein, Buchs	331	120156	50.0	80.0	64.8	78.36	67.5	32.43	123	30.73	73.5
21	Liechtensteiner Binnenkanal	20031	—	8.3	1.0	0.8	0.76	0.7	0.18	0.7	0.41	1.0
22	Saar	4837	—	2.0	0.5	0.4	0.28	0.2	0.10	0.04	0.19	0.5
23	Rhein vor Illmündung	—	140187	58.8	80.0	64.8	72.37	62.5	21.40	81.8	35.74	85.0
24	Ill	69500	—	29.0	30.4	24.6	28.41	24.5	7.68	29.2	10.62	25.3
25	Rhein, Widnau	18202	209687	87.0	123.5	100	117.24	101	27.61	105	43.93	105
26	Rhein, Fussach	13000	240889	100.0	123.5	100	116.44	100	26.28	100	41.97	100

den biologischen Prozessen im Gewässer nicht teilhaben, müssen sich die durch Abwässer eingeschleppten Mengen zwangsläufig summieren. Im Oberland fallen 16 %, im Hinterrhein gar 28 % der Gesamtmenge an, bedeutend mehr als den Einwohnerzahlen entsprechen würde. Auch die Ill bringt etwas mehr, was auf gewisse Industrieanteile hindeuten würde. Nur das Prättigau liefert die der Bevölkerung entsprechende Menge.

TAGESSUMMEN DER BELASTUNG DES RHEINS IN %, BEZOGEN AUF DIE STELLE RHEIN WIDNAU/FUSSACH. Tabelle 10b

Nr.	Probenahmestelle	Einwohner			Ammonium		Nitrit		Nitrat		Kjeldahl-Stickstoff		Gesamt-Stickstoff	
		Anzahl	summiert	%	kg/Tag	%	kg/Tag	%	kg/Tag	%	kg/Tag	%	kg/Tag	%
1	Quellrhein, Oberalp	0	0	0	0.1	0	0	0	0.26	0	2.7	0.06	3.0	0.03
2	Vorderrhein, Disentis	5066	5066	2.1	4.3	0.15	0.21	0.2	34.9	0.6	8.4	0.2	43.3	0.4
3	Vorderrhein, Ilanz	7922	12988	5.4	99.2	3.4	3.10	2.6	487.9	8.2	266.2	5.8	754.1	7.2
4	Glenner, Ilanz	4644	—	1.9	13.2	0.5	0.33	0.3	79.5	1.3	62.2	1.4	141.7	1.3
5	Vorderrhein, Reichenau	8236	25868	10.8	156.6	5.4	0.70	5.7	788.4	13.3	453.6	10.0	1242.0	11.8
6	Hinterrhein, Talstafel	0	0	0	0.2	0	0	0	12.3	0.2	6.9	0.15	19.2	0.18
7	Hinterrhein, Sufers	612	612	0.2	2.7	0.1	0.13	0.1	23.0	0.4	12.96	0.3	36.0	0.34
8	Aversrhein vor Mündung	777	—	0.3	9.3	0.3	0.26	0.2	101.9	1.7	102.0	2.2	304	2.9
9	Albula, Tiefencastel	11980	—	5.0	36.7	1.3	2.28	2.0	246.0	4.2	176.1	3.8	422.1	4.0
10	Julia, Tiefencastel	2246	—	0.9	12.2	0.4	0.16	0.2	119.3	2.0	84.24	1.8	203.5	1.9
11	Hinterrhein, Reichenau	9811	25426	10.6	142.1	4.9	7.95	6.8	1150.6	19.5	812.2	17.8	1962.8	18.8
12	Rhein, Felsberg	4530	55824	23.2	3660.0	125	44.67	38.1	2400.9	40.9	5022	110	7423	70.9
13	Abwasser Emserwerke Ems	—	—	—	516.3	17.7	58.22	49.7	650.7	11.1	7614	167	8264.7	79
14	Plessur, Chur	4985	—	2.1	12.3	0.4	0.91	0.8	114.8	1.9	97.2	2.1	212.0	2.0
15	Rhein, Untervaz	28278	89087	37.1	3129.1	107	50.77	43.2	2538.7	43.0	3365	73.5	5903.7	56.5
16	Landquart, ob Papierfabrik	12489	—	5.2	21.3	0.7	1.29	1.1	204.9	3.5	502.2	11.0	707.1	6.7
17	Landquart, unter Papierfabrik	12489	—	5.2	171.2	5.9	2.78	2.4	240.0	4.1	469.8	10.3	709.8	6.7
18	Rhein, Ragaz	8823	110399	46.0	2417.7	83.1	57.31	48.9	2483.2	41.8	5223	114	7706.2	73.8
19	Tamina, Ragaz	4589	—	1.9	3.1	0.1	0.25	0.2	39.3	0.7	45.5	1.0	84.8	0.8
20	Rhein, Buchs	331	120156	50.0	2355.8	80.9	67.10	57.2	2822.4	47.8	3836	84.2	6658.4	63.4
21	Liechtensteiner Binnenkanal	20031	—	8.3	5.3	0.18	1.88	1.6	70.9	1.2	77.6	1.7	148.5	1.4
22	Saar	4837	—	2.0	4.0	0.14	0.37	3.2	54.4	0.9	35.6	0.8	90.0	0.9
23	Rhein vor Illmündung	—	140187	58.8	2494.1	85.8	82.08	70.0	3283.2	55.5	3404	75.0	6687.2	63.8
24	Ill	69500	—	29.0	90.8	3.1	8.86	7.6	1160.1	19.7	728.8	16.0	1888.9	18.0
25	Rhein, Widnau	18202	209687	87.0	2863.2	98	120.5	103	5824.3	99	5095	112	10919.3	105
26	Rhein, Fussach	13000	240889	100.0	2912.1	100	117.4	100	5913.2	100	4562	100	10475.2	100

TAGESSUMMEN DER BELASTUNG DES RHEINS IN %, BEZOGEN AUF DIE STELLE RHEIN WIDNAU/FUSSACH. Tabelle 10c

Nr.	Probenahmestelle	Einwohner			Phosphat		Gesamt-Phosphor		Chloride		Schwebestoffe	
		Anzahl	summiert	%	kg/Tag	%	kg/Tag	%	To/Tag	%	To/Tag	%
1	Quellrhein, Oberalp	0	0	0	0.04	0	0.18	0.05	0.01	0.1	0.015	0
2	Vorderrhein, Disentis	5066	5066	2.1	1.86	1.0	3.03	0.9	0.06	0.5	0.75	0.3
3	Vorderrhein, Ilanz	7922	12988	5.4	12.97	7.0	65.86	19.6	0.88	6.7	44.93	15,7
4	Glenner, Ilanz	4644	—	1.9	1.16	0.66	3.26	1.0	0.26	2.0	1.09	0.4
5	Vorderrhein, Reichenau	8236	25868	10.8	21.82	11.8	80.04	24.0	2.14	16.4	40.80	14.3
6	Hinterrhein, Talstafel	0	0	0	0.11	0.06	0.11	0.03	0.01	0.1	0.08	0
7	Hinterrhein, Sufers	612	612	0.2	0.29	0.16	1.21	0.4	0.05	0.5	0.91	0.3
8	Aversrhein vor Mündung	777	—	0.3	0.49	0.26	5.35	1.6	0.24	1.8	1.03	0.4
9	Albula, Tiefencastel	11980	—	5.0	21.41	11.5	46.57	13.9	0.72	5.5	8.75	3.0
10	Julia, Tiefencastel	2246	—	0.9	2.88	1.5	8.42	2.5	0.29	2.2	1.57	0.5
11	Hinterrhein, Reichenau	9811	25426	10.6	29.90	14.5	101.52	30.0	3.70	28.2	66.55	32.1
12	Rhein, Felsberg	4530	55824	23.2	59.19	32.0	180.80	53.8	6.06	46.4	88.61	30.9
13	Abwasser Emserwerke Ems	—	—	—	1.21	0.6	20.86	6.2	1.06	8.1	1.49	0.5
14	Plessur, Chur	4985	—	2.1	10.87	5.9	16.85	5.0	0.45	3.4	3.39	1.2
15	Rhein, Untervaz	28278	89087	37.1	96.83	52.1	223.10	66.4	8.32	63.8	116.37	40.5
16	Landquart, ob Papierfabrik	12489	—	5.2	12.24	6.6	21.06	6.3	0.70	5.4	7.13	2.5
17	Landquart, unter Papierfabrik	12489	—	5.2	7.82	4.2	6.48	1.9	0.87	6.7	6.79	2.4
18	Rhein, Ragaz	8823	110399	46.0	94.96	51.2	242.4	72.0	4.20	32.2	140.32	48.8
19	Tamina, Ragaz	4589	—	1.9	2.05	1.1	3.81	1.1	0.22	1.7	0.59	0.2
20	Rhein, Buchs	331	120156	50.0	118.66	72.0	268.89	80.0	4.20	32.2	170.90	62.0
21	Liechtensteiner Binnenkanal	20031	—	8.3	4.44	2.4	4.62	1.4	0.16	1.2	0.36	0.1
22	Saar	4837	—	2.0	1.50	0.8	2.11	0.6	0.12	0.9	0.57	0.2
23	Rhein vor Illmündung	—	140187	58.8	126.43	68.1	259.2	77.1	6.02	46.1	245.46	85.0
24	Ill	69500	—	29.0	38.86	21.0	107.68	32.0	5.03	38.5	97.26	33.9
25	Rhein, Widnau	18202	209687	87.0	195.62	105	389.4	116	11.78	90.1	363.06	127
26	Rhein, Fussach	13000	240889	100.0	185.40	100	336.1	100	13.03	100	206.77	100

