

ung

Ergebnisse der wissenschaftlichen Untersuchungen des schweizerischen Nationalparks
Herausgegeben von der Kommission der **Schweizerischen** Naturforschenden Gesellschaft
zur wissenschaftlichen Erforschung des Nationalparks

Résultats des recherches scientifiques entreprises au Parc National Suisse
Publiés par la **commission de la Société Helvétique** des Sciences Naturelles pour les études
scientifiques au Parc National

Band IV (Neue Folge)

31.

**CHEMISCHE UNTERSUCHUNGEN
IN DER OVA DA VAL FTUR
IM SCHWEIZERISCHEN NATIONALPARK**

(Beitrag zur Kenntnis des Stoffhaushaltes der Hochgebirgsbäche)

von

HANS NOLD

und

HANSJÖRG SCHMASSMANN

Druck Lüdlin AG, Liestal 1955

A. Einleitung

Im Sommer 1952 hat H. NOLD in der Ova da Val Ftur zweimal während je 26 Stunden mit stündlichen Bestimmungen den täglichen Gang der Temperatur, der Sauerstoff-Konzentration und der Kohlensäure-Konzentration untersucht. Ergänzende Untersuchungen wurden von H. NOLD im Sommer 1953 durchgeführt, wobei ihn Herr LEO WÖRN in verdankenswerter Weise unterstützte.

Durch Vermittlung des Präsidenten der Hydrologischen Subkommission der Wissenschaftlichen Nationalpark-Kommission wurde uns als Standquartier für die Untersuchungen das **Forschungslaboratorium** der Kommission für die wissenschaftliche Erforschung des Nationalparks bei Il Fuorn an der Ofenpass-Strasse zur Verfügung gestellt. Der Kommission sprechen wir für die Unterstützung der Arbeiten unseren verbindlichen Dank aus.

Das Ziel der Untersuchungen war, die von H. SCHMASSMANN (1951) dargestellten Kenntnisse über den **Stoffhaushalt** der **fließenden** Gewässer zu erweitern und insbesondere die tägliche Periodizität der Gas-Konzentrationen in einem von menschlichen Einflüssen unberührten, d. h. keine Belastung mit **Abwasserstoffen** aufweisenden Gewässer zu studieren. Durch die Verfolgung dieses Ziels konnte zugleich ein Beitrag zur hydrologischen Erforschung des schweizerischen Nationalparks geleistet werden.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit ist H. NOLD für alle örtlichen Beobachtungen, für die an Ort und Stelle ausgeführten chemischen Untersuchungen sowie für deren Auswertung und H. SCHMASSMANN für die Interpretation der Untersuchungsergebnisse verantwortlich.

B. Hydrographie der Ova da Val Ftur

1. Topographische Lage (Abb. 1–3)

Die Ova da Val Ftur entspringt mit zwei Armen am Südrhang der durch P. Murtens (3012 m), P. Samuoir (3023 m) und P. Ftur (3022 m) gebildeten Bergkette. Die beiden Arme vereinigen sich auf 2195 m ü. M. (Landeskarte = Pt. 2189 der Siegfriedkarte).

Von hier verläuft das Tal zwischen dem südlichen Ausläufer (Pt. 2886 m) des P. Laschadurella und dem P. dal Fuorn (2908 m) eingeschlossen in südsüdwestlicher Richtung bis auf etwa 1860 m ü. M. und biegt dann nach Südsüdosten um. Etwa auf 1750 m ü. M. mündet die Ova da Val Ftur in die Ova dal Fuorn.

Unterhalb von Pt. 2195 ist das Gefälle des Baches **verhältnismässig** ausgeglichen. Nur auf etwa 1860 m ü. M. findet sich ein eigentlicher Wasserfall von etwa 2 m Höhe. Der Bach **fließt** besonders im Unterlauf in einer breiten, von **Wildbachschutt** bedeckten Talsohle.