EFFEKTIVE UND THEORETISCHE BELASTUNG DES ALPENRHEINS. Tabelle 11a

Belastung durch die Einwohner im Rheingebiet

Nr.	Probenahmestellen	Einwohner Anzahl	Einwohner summiert	Total Biochem. Sauerstoff-bedarf kg/Tag	Total Oxydierbar-keit kg/Tag	Gesamt-Stickstoff kg/Tag	Gesamt-Phosphor kg/Tag	Chloride kg/Tag
1	Quellrhein, Oberalp	0	0	0	0	0	0	0
2	Vorderrhein, Disentis	5066	5066	253.3	633.2	60.8	15.2	101.3
3	Vorderrhein, Ilanz	7922	12988	396.1	990.2	95.1	23.8	158.4
4	Glenner, Ilanz	4644	—	232.2	580.5	55.7	13.9	92.9
5	Vorderrhein, Reichenau	8336	25868	416.8	1042.0	100.0	25.0	166.7
6	Hinterrhein, Talstafel	0	0	0	0	0	0	0
7	Hinterrhein, Sufers	612	612	30.6	76.5	7.3	1.8	12.2
8	Aversrhein	777	—	38.8	97.1	9.3	2.3	15.5
9	Albula, Tiefencastel	11980	—	599.0	1497.5	143.8	35.9	239.6
10	Julia, Tiefencastel	2246	—	112.3	280.8	27.0	6.7	44.9
11	Hinterrhein, Reichenau	9811	25426	490.6	1226.4	117.7	29.4	196.2
12	Rhein, Felsberg	4530	55824	226.5	566.2	54.4	13.6	90.6
13	Abwasser Emserwerke Ems	—	—	—	—	—	—	—
14	Plessur, Chur	4985	—	249.2	623.1	59.8	14.9	99.7
15	Rhein, Untervaz	28278	89087	1413.9	3534.8	339.3	84.8	565.5
16	Landquart ob Papierfabrik	12489	—	624.4	1561.1	149.9	37.5	249.8
17	Landquart unter Papierfabrik	12489	—	624.4	1561.1	149.9	37.5	249.8
18	Rhein, Ragaz	8823	110399	441.2	1102.9	105.9	26.5	176.4
19	Tamina, Ragaz	4589	—	229.4	573.6	55.0	13.8	91.8
20	Rhein, Buchs	331	120156	16.6	41.4	4.0	1.0	6.6
21	Liechtensteiner Binnenkanal	20013	—	1001.5	2503.9	240.4	60.1	400.6
22	Saar	4837	—	2418	604.6	58.0	14.5	96.7
23	Rhein, Illmündung	0	140187	0	0	0	0	0
24	Ill	69500	—	3475.0	8687.5	834.0	208.5	1390.0
25	Rhein, Widnau	18202	209687	910.1	2275.2	218.4	54.6	364.0
26	Rhein, Fussach	13000	240889	650.0	1625.0	156.0	39.0	260.0
	1 Einwohnergleichwert:			50 g/Tag	125 g/Tag	12 g/Tag	3 g/Tag	20 g/Tag

EFFEKTIVE UND THEORETISCHE BELASTUNG DES ALPENRHEINS. Tabelle 11b

Schmutzstoffbilanzen

Nr.	Probenahmestellen	Einwohner Anzahl	Einwohner summiert	Biochem. Sauerstoffbedarf kg/Tag summiert (1)	Biochem. Sauerstoffbedarf kg/Tag gemessen (2)	Biochem. Sauerstoffbedarf kg/Tag Differenz (1)>(2)=— (1)<(2)=+	Oxydierbarkeit kg/Tag summiert (1)	Oxydierbarkeit kg/Tag gemessen (2)	Oxydierbarkeit kg/Tag Differenz (1)>(2)=— (1)<(2)=+
1	Quellrhein, Oberalp	0	0	0	0		0	55	
2	Vorderrhein, Disentis	5066	5066	253.3	90	— 163.3	633.2	220	— 413.2
3	Vorderrhein, Ilanz	7922	12988	649.4	2460	+ 1810.6	1623.5	7210	+ 5586.5
4	Glenner, Ilanz	4644	—	232.2	590	+ 357.8	580.5	870	+ 289.5
5	Vorderrhein, Reichenau	8336	25868	1293.4	4920	+ 3626.6	3233.5	11450	+ 8216.5
6	Hinterrhein, Talstafel	0	0	0	70	+ 70	0	120	+ 120
7	Hinterrhein, Sufers	612	612	30.6	15	— 15.6	76.5	220	+ 143.5
8	Aversrhein	777	—	38.8	1100	+ 1061.2	97.1	1410	+ 1312.9
9	Albula, Tiefencastel	11980	—	599.0	2170	+ 1571	1497.5	3200	+ 1702.5
10	Julia, Tiefencastel	2246	—	112.3	1110	+ 997.7	280.8	1640	+ 1359.2
11	Hinterrhein, Reichenau	9811	25426	1271.3	8040	+ 6768.7	3178.2	12520	+ 9341.8
12	Rhein, Felsberg	4530	55824	2794.2	19010	+16218.8	6978.0	27720	+20742.0
13	Abwasser Emserwerke Ems	—	—	—	5110	+ 5110	—	11480	+11480
14	Plessur, Chur	4985	—	249.2	660	+ 410.8	623.1	1040	+ 416.9
15	Rhein, Untervaz	28278	89087	4454.4	18570	+14115.6	11135.9	30970	+19834.1
16	Landquart ob Papierfabrik	12489	—	624.4	1660	+ 1035.6	1561.1	3110	+ 1548.9
17	Landquart unter Papierfabrik	12489	—	624.4	2170	+ 1545.6	1561.1	5000	+ 3438.9
18	Rhein, Ragaz	8823	110399	5520.0	31050	+25530	13800.0	39790	+25990.0
19	Tamina, Ragaz	4539	—	229.4	520	+ 290.6	573.6	530	— 43.6
20	Rhein, Buchs	331	120156	6007.8	32430	+26422.2	15019.5	30730	+15710.5
21	Liechtensteiner Binnenkanal	20031	—	1001.5	180	— 821.5	2503.9	410	— 2093.9
22	Saar	4837	—	241.8	100	— 141.8	604.6	190	— 414.6
23	Rhein, Illmündung	0	140187	7009.4	21400	+14390.6	17523.4	35740	+18216.6
24	Ill	69500	—	3475.0	7680	+ 4205	8687.5	10602	+ 1932.5
25	Rhein, Widnau	18202	209687	10484.4	27610	+17125.6	26210.9	43930	+17719.1
26	Rhein, Fussach	13000	240889	12044.4	26280	+14235.6	30111.1	41970	+11858.9

EFFEKTIVE UND THEORETISCHE BELASTUNG DES ALPENRHEINS. Tabelle 11d

Einwohnergleichwerte auf Grund der gemessenen Werte

Nr.	Probenahmestellen	Einwohner Anzahl	Einwohner summiert	Biochem. Sauerstoff-bedarf	Oxydierbar-keit	Gesamt-Stickstoff	Gesamt-Phosphor	Chloride
1	Quellrhein, Oberalp	0	0	0	440	225	58	500
2	Vorderrhein, Disentis	5066	5066	1800	1760	3610	1010	3000
3	Vorderrhein, Ilanz	7922	12988	49200	57680	62840	21950	44000
4	Glenner, Ilanz	4644	—	11800	6960	11800	1080	13000
5	Vorderrhein, Reichenau	8336	25868	98400	91600	103500	26800	107000
6	Hinterrhein, Talstafel	0	0	1400	960	1600	17	500
7	Hinterrhein, Sufers	612	612	300	1760	3000	400	2500
8	Aversrhein	777	—	22000	11280	17000	1780	12000
9	Albula, Tiefencastel	11980	—	43400	25600	35160	15520	36000
10	Julia, Tiefencastel	2246	—	22200	13120	16950	2800	14500
11	Hinterrhein, Reichenau	9811	25426	160800	100160	163560	33840	185000
12	Rhein, Felsberg	4530	55824	380200	221760	619250	60270	303000
13	Abwasser Emserwerke Ems	—	—	102200	91840	688720	6950	53000
14	Plessur, Chur	4985	—	13200	8320	17660	5620	22500
15	Rhein, Untervaz	28278	89087	371400	247760	491970	74360	416000
16	Landquart ob Papierfabrik	12489	—	33200	24880	58920	7020	35000
17	Landquart unter Papierfabrik	12489	—	43400	40000	59150	2160	43500
18	Rhein, Ragaz	8823	110399	621000	318320	642180	80800	210000
19	Tamina, Ragaz	4589	—	10400	4240	7060	1270	11000
20	Rhein, Buchs	331	120156	648600	245840	554860	89630	210000
21	Liechtensteiner Binnenkanal	20031	—	3600	3280	12370	1540	8000
22	Saar	4837	—	2000	1520	7500	700	6000
23	Rhein, Illmündung	0	140187	428000	285920	557260	86400	301000
24	Ill	69500	—	153600	84960	157400	35890	251500
25	Rhein, Widnau	18202	209687	552200	351440	909940	129200	589000
26	Rhein, Fussach	13000	240889	525600	335760	872950	112030	651500

EFFEKTIVE UND THEORETISCHE BELASTUNG DES ALPENRHEINS. Tabelle 11c

Schmutzstoffbilanzen

Nr.	Probenahmestellen	Einwohner Anzahl	Einwohner summiert	Gesamt-Stickstoff kg/Tag summiert (1)	Gesamt-Stickstoff kg/Tag gemessen (2)	Gesamt-Stickstoff kg/Tag Differenz (1)>(2)=— (1)<(2)=+	Gesamt-Phosphor kg/Tag summiert (1)	Gesamt-Phosphor kg/Tag gemessen (2)	Gesamt-Phosphor kg/Tag Differenz (1)>(2)=— (1)<(2)=+	Chloride kg/Tag summiert (1)	Chloride kg/Tag gemessen (2)	Chloride kg/Tag Differenz (1)>(2)=— (1)<(2)=+
1	Quellrhein, Oberalp	0	0	0	2.7	+ 2.7	0	0.175	+ 0.175	0	10	+ 10
2	Vorderrhein, Disentis	5066	5066	60.8	43.3	— 17.5	15.2	3.03	— 12.17	101.3	60	— 41.3
3	Vorderrhein, Ilanz	7922	12988	155.8	754.1	+ 598.3	39.0	65.86	+ 26.86	259.8	880	+ 620.2
4	Glenner, Ilanz	4644	—	55.7	141.7	+ 86.0	13.9	3.26	— 10.64	92.9	260	+ 167.1
5	Vorderrhein, Reichenau	8336	25868	310.4	1242.0	+ 931.6	77.6	80.40	+ 2.8	517.4	2140	+1622.6
6	Hinterrhein, Talstafel	0	0	0	19.2	+ 19.2	0	0.11	+ 0.11	0	10	+ 10
7	Hinterrhein, Sufers	612	612	7.3	36.0	+ 28.7	1.8	1.21	— 0.59	12.2	50	+ 38.8
8	Aversrhein	777	—	9.3	203.9	+ 194.6	2.3	5.35	+ 3.05	15.5	240	+ 224.5
9	Albula, Tiefencastel	11980	—	143.8	422.1	+ 278.3	35.9	46.57	+ 11.48	239.6	720	+ 480.4
10	Julia, Tiefencastel	2246	—	27.0	203.54	+ 176.5	6.7	8.42	+ 1.72	44.9	290	+ 245.1
11	Hinterrhein, Reichenau	9811	25426	305.1	1962.8	+1657.7	76.3	101.52	+ 25.22	508.5	3700	+3191.5
12	Rhein, Felsberg	4530	55824	669.9	7431.0	+6761.1	167.5	180.80	+ 13.3	1116.5	6060	+4943.5
13	Abwasser Emserwerke Ems	—	—	—	8264.7	+8264.7	—	20.86	+ 20.86	—	1060	+1060
14	Plessur, Chur	4985	—	59.8	212.0	+ 152.2	14.9	16.85	+ 1.95	99.7	450	+ 350.3
15	Rhein, Untervaz	28278	89087	1069.0	5903.7	+4834.7	267.3	223.10	— 44.2	1781.7	8320	+6538.3
16	Landquart ob Papierfabrik	12489	—	149.9	707.1	+ 557.2	37.5	21.06	— 16.44	249.8	700	+ 450.2
17	Landquart unter Papierfabrik	12489	—	149.9	709.8	+ 559.9	37.5	6.48	— 31.02	249.8	870	+ 620.2
18	Rhein, Ragaz	8823	110399	1324.8	7706.2	+6381.4	331.2	242.4	— 88.8	2208.0	4200	+1992
19	Tamina, Ragaz	4589	—	55.0	84.8	+ 29.8	13.8	3.8	— 10.0	91.8	220	+ 128.2
20	Rhein, Buchs	331	120156	1441.9	6658.4	+5216.5	360.5	268.89	— 91.6	2403.1	4200	+1796.9
21	Liechtensteiner Binnenkanal	20031	—	240.4	148.5	— 91.9	60.1	4.62	— 55.48	400.6	160	+ 240.6
22	Saar	4837	—	58.0	90.0	— 32.0	14.5	2.11	— 12.39	96.7	120	+ 23.3
23	Rhein, Illmündung	0	140187	1682.2	6687.2	+5005.0	420.6	259.2	—161.4	2803.7	6020	+3216.3
24	Ill	69500	—	834.0	1888.9	+1054.9	208.5	107.68	—100.8	1390.0	5030	+3640
25	Rhein, Widnau	18202	209687	2516.2	10919.3	+8403.1	629.1	389.4	—239.7	4193.7	11780	+7586.3
26	Rhein, Fussach	13000	240889	2890.7	10475.2	+7584.5	722.7	336.1	—386.6	4817.8	13030	+8212.2

1.4 Schwebestoffe

Die Schwebestoffmenge von 286 Tonnen pro Tag muss für den Rhein noch als unterer Wert gelten. In Zeiten der Schneeschmelze und insbesondere bei grossen Niederschlägen, steigen die Schwebestoffmengen gewaltig an, wie aus dem Diagramm Bild 23 mit aller Klarheit hervorgeht. Die verfrachteten Geschiebemengen können auf 40 000 Tonnen pro Tag und mehr ansteigen. Diese Zahlen geben einen Begriff, in welcher Weise ein Hochwasser mit seinen aktiven Schwebestoffoberflächen in den Chemismus des Wassers einzugreifen in der Lage ist. Die Adsorptions- und Desorptionsprozesse an den Teilchenoberflächen nehmen ein enormes Ausmass an.

Neben der natürlichen Fracht, die nur sporadisch oder saisonal auftritt, müssen noch drei weitere Geschiebeproduzenten erwähnt werden. Kieswäschereien leiten künstlich Feinstmaterial ab und Baggerungen in Bachbetten führen zu Trübungen, weil das leichte Material durch die jeweilige Wasserströmung weggeführt wird. Im Alpenrheingebiet entstanden in den letzten Jahren zahlreiche Grossspeicherseen, Kleinspeicher und Ausgleichbecken, Fassungsbecken und Sandfänge. Die letzteren Anlagen bedürfen einer periodischen Entleerung samt einer Entschlammung. Natürliche Abschwemmungen bei Hochwasser können kurzfristig Schlammkonzentrationen von 10—12 g/l verursachen. Künstlich erzeugte Abschwemmungen dagegen erreichen zum Teil ein Vielfaches dieses Wertes. Es ist daher ratsam, aus Gründen des Gewässerschutzes und der Fischerei, nur so viele Schwebestoffe kurzfristig dem Gewässer zu übergeben, als auch auf natürliche Weise auftreten können, zum Beispiel 10 g/l ~ 10 cm/l. Kieswaschwasser sind deswegen in den Gewässern unerwünscht, da sie nicht kurzfristig anfallen, bei dauernder Einwirkung den Aspekt des Wassers (Nutzung für Bewässerung) verschlechtern und die Aufzuchtgebiete für Jungfische verschlammen.

2. BERECHNUNG DER NÄHRSTOFFZUFUHR AUF GRUND DER BEVÖLKERUNGSZAHLEN (Tabellen 11a bis d)

Bei der Planung von abwassertechnischen Anlagen wird mit jenen Abfallmengen gerechnet, die aus den Haushaltungen in die Kanalisation abgeführt werden. Die Schmutzstoff- und Wassermengen, die pro Einwohner und Tag anfallen, sind Erfahrungswerte, die in der Praxis ermittelt wurden; man bezeichnet sie als Einwohner- oder Bewohnergleichwerte. Auf dieser Grundlage können beispielsweise die Schmutzstoffmengen aus Industrien auf Einwohnerzahlen als Einheitswert umgerechnet werden. Für die vorliegende Auswertung sind die folgenden, auf schweizerischen Erfahrungen beruhenden Grössen ausgewählt worden. Demnach rechnet man als täglichen Abgang (in gelöster Form):

	g pro Einwohner und Tag
Biochemischer Sauerstoffbedarf	50
Oxydierbarkeit	125
Stickstoff	12
Phosphor	3
Chlorid	12–30
bezw. Kochsalz	20–50

Für die nachfolgenden Ausführungen sind die Schmutzstoffmengen aufgrund der Bevölkerungszahlen von 1960 berechnet worden. Daneben sind die effektiv gemessenen Mengen mit Hilfe der vorgenannten Gleichwerte in theoretische Einwohnerzahlen umgerechnet. Allerdings ist hier zu berücksichtigen, dass die Industrie nicht mit erfasst wurde, dass die Abwasserableitung nicht in allen Gebieten den gleichen Ausbaugrad erreicht hat, und dass mit dieser Zusammenstellung nur die Gesamtheit vieler verschiedener parallel verlaufender Prozesse im Gewässer erfasst werden.