Die Geologie ist dadurch gekennzeichnet, dass die Berge nördlich und östlich des Tales von Hauptdolomit gebildet werden. Die Talsohle wie auch die Höhen westlich

des Tales liegen **grösstenteils** im Bereich der älteren Raiblerschichten, die aus **Dolomit, Tonschiefern, Mergeln, Kalken, Gips** und **Rauhwacken** bestehen. **Nur im untersten Talabschnitt** ist das Tal in die noch **älteren** Schichten der mittleren und unteren **Trias** eingeschnitten (vgl. **BOESCH**).

Die Vegetation **ist** oberhalb Pt. 2195 sehr spärlich. **Talauswärts** finden sich an den **Talhängen** vorwiegend Schutthalden und **Legföhrenbestände**. **Etwa** in der **unteren Hälfte** des **Talabschnittes** zwischen Pt. 2195 und der **Mündung** sind die **Talhänge bewaldet**. Da der Bach in der breiten Schotterflur flieast und die untersten **Partien** der Talhänge **häufig** durch Erosion angerissen sind, reicht der Wald jedoch im allgemeinen nicht bis an den Bach.

Im Sommer **1953** wurde oberhalb etwa **2100 m ü. M.** noch viel **Lawinenschnee** im Bachbett beobachtet. Der rechte Arm des Oberlaufs war fast vollständig damit **abgedeckt**.

Das gesamte **Einzugsgebiet** des Baches gehört zum **schweizerischen Nationalpark**. Es ist deshalb ohne **jegliche** Besiedlung **und enthält** keinerlei Viehweiden.

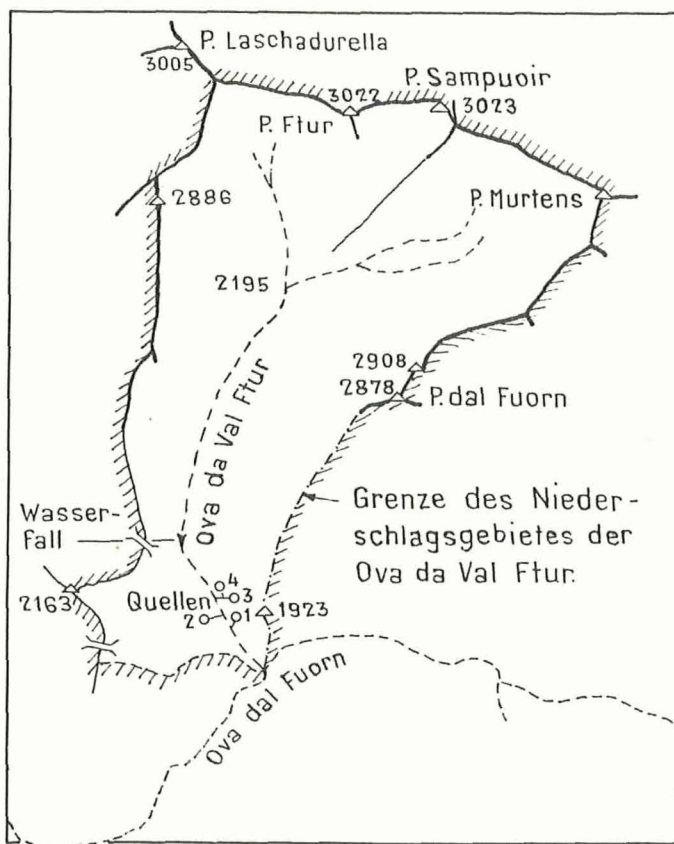


Abb. 1 Situationskizze der Ova da Val Ftur 1:50 000



Abb. 2 Piz und Val Ftur von der Alp Grimmels aus. Phot. ED. HANDSCHIN.

2. Fliessgeschwindigkeit und Abfluss

Im Juli 1952 wurde der Bach bei Pt. 1870 (Landeskarte = ca. Pt. 1894 der Siegfriedkarte) mit Fluorescein gefärbt. Die Spitze der Farbwelle wurde 31 Minuten nach der Färbung an der Mündung beobachtet. 45 Minuten nach der Färbung war der Bach an der Mündung wieder farblos. Für die rund 1100 m lange Strecke ergibt sich eine Fliessgeschwindigkeit zwischen 0,4 und 0,6 m/sec. Aus der Fliessgeschwindigkeit und dem Querschnitt des Bachbettes wurde der Abfluss zu etwa 120 l/sec geschätzt.