Die ersten beiden Kolonnen der Tabelle 11 geben die Einwohnerzahlen in den Zwischengebieten für sich und summiert wieder. Fünf Kolonnen (Tab. 11a) zeigen die Belastungen, die mit Hilfe der Einheitswerte errechnet und summiert wurden. Für fünf Komponenten (11b und 11c) folgt dann die Gegenüberstellung zwischen gemessenen und errechneten Werten mit den Aenderungen, die im Sinne der Fliessrichtung durch Selbstreinigungsprozesse zustande kommen. Den Schluss der Tabelle (11d) bilden die Einwohnergleichwerte, die aufgrund der gemessenen Schmutzstoffmengen ermittelt werden können.

2.1 Biochemischer Sauerstoffbedarf

Bei der generellen Prüfung der Tabelle fällt vorerst auf, dass viel höhere BSB_5-Mengen gemessen werden konnten,

Bild 27
Hinterrhein-Alluvion und Durchbruch bei Rhäzüns; über dem Steilabsturz das etwa tausend Jahre alte kürzlich renovierte Kirchlein St. Georg.
(Photo E. Märki)

als über die häuslichen Abgänge vorhanden sein sollten. Zudem gelangen besonders in ländlichen Gegenden noch lange nicht alle Abwasser zu hundert Prozent in die Vorflut, und schliesslich findet ein biochemischer Abbauprozess im Gewässer statt. Die Industriegleichwerte sind mit wenigen Ausnahmen nicht derart hoch, dass die Differenz aufgefüllt werden könnte. Merkwürdigerweise zeigen nun jene Stellen, die einer hohen spezifischen Belastung ausgesetzt sind, umgekehrte Bedingungen. Die Differenzen dürften aus der Landwirtschaft stammen.

2.2 Oxydierbarkeit

Nicht minder ausgeprägt sind die Diskrepanzen auch bei dieser Komponente. Eine weitere Stelle, die Tamina, löst sich aus dem Kranz der abnormen Abweichungen; mit weniger als 10 % Differenz decken sich die theoretischen und die gemessenen Mengen.

2.3 Gesamtstickstoff

Bei den Stoffwechselprozessen im Wasser ist der Stickstoff unabdingbar beteiligt. Das Rheingebiet weist eine überaus starke positive Stickstoffbilanz aus, das heisst der gemessene Wert ist weit höher als die aus der Einwohnerzahl abgeleitete Menge. Auch an diesem Beispiel könnte ohne weiteres die Landwirtschaft mitbeteiligt sein, wie dies verschiedene Untersuchungen über Auslaugung von landwirtschaftlich genutzten Böden nachweisen.

2.4 Gesamtphosphor

In diesen Kolonnen beobachtet man praktisch das Gegenteil der vorher umschriebenen Merkwürdigkeiten. Im Rheinwasser wird allgemein weniger Phosphor gefunden, als theoretisch anfallen könnte. Die Wissenschafter haben auch für dieses Phänomen eine plausible Erklärung. Die im Wasser in grösseren oder kleineren Mengen stets vorhandenen Schwebestoffe sind befähigt, Phosphate zu adsorbieren und sie auf diese Weise dem Wasser zu entziehen, wie dies Bodenkundler schon seit vielen Jahren nachgewiesen haben. Zudem ist mit einem Basiswert von 3 g gerechnet worden, der besonders für Gebirgsgegenden vielleicht etwas zu hoch gewählt wurde.

2.5 Chloride

Neben dem BSB_5 und dem Gesamtstickstoff ist auch die Chloridbilanz auf der ganzen Strecke positiv. Da Chloride am biochemischen Prozess nicht teilhaben, muss der Mehranfall auf Auslaugungsvorgänge landwirtschaftlich genutzter Böden zurückgeführt werden. Salzhaltige Gesteine scheinen für diesen Zuschuss nicht verantwortlich zu sein.

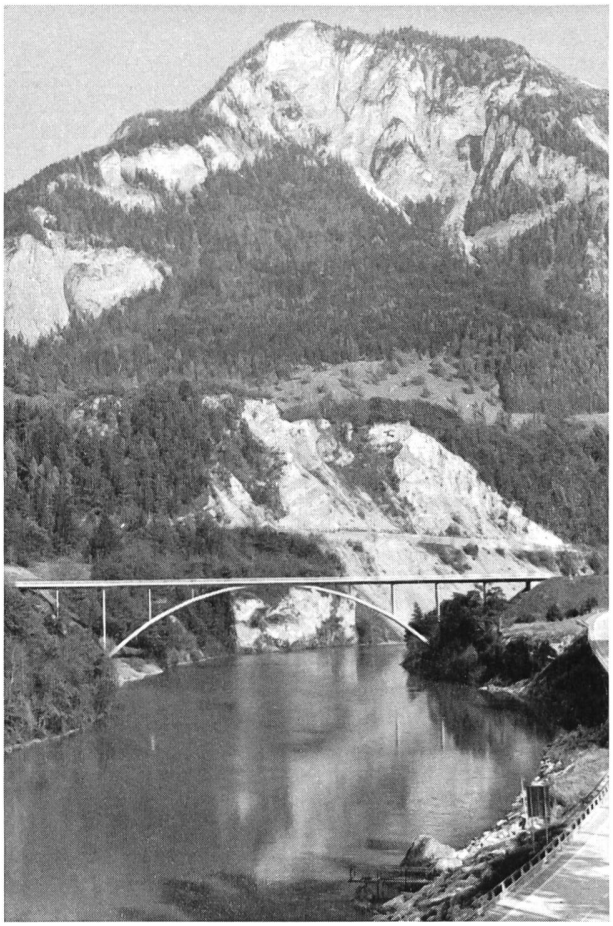


Bild 28 Im Einstaubereich des Kraftwerks Reichenau zu oberst am vereinigten Rhein; elegante neue Strassenbrücke für die Zufahrt zum Kurort Flims (Photo E. Märki).

2.6 Einwohnergleichwerte

Dank der unerwarteten und ausserordentlichen Erhöhung der Mengen einiger Komponenten entstehen bei der Berechnung der Einwohnergleichwerte ausserordentlich hohe Zahlen, die weit über das hinausgehen, was effektiv an Bewohnern vorhanden ist. Zweifellos fällt ein nicht zu vernachlässigender Anteil auf Industrie und Gewerbe. Es sei lediglich nochmals auf die Abwässer der Emserwerke hingewiesen, die allein BSB_5-Mengen entsprechend rund 100 000 Einwohnern und Stickstoffmengen für 688 000 Einwohner an den Rhein abliefern.

N. Gewässerschutzmassnahmen. Stand November 1965

KANTON GRAUBÜNDEN

In Gebirgskantonen wirft die Verwirklichung der Gewässerschutzmassnahmen besondere technische und wirtschaftliche Probleme auf. Die vielfach weit über verschiedene Talhänge verstreuten Häuser und Heime, die zudem noch häufig topographisch durch tief eingeschnittene Nebentäler getrennt werden, stehen einer raschen Verwirklichung der Gewässerschutzanlagen eindeutig im Wege. Vielfach drängen sich, aus der Sicht des Planers betrachtet, nicht sofort eindeutige Lösungen auf. Es müssen daher zahlreiche und zeitaufwendige Variantenstudien vorgenommen werden, um die wirtschaftlichste Lösung den Gemeinden vorlegen zu können.

Trotz all den Schwierigkeiten hat der Kanton Graubünden die Planung der Anlagen tatkräftig an die Hand genommen. Die folgende Aufzählung gibt eine Uebersicht über den Stand der Massnahmen und der Planung:

1. Mechanisch-biologische Anlagen in Betrieb: 1 (Bergün, 1500 E); mechanische Anlagen in Betrieb: 9 (Avers, Innerferrera, Andeer, Casti-Wergenstein, Clugin, Pignia, Donath, Zillis, Sur für total 2400 Einwohner).
2. Vorhandene Projekte für mechanisch-biologische Anlagen: 12 (worunter Lenzerheide, Küblis, Arosa); vorhandene Projekte für mechanische Anlagen: 4.
3. Projekte in Bearbeitung: 6 (worunter Chur und Davos).
4. Vorhandene generelle Kanalisationsprojekte (GKP): 42 (worunter Klosters, Disentis, Ilanz, Schiers).
5. In Bearbeitung stehende generelle Kanalisationsprojekte: 16 (worunter Flims).

6. Studien für den Zusammenschluss sind für fünf Regionen im Gange:
   Oberhalbstein mit 7 Gemeinden
   Churer Rheintal mit 9 Gemeinden
   Domleschg mit 12 Gemeinden
   Prättigau mit 5 Gemeinden
   Fläsch mit St. Galler Gemeinden

Chur betreibt für 30 000 Einwohner eine Kehrichtkompostierungsanlage, Davos besitzt für 10 000 Einwohner seit 1914 eine Müllverbrennungsanlage.

Rund 200 Tonnen Tierleichen (Wild und Haustiere) sowie Schlachthofabfälle werden in vier Kadaververbrennungsanlagen in Chur, Davos, Ilanz und Schiers vernichtet.

KANTON ST. GALLEN

Nur relativ kleine Gebiete des St. Galler Rheintals entwässern direkt oder indirekt in den Rhein. Für diesen restlichen Teil von ca. 10 600 Einwohnern existieren drei mechanisch-biologische Anlagen, in Pfäfers, Vilters und Buchs. Für die übrigen Gemeinden liegen Projekte für den Ausbau der Kanalisationsnetze und der Abwasserreinigungsanlagen vor.

Buchs und Au besitzen ferner Kehrichtkompostierungsanlagen mit einem Verbrennungsteil.

Acht Behandlungsanlagen für gewerbliche und industrielle Abwässer sind überall dort vorhanden, wo deren Notwendigkeit gegeben ist.

FÜRSTENTUM LIECHTENSTEIN

Der Landeshauptort Vaduz besitzt eine mechanisch-biologische Anlage. Triesen wird an Vaduz durch den im Bau stehenden Kanal angeschlossen werden. Für die übrigen Gemeinden im Ober- und Unterland wird eifrig projektiert.

Der Müll wird zur Anlage in Buchs transportiert. Auch die wichtigsten Industrien besitzen oder planen eigene Anlagen.

LAND VORARLBERG

Sowohl im untern als auch im obern Rheintal werden die Planungen für den Ausbau von Reinigungsanlagen rasch vorangetrieben. Besondere Aufmerksamkeit verdient das Gebiet um Feldkirch mit Papier- und Textilindustrie und rund 30 000 Einwohnern. Aehnlich liegen die Verhältnisse im Raume Bludenz und im Montafon. In Partenen wurde mit dem Bau einer vollbiologischen Abwasserreinigungsanlage begonnen.

In allen Staaten sind im Zusammenhang mit der neuen Oel-Pipeline von Genua nach Ingolstadt umfassende Organisationen für die Oelwehr geschaffen worden.

Diese Uebersicht zeigt mit aller Deutlichkeit, dass die Sanierungsmassnahmen im Rheineinzugsgebiet im Anlaufen sind, dass aber erst unbedeutende Anteile der Abwässer aus Wohnsiedlungen und vor allem der Industrie einer wirklichen Reinigung unterworfen werden. In ausgesprochen ländlichen Gegenden wird glücklicherweise noch ein grosser Teil des Abwassers landwirtschaftlich verwertet. Ein weiterer Anteil aus nicht landwirtschaftlichen Bauten wird über Grubensysteme grob entschlammt. Diese Anteile genau zu erheben, stösst auf grosse Schwierigkeiten.

O. Zusammenfassung

1. Allgemeines. Die Absicht, das Gewässersystem des Alpenrheins (Quelle bis Mündung in Bodensee) mit einer Daueruntersuchung auf seine aktuellen Belastungen mit Abwasser zu kontrollieren, konnte auf Anregung des Rheinverbandes in Zusammenarbeit der Baudirektionen und der chemischen Laboratorien der Anliegerstaaten am 22./24. Februar und 9./10. November 1965 realisiert werden. Die Ergebnisse der chemisch-bakteriologischen Untersuchungen wurden durch die EAWAG in Zürich verarbeitet.

2. Die Abflussmengen des Rheins und seiner Nebenflüsse wurden an den Pegelstationen des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft und bei zahlreichen Kraftwerken registriert und dienten als Grundlage zur Ermittlung der Stoffbilanzen. Mit 108 bis 124 m^3/s bei der Messstation Schmitter an den oben genannten Untersuchungstagen lag die Wasserführung im Bereiche der niedersten monatlichen Mittel. Die Mengen sind während 228 bis 274 Tagen vorhanden oder werden überschritten. Die Wassermengen an den verschiedenen Beobachtungsstellen unterhalb von Hochdruckkraftwerken unterlagen grossen täglichen, zum Teil stündlichen Schwankungen, die nicht ganz ohne Einfluss auf den Chemismus der entsprechenden Fliessstrecke blieben. Mit 0,2 m^3/s im Quellgebiet und 124 m^3/s im Mündungsgebiet sei die Grössenordnung der Wassermassen, mit denen gerechnet werden musste, angeführt.

3. Die Witterungsverhältnisse an den Kontrolltagen waren sehr gut, abgesehen von der grossen Kälte im Februar 1965 und einem kurzen Regen am 10. November 1965, der knapp vor Abbruch der Messungen noch einsetzte, aber die Ergebnisse nicht mehr beeinflussen konnte.

4. Für die Ermittlung der Schmutzstoffmengen aus Siedlungen und der Industrie dienten die am 1. Dezember 1960 erhobenen Bevölkerungszahlen aus der Schweiz, Angaben des Fürstentums Liechtenstein, des Landes Vorarlberg und der kantonalen Aemter.

Die Bevölkerung hat in den einzelnen Gebieten in unterschiedlicher Weise zugenommen. Am geringsten ist die Zunahme im Kanton Graubünden. Mit 115 000 Einwohner tragen der Kanton Graubünden etwas weniger als die Hälfte, der Kanton St. Gallen zusammen mit dem Fürstentum Liechtenstein ca. 1/6 und schliesslich Vorarlberg mit 82 500 Personen einen guten Drittel an die Bevölkerungszahl bei.

Als Siedlungsschwerpunkte gelten: Davos, Arosa, Chur, Sargans, Buchs, Vaduz, Bludenz und Feldkirch.

Industrieschwerpunkte befinden sich bei Ems, Chur, Landquart, Buchs, Feldkirch, Bludenz und Vaduz-Schaan.

5. Kraftwerke. Eine grosse Zahl von Speicher- und Laufkraftwerken in allen Alters- und Ausbaustufen bewirtschaften das Rheinwasser und dasjenige der wichtigsten Zuflüsse. Es ist bei dieser Vielzahl von Werken nicht vollständig zu vermeiden, dass schwerwiegende Eingriffe in das Wasserregime erfolgen.

Die Energieproduktion, die sich mit Benutzung von Speicherseen nach dem Konsum richten muss, führt durch die abzuleitenden Wasser zu ausserordentlichen Schwankungen des Wasserstandes; mitunter umfasst diese Wassermenge den mehrfachen Normalwert. Damit werden auch die Auswertungen von Ergebnissen über Wasseruntersuchungen sehr kompliziert, da zu jeder Probenzeit auch eine eigene Wasserführungszahl gehört und man nicht mehr unbedingt nur mit dem Tagesmittel rechnen kann. Den vorliegenden Auswertungen lagen trotzdem die Tagesmittelwerte zugrunde, da eine Extrapolation der Schwankungen auf Kontrollstellen ohne Limnigraphenstation gar nicht mehr möglich war. Vereinzelte Testrechnungen ergaben, dass Abweichungen in den Ergebnissen für die Berechnung der Schmutzstoff-Frachten in der Grössenordnung von einigen Prozenten verbleiben.

6. Vorderrhein. Abwasser aus Gemeinden und vereinzelten Industrien verursachten messbare Anstiege der charakteristischen Schmutzstoffkomponenten, wie BSB_5, Am-

Bild 29
Blick von der Tardisbrücke an der bündnerisch-st. gallischen Grenze auf das obere St. Galler Rheintal; im Hintergrund Gonzen und Alvier. (Photo L. Gensetter Davos)

monium u.a.m.. Die Wasserüberleitung von Sedrun nach Tavanasa bringt eine Erhöhung der spezifischen Abwasserlast für die Zwischengebiete. Eine Ableitung von Wasser aus dem Einzugsgebiet des Glenner ins Domleschg vermindert die Wasserführung und damit die Verdünnungsmöglichkeit der Abgänge. Dank der relativ dünnen Besiedlung und Industrialisierung des Oberlandes weist der Vorderrhein im allgemeinen noch keine schwerwiegenden Schädigungen auf.

7. Hinterrhein. Bis nach Thusis sind grosse Wasserumleitungen verantwortlich für die geringe Restwassermenge, welche die Abwässer der zahlreichen kleinen Siedlungen aufzunehmen haben. Aus diesem Grund erstellten die Gemeinden mit Hilfe der Kraftwerkunternehmungen Kläranlagen.

Aus dem Oberhalbstein führt die Julia bewirtschaftetes Wasser, das keine unzulässig hohe und katastrophale Verschmutzung aufweist. Im Gegensatz dazu wird die Albula durch das Landwasser stark mit Abwasserkomponenten belastet, die zum grossen Teil aus der Landschaft Davos herausgeschwemmt werden. Wohl hat die Selbstreinigungskraft des Landwassers und der Albula die meisten fäulnisfähigen Stoffe bis nach Tiefencastel eliminiert, doch bleiben Stickstoff- und Phosphorverbindungen im Gewässer.