Bei einem weiteren, im Juli 1953 durchgeführten Färbversuch wurde Fluorescein beim Pt. 2195 zugegeben. Dabei zeigte sich, dass die Farbwelle schon bald unterhalb der Färbungsstelle stark auseinandergerissen wurde. Die rund 500 m talabwärts liegende Höhenkote von etwa 2100 m wurde von der Spitze der Farbwelle nach 30 Minuten erreicht, was auf dieser Strecke eine maximale Fliessgeschwindigkeit von etwa

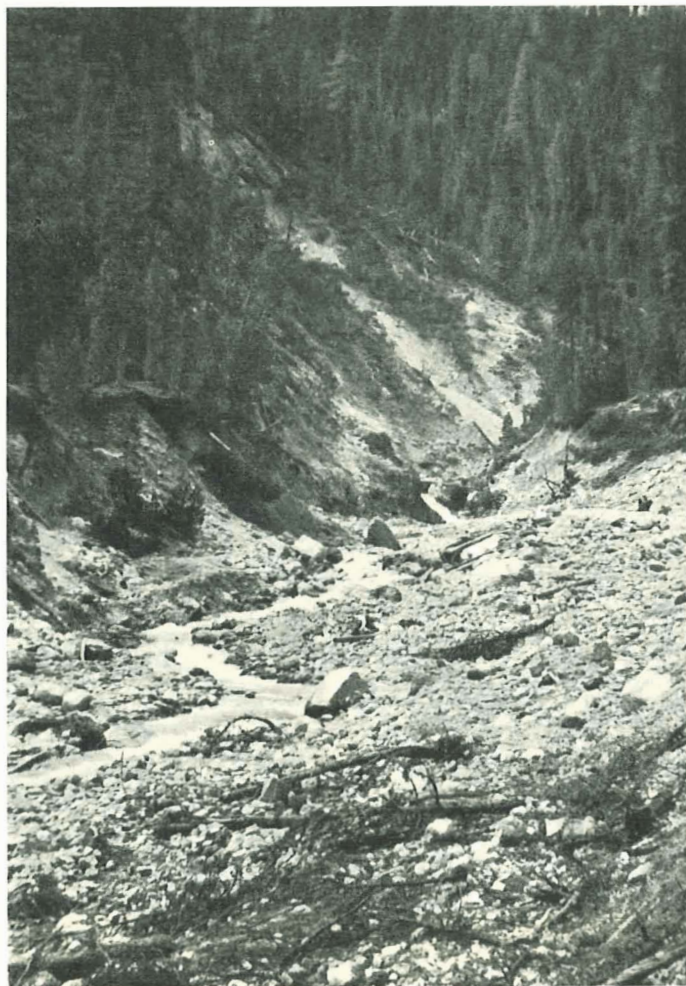


Abb. 3 Ova da Val Ftur auf etwa 1820 m ü. M. Phot. L. WÖRN.

0,3 m/sec ergibt. Die rund 2500 m lange Strecke zwischen der Höhenkote 2100 m und der Mündung wurde von der Spitze der Farbwelle in 65 Minuten zurückgelegt, was einer maximalen Fließgeschwindigkeit von etwa 0,65 m/sec entspricht.

3. Quellen

Der Abfluss der Ova da Val Ftur stammt zur Hauptsache von den beiden sich bei Pt. 2195 vereinigenden Armen. Nach BOESCHE (S. 99) treten in deren Einzugsgebiet an der Basis des über Raiblerschichten überschobenen Hauptdolomits starke Quellen zu Tage. Etwa 100 m unterhalb von Pt. 2195 wurde rund 30 m rechts des Bachbettes ein Wasseraufstoss festgestellt.

Weiter talabwärts wurden nur im untersten Talabschnitt grössere Zuflüsse beobachtet, die aus folgenden Quellen stammen:

Quelle 1 liegt am linken Talhang in etwa 1820 m ü. M. Das Wasser dieser Rheokrene fliesst zunächst in flachem Lauf ab, um sich dann mit steilem Gefälle rund 400 m oberhalb der Mündung in die Ova da Val Ftur zu ergiessen. An einem Seitenarm des Quellbächleins findet sich ein kleiner Tümpel.