Schlimm sind die Zustände am Landwasser unterhalb Davos dann, wenn eine grosse Zahl von Feriengästen die Landschaft bevölkern und gleichzeitig die Wasserführung der Bäche und Flüsse auf ein Minimum absinkt (Winter). Wenn in Zürich 300 000 Einwohner an der Limmat mit 30 m^3/s leben, so wird die spezifische Belastung 10 Einwohner pro l/s. In Davos mit rund 40 000 Einwohnern auf 0,67 m^3/s Landwasser erreicht die Belastung rund 60 Einwohner pro l/s. Dementsprechend ist auch das Aussehen des Wassers und präsentiert sich seine chemisch-bakteriologische Zusammensetzung. Es führt dies zu unhaltbaren Zuständen in der Vorflut.

8. Schanfigg. Der Kurort Arosa bestimmt mit seinem Abwasser die chemische Zusammensetzung der Plessur. Während der Hochsaison mit Bewohnerzahlen von 14 000 und der gleichzeitigen Minimalwasserführung in der Plessur mit 0,25 m^3/s ergibt sich eine spezifische Belastung von 56 Einwohnern pro l/s. Diese Zustände sind ebenso unhaltbar, wie diejenigen von Davos. Bis Chur ist der weitaus grösste Teil der fäulnisfähigen Abwasserstoffe wieder verschwunden, doch haben sich Stickstoff, Phosphor und andere mineralische Verbindungen angereichert.

9. Prättigau. Einige grössere Siedlungen wie Klosters, Schiers u.a. belasten örtlich die Landquart durch ihre Abwässer, die nur grob entschlammt worden sind. Dazu kommt noch die Papierfabrik Landquart, die dem Fluss eine grössere zusätzliche Abwasserlast überantwortet. Die Zunahme von 500 kg BSB_5 entspricht rund 10 000 Bewohnergleichwerten.

10. Bündner Rhein von Reichenau bis Ragaz. In den sich ausweitenden Tälern des Rheintales liegen die bedeutenden Orte Ems, Chur, Landquart u.a. eingebettet. In und um diese Ortschaften baute die Industrie ihre Werke auf. Das Rheinwasser wird einerseits durch das ungenügend gereinigte Abwasser der Gemeinden und anderseits durch die ungereinigten Abwässer mittlerer und grosser Industrien in seiner Qualität entscheidend beeinträchtigt.

Bevor 35 000 Einwohner aus der Region Chur ihre Abwässer dem Rhein zuführen, gelangen die Abgänge der Emserwerke über den Stau des Kraftwerkes Reichenau I in den Rhein, die einem Bewohnergleichwert, gemessen am BSB_5, von über 100 000 entsprechen. Daneben gelangen noch bedeutende Mengen von Stickstoffverbindungen in der Grössenordnung von 8000 kg/Tag oder 1500—2000 Tonnen pro Jahr in das billigste Transportmittel, das Wasser, was einem Bewohnergleichwert von 688 000 entspricht. Zum Vergleich sei auf die Einwohnerzahlen der Kantone Graubünden, St. Gallen und Thurgau (653 367 Einwohner) hingewiesen.

Im weiteren fallen stark sauerstoffzehrende und saure Stoffe im Rhein an, die bei den Untersuchungen einerseits um 03.30 Uhr zu einem pH-Wert von 4,6 im Abwasserkanal und anderseits zu einem starken Sauerstoffschwund um 03.15 und 04.15—05.30 Uhr führten.

In neuerer Zeit wird bezweifelt, ob der biochemische Sauerstoffbedarf und die Oxydierbarkeit Werte ergeben, mit denen Abwasser aus den chemischen Industrien auch gebührend und richtig bewertet werden kann. Es ist sicher so, dass chemische Abwässer in einer Zusammensetzung, wie sie aus einem grossen Werk anfallen, anders auf die biologischen Prozesse im Gewässer reagieren als häusliche Abwässer. Doch existieren mit Ausnahmen der Bestimmung des Kohlenstoffs noch keine Kennziffern, die eine klarere Bewertung zulassen.

Die grösseren Siedlungen dagegen beeinflussen in erster Linie den Sauerstoffvorrat und die hygienische Qualität des Rheinwassers, indem deren Abwässer die Zahl der

Escherichia Coli im Bereich des Bündnerrheins auf über 200 pro ml (cm^3) ansteigen lässt.

11. Fürstentum Liechtenstein. Der grösste Teil des teilweise gereinigten Abwassers aus Liechtenstein fliesst über den Binnenkanal dem Rhein zu.

Im Wasser stellte man starke Sauerstoffuntersättigungen, verursacht durch die organische Belastung und die geringe Regenerationsmöglichkeit, und einen relativ hohen Phosphatgehalt fest. Auch in bakteriologischer Hinsicht ist das Wasser des Binnenkanals unzulässig belastet.

12. Land Vorarlberg. Mit rund 30 Prozent der Bevölkerung im Einzugsgebiet des Rheins bringt die Ill ansehnliche Schmutzstoffmengen aus Siedlungen und Industrien. Der BSB_5 der Ill ist so stark erhöht, dass ihr Wasser im Bereiche einer Infiltration ins Grundwasser schon zu einer starken Sauerstoffzehrung im Grundwasser führen kann. Auch die Colizahlen zeigen die zu hohe Belastung der Ill mit Fäkalwasser an.

13. St. Galler Rheintal. Auf der ganzen Strecke von Ragaz bis zum Bodensee wechseln Selbstreinigungsstrecken mit Belastungszonen ab. Die höchsten BSB_5-Werte traten bei Ragaz auf. Sie konnten bis zur Mündung durch die mikrobiellen Prozesse soweit abgebaut werden, dass im Mündungsgebiet eine Wasserqualität erreicht wurde, die ähnlich derjenigen der Landquart oberhalb der Papierfabrik ist. Trotzdem gelangten noch rund 26 000 kg BSB_5, 336 kg Gesamtphosphor und schliesslich noch 4560 kg Stickstoff pro Tag über den Alpenrhein in den Bodensee, ganz abgesehen von den Tausenden von Tonnen Schwebestoffe und Geschiebe. Die restlichen Mengen an organischen Stoffen sind auch in der Lage, das Grundwasser in seinem Sauerstoffhaushalt zu beeinflussen.

14. Die bisher in Betrieb gesetzten Abwasserreinigungsanlagen können sich nur in unbedeutendem Ausmass auf die Entlastung des Rheins auswirken. Erst wenn die grossen Agglomerationen und Industriewerke aktiveren Anteil an Gewässerschutzanlagen nehmen, werden die Erfolge sich einstellen.

Wenn man annimmt, dass bis in 10 Jahren die Hälfte der Bewohner im Rheingebiet an zentrale Abwasserreinigungsanlagen angeschlossen werden können, so wird der Alpenrhein von folgenden Schmutzstoffmengen pro Tag entlastet:

	120 000 Einwohner kg	Elimination %	kg
BSB_5	6 000	90	5 400
Oxydierbarkeit	15 000	60	9 000
Stickstoff	1 440	30	720
Phosphor	360	20	72

Strebt die Industrie ein gleiches Ziel an, dann werden im Rhein in 10 Jahren wieder jene guten Fischjagdgründe herrschen, wie vor 30 Jahren.

15. Künstlich verursachte Schwebestoffe. Grosse Bauarbeiten, sowie Kieswäschereien führen zu permanenten Trübungen im Rheinwasser. Sie beeinträchtigen das Aussehen und auch die Belange der Fischerei.

Entleerungen von Stauräumen können bei der Entschlammung zu Störungen im Gewässer führen, sofern der Schlammabfluss nicht laufend kontrolliert und entsprechend reguliert wird.

16. Herkunft der Nährstoffe. Umfangreiche Untersuchungen im Rahmen der Gewässerschutzkommission für den Bodensee, bei denen die Aufschlüsselung der Schmutzstoffe nach ihrer Herkunft im Vordergrund stand, gelangten zu folgendem vorläufigen Ergebnis für die Komponente Phosphor: Basiswert (natürliche Abschwemmung) 11 %. Landwirtschaft je nach Wasserführung 23—36 %. Abwässer aus Siedlungen (inkl. Industrie) 53—66 %.

P. Schlussfolgerungen

Ober- und unterirdische Gewässer erfahren eine vielseitige Nutzung. Im Hinblick auf die Bewertung der Gewässer muss diese auf die spezielle Art der Nutzung Rücksicht nehmen. Im Eidg. Gewässerschutzgesetz sind die verschiedenen Kriterien der Nutzung dargestellt.

1. Beeinflussung des Grundwasservorkommens durch künstliche und natürliche Infiltration aus dem Vorfluter.

Ein sauerstoffreiches und schmutzstoffarmes Oberflächenwasser produziert bei seiner Versickerung in den Grundwasserträger unfehlbar ein qualitativ hochwertiges Wasser, sofern die Filterschicht bezw. die Filtrierzeit genügend gross sind. Ein Wasser, das eine hohe organische Belastung aufweist, stört bei seiner Versickerung ins Grundwasser sein Sauerstoffregime, was sich sehr nachteilig auf die Qualität auswirken kann. Nur mit einer möglichst raschen und massiven Herabsetzung der Schmutzstoffmengen durch den Bau von Abwasserreinigungsanlagen in den Schwerpunkten kann verhindert werden, dass die Grundwasservorkommen im Bereiche der Infiltrationsstellen — bei Ragaz verliert der Rhein pro Sekunde bis 4 m^3 Wasser — noch weiter nachteilig beeinflusst werden.

Flusswasser, das viele organische zum Teil biologisch schwer abbaubare Stoffe enthält, verursacht bei der direkten Aufbereitung zu Trinkwasser grosse Schwierigkeiten und Kosten, indem das Wasser über Mehrstufenaufbereitungsanlagen behandelt werden muss.

Das Grundwasser ist für die Wirtschaft unseres Landes von unschätzbarer Bedeutung, seine gute Qualität kann nur erhalten werden, wenn es von sauberen Flüssen und Bächen gespiesen wird. Saubere Oberflächengewässer zu schaffen ist daher eine zentrale Aufgabe unserer Generation. Künstliche Anreicherung verlangt eine genügend hohe Schicht von einwandfreiem Kies, damit allfällige Geruchs- und Geschmacksstoffe abgebaut und eliminiert werden können. Treibt man aber den Kiesabbau weiterhin mit dieser Intensität fort, so werden durch den Raubbau die Vorräte bald einmal erschöpft sein. Für die zukünftige Grundwasseranreicherung müssen aber Kiesbestände unangetastet zur Verfügung stehen, denn für Kies gibt es bei der Grundwasserbildung keinen gleichwertigen Ersatz. Für die Herstellung von Beton dagegen kann auch auf Steinbruchmaterial umgestellt werden.

2. Wasser als Brauchwasser. Das Rheinwasser ist während des grössten Teils des Jahres für verschiedene Nutzungen als Brauchwasser verwendbar. Die Ansprüche der verschiedenen Industrien an die Qualität von Brauchwasser klaffen naturgemäss weit auseinander. Vorder- und Hinterrhein weisen noch eine Wasserqualität auf, die für Brauchwasser als gut gelten kann.

Auch als Kühlwasser wird Rheinwasser verwendet werden können. Eine Erschwernis bilden die langfristig vor-

kommenden Schwebestofführungen, die eine mechanische Teil-Aufbereitung des Wassers erforderlich machen. Im Gegensatz zu den Anreicherungen von Grundwasser zu Trinkzwecken spielen die im Wasser gelösten organischen Stoffe für bestimmte Industriezweige keine Rolle.

3. Flusswasser für Kraftnutzung. Verschmutzte Wasser sind auch für Kraftwerke ungeeignet und können unter ungünstigen Umständen in stagnierenden Zonen giftige und aggressive Stoffwechselprodukte erzeugen, die den Werkmaterialien abträglich sind.

4. Flusswasser für Hygiene und Sport. Dem Badebetrieb im Rhein kommt zufolge der tiefen mittleren Temperatur keine grosse Bedeutung zu. Dagegen dienen die Wildwasser dem Paddelbootsport als willkommene Uebungsgelände. Die Fahrten in einer sauberen Gischt sind natürlich erholsamer als Fahrten im trüben und stinkigen Bach.

Für die unzulängliche Hygiene im Gewässer verantwortlich sind weniger die Industrien, als die Gemeindeabwässer, die ungenügend gereinigt sind. Bedenkliche Zustände im Gewässer rufen zwangsläufig einer geschlossenen Badeanlage mit künstlichen Bassins.

5. Fischerei. Spezielle fischereiliche Untersuchungen wurden im Rahmen dieser Untersuchung nicht ausgeführt.

6. Bau von Abwasserreinigungsanlagen. Um die Qualität des Rheinwassers wieder verbessern zu können, bedarf es noch weiterer grosser Anstrengungen seitens der Behörden in den Anlieger-Kantonen und -Ländern. Die bisherigen Massnahmen reichen noch lange nicht aus, um den alten Zustand wieder einigermassen zu erreichen. Es sollen die Abwässer mindestens mechanisch-biologisch gereinigt und der höchstmögliche Reinigungseffekt daraus erzielt werden. Für grössere Regionen ist auch zu prüfen, ob die chemische Stufe zur Ausfällung der Phosphate mit eingeplant werden soll. Die zuständigen Behörden werden die entsprechenden Weisungen und Richtlinien im Bewilligungsverfahren erlassen.

7. Landschaftsbild — Erholungslandschaft. Der Mensch, der nach strenger Arbeit sich von den Strapazen erholen will, sucht in zahlreichen Fällen die Nähe des beruhigenden Wassers auf. Die Fröhlichkeit, die von einem munteren Bächlein ausströmt, wirkt erholend auf den müden Körper. Stinkige und unansehnliche trübe Wasser ekeln den Besucher an und er wendet sich verärgert, unerholt wieder seiner Arbeit zu.

8. Allgemeines. Die vorliegende Untersuchung erfasst den Zustand des Rheins im Spätherbst 1965. Das erarbeitete Material kann wohl die Grundlage für die generelle Beurteilung der Wirksamkeit geplanter Sanierungsmassnahmen im Einzugsgebiet des Flusses bilden, doch wird der besondere Charakter dieser Erhebung bei der Planung von Abwasseranlagen u. U. zusätzliche örtliche Untersuchungen erforderlich machen.

Die koordinierte Untersuchung hat mit aller Deutlichkeit gezeigt, dass im ganzen Einzugsgebiet des Rheins Herde von Belastungen vorkommen, die einer dringenden Sanierung bedürfen. Es drängen sich Gebiete auf, in denen die begonnenen Planungsarbeiten für Abwasseranlagen beschleunigt weitergeführt werden sollten. Die Technik der Abwassersanierung ist heute so weit entwickelt, dass es möglich ist, die angezeigten Massnahmen für den Gewässerschutz zu realisieren.

Die Erfahrung zeigt, dass industrielles zusammen mit häuslichem Abwasser in vielen Fällen besser, rationeller und erst noch preisgünstiger gereinigt werden kann, als

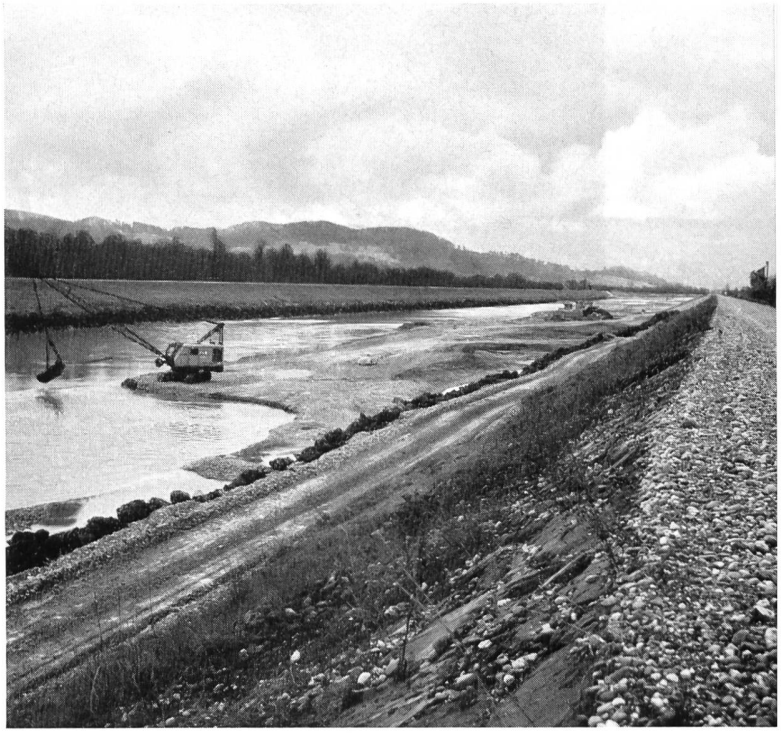
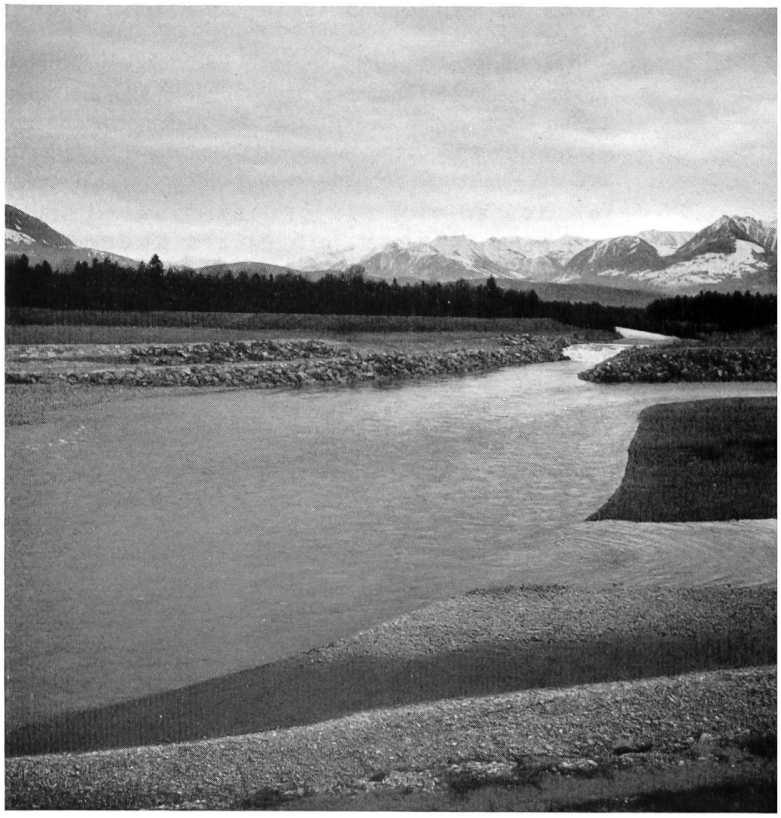


Bild 30 Ausbeutung einer Kiesbank in der st. gallisch-liechtensteinischen Rheinstrecke; im Hintergrund das Werk Salez der Rheinkies AG. Der wasserseitige Fuss des Rheindammes ist gegen Unterspülung geschützt durch einen 5 m breiten Blockwurf, welcher durch ständige Nachschüttung der sich absenkenden Sohle angepasst wird. Ueber dem Blockwurf ist eine dem Unterhalt dienende Fahrstrasse angelegt; die Böschung des Hochdammes ist mit groben Steinen gepflästert.

Bild 31 Mündung der Ill in den Rhein bei Niederwasser. Die als Folge der Regulierung eingetretene Absenkung der Rheinsohle ist deutlich erkennbar an der Niveaudifferenz zwischen den Wasserspiegeln der beiden Flüsse. Der ungefähr 3 m hohe Absturz der Ill ist mit einem Blockwurf gegen Erosion gesichert.
(Photos H. Bertschinger Rorschach)



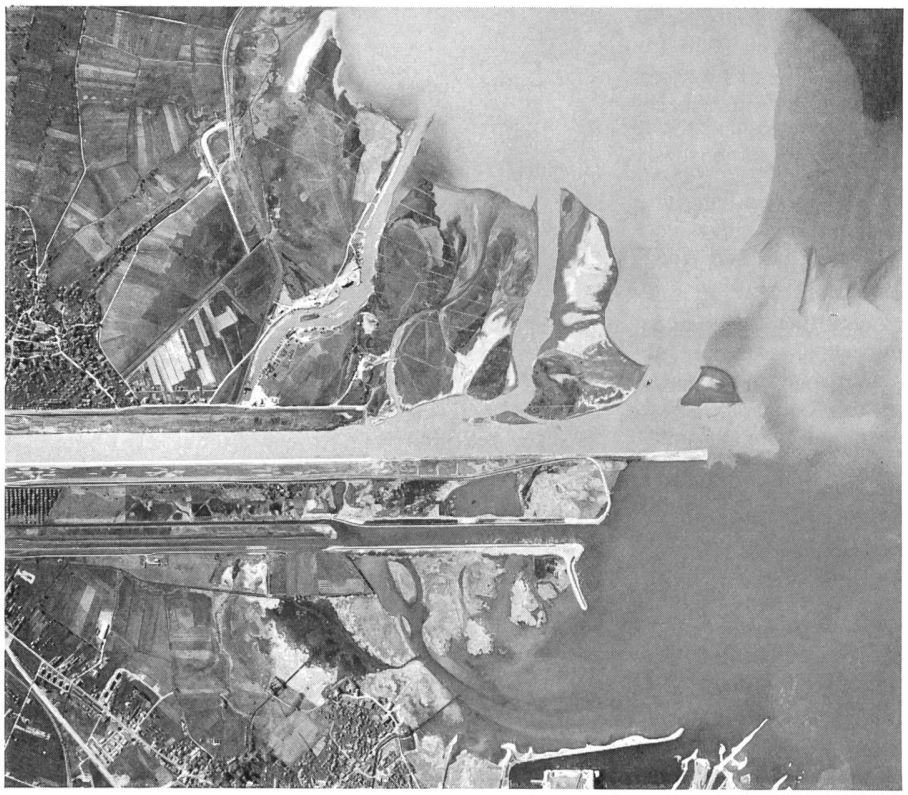


Bild 32
Flugaufnahme der Mündung des Alpenrheins in den Bodensee. (Swissair-Photo)

wenn eigene Anlagen mit all ihren Erschwernissen betrieben werden.

Als vordringliche Massnahme ist die rasche Sanierung der folgenden Regionen erforderlich und deshalb zur baldigen Ausführung empfohlen:

Emserwerke AG, Ems
Regionen Chur, Feldkirch, Bludenz
Kurorte Davos und Arosa, später auch Klosters und Flims
Landquart, Lenzerheide, Schiers, Ilanz, Disentis, Thusis
Ferner die Papier- und Textilindustrie, sowie grössere Schlachthöfe.

Die übrigen Gemeinden sollen nach Massgabe ihrer Möglichkeiten und nach dem Plan der kantonalen und staatlichen Dienststellen den Ausbau der Kanalnetze und der Abwasserreinigungsanlagen verwirklichen, damit bestehende örtliche Missstände behoben werden können.

Auf keinen Fall darf aber mit der Sanierung so lange zugewartet werden, bis irreparable Schäden in chemischer und hygienisch-biologischer Hinsicht an den Gewässern bestehen bleiben.

Anmerkung:

Ohne die tatkräftige Mithilfe des Rheinverbandes, der kantonalen und der Landesbauämter in Chur, St. Gallen, Vaduz und Bregenz, des Bundes, der Stiftung der Wirtschaft zur Förderung des Gewässerschutzes, der kantonalen Laboratorien, der EAWAG, des Personals der Polizeikorps im Kanton Graubünden, der Rheinbauleitung in Rorschach, des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes wäre die Ausführung dieser Grossarbeit nicht möglich gewesen. Der Berichterstatter möchte daher allen Beteiligten, sowie dem Eidg. Amt für Wasserwirtschaft, den zahlreichen Elektrizitätsgesellschaften, dem Bauamt von Arosa und schliesslich Herrn Dr. J. Ruchti und Frau K. Hertelendy für die Mithilfe bei der Ausarbeitung des Berichtes bestens danken.

Q. Literaturverzeichnis

- Terra Grischuna: Der Rhein vom Piz Badus zum Bodensee. Okt. 1967, Nr. 5, 26. Jahrgang.
- Eidg. Volkszänlung 1960, Wohnbevölkerung der Gemeinden
- Hydrographisches Jahrbuch der Schweiz 1965
- Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee
  - Bericht Nr. 1, Zustand und neuere Entwicklung des Bodensees
  - Bericht über die chemischen Untersuchungen des Alpenrheins zur Feststellung der Herkunft der eutrophierenden Stoffe 1964/65 (unveröffentlicht)
  - Bericht zur Feststellung der Ursachen für die Verschmutzung des Bodensees (1967)
- German Müller und Gerd Tietz: Der Phosphorgehalt der Bodenseesedimente, seine Beziehung zur Herkunft des Sedimentmaterials sowie zum Wasserkörper des Bodensees
  N. Jb. Miner. Abh. 105, 1, 41—62, 1966
- Kliffmüller, R., 1960: Beiträge zum Stoffhaushalt des Bodensees (Obersee). I. Die in den Bodensee eingebrachten Schmutz- und Nährstoffe und ihr Verbleib. — Versuch einer bilanzmässigen Erfassung für 1958/59. Int. Rev. ges. Hydrobiol. 45
- Kliffmüller, R., 1960: Die Zunahme der Phosphatkonzentration im Bodensee. Int. Rev. Hydrobiol.
- Gutachten der Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz über den Einfluss der Fabrikabwasser der HOVAG auf die fischereilichen Verhältnisse im Rhein im Zeitraum vom Januar 1957 bis zum März 1958. Gutachten vom 8. Okt. 1958 an den Kleinen Rat des Kantons Graubünden.
- Regionalplanungsgruppe Nordwestschweiz, Fachkommission für regionale Abwasserfragen:
  - Bericht Nr. 2, Die Verunreinigung der Aare zwischen Bielersee und Rhein. (Wasser- und Energiewirtschaft Nr. 4,1954)
  - Bericht Nr. 3, Die Verunreinigung des Rheins vom Bodensee bis Karlsruhe. (Wasser- und Energiewirtschaft Nr. 5 und 10, 1957)
  - Bericht Nr. 4. Die Verunreinigung der Birs (Monatsbulletin Gas- und Wasserfach Nr. 9 und 10, 1963)
- Linth-Limmatverband / Märki, E.,
  Die Verunreinigung von Linth und Limmat. Chem. Untersuchungen vom 11./12. März 1959 (Wasser- und Energiewirtschaft Nr. 10, 1961)
- Eschmann K. H. Die Verunreinigung der Reuss zwischen Luzern und der Mündung in die Aare. Limnolog. Untersuchungen vom 5./6. Sept. 1962 (Wasser- und Energiewirtschaft Nr. 6, 1963)
- Eschmann K. H., Die Verunreinigung der Sihl. Limnolog. Untersuchungen vom 5./6. Okt. 1965 (Wasser- und Energiewirtschaft Nr. 3, 1966)
- Der Rhein. Sonderheft des Schweiz. Wasserwirtschaftsverbandes 1954. Wasser- und Energiewirtschaft Nr. 5—7, 1954