Quelle 2 findet sich am oberen Ende eines kleinen Rinnsals im Wald des rechten Talhanges in etwa 1860 m ü. M. Die Mündung in die Ova da Val Ftur erfolgt oberhalb derjenigen von Quelle 1.

Quellen 3 und 4 entspringen im Walde des linken Talhanges auf etwa 1840 m ü. M. Die beiden Quellbächlein vereinigen sich vor dem Steilabsturz in die Ova da Val Ftur.

Die Quellen des linken Talhanges gehören zu der von BOESCH (S. 99) genannten Quellserie an der frontalen Scherfläche der „Umbraileinwicklung“.

Der Abfluss der in den Unterlauf der Ova da Val Ftur einmündenden Quellen wurde am 4.7. 53 wie folgt bestimmt:

| | | | | |
|------------------|-----|-----|-----|-----|
| Quelle Nr. | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Abfluss in l/sec | 0,8 | 0,3 | 1,0 | 1,0 |

C. Die Resultate der physikalischen und chemischen Untersuchungen

1. Ganztägige Untersuchungsserien in der Ova da Val Ftur

a) Probefassungsstelle

Die Fassungsstelle liegt in der Ova da Val Ftur etwa 100 m oberhalb der Mündung in die Ova dal Fuorn auf etwa 1770 m ü. M. Der Bach besitzt hier eine Breite von etwa 2½ m.

b) Witterung der Untersuchungstage

Am Vormittag des 4.7. 52 war noch eine leichte Bewölkung vorhanden. Nachher war der Himmel bis zum Schluss der Untersuchung klar. Der mittlere Barometerstand betrug 619 mm.

Der Vormittag des 12.7. 52 war durch eine zeitweilig sich auflösende Wolken- decke gekennzeichnet. Nachmittags begann sich die Wolkendecke zu schliessen, und später setzten einige kurze Regenschauer ein. Am späten Abend folgte eine Aufhellung, welche einer klaren Nacht voranging. Am Morgen des 13.7. 52 lag eine Hochnebeldecke über dem Gebiet, die später durch eine leichte Bewölkung abgelöst wurde. Der Barometerstand stieg während der Untersuchungen von 618 auf 620 mm an.

Die Sonne ging an der Fassungsstelle etwa um 6 h südlich des Piz Nair auf und etwa um 18 h über der Alp Grimels unter.

c) Erläuterung zu den Tabellen

Die Resultate der Untersuchungen sind in den Tabellen 1 und 2 zusammengestellt und auf den Abbildungen P 6 graphisch dargestellt.

Die Lufttemperatur wurde am 4./5. 7. 52 im Schatten des Waldrandes und am 12./13. 7. 52 im Schatten eines Steinhaufens unmittelbar am Bachufer in etwa 20 cm Höhe über dem Wasserspiegel gemessen.

Die aktuelle Sauerstoff-Konzentration wurde nach der Methode von WINKLER bestimmt.

Bei der Berechnung der Sauerstoff-Sättigungskonzentration wurde der nach der barometrischen Höhenformel ermittelte Gesamtdruck der trockenen Atmosphäre (H. SCHMASSMANN 1949, S. 443) berücksichtigt. Der experimentell bestimmte

te 2100 m und
ückgelegt, was

beiden sich bei
Einzugsgebiet
starke Quellen
les Bachbettes

Barometerstand wurde zu dieser **Berechnung nicht** verwendet, da er den Wasserdampfdruck als **Unbekannte enthält** (vgl. H. SCHMASSMANN 1949, S. 444). **Wenn man** den experimentell **bestimmten Barometerstand** um die bei der Temperatur des **Wassers** vorhandene maximale **Wasserdampf-tension** vermindert und die erhaltene **Differenz** für die Berechnung der **Sauerstoff-Sättigungskonzentration verwendet**, so erhält man übrigens Werte, die **nur etwa $\pm 0,03$ mg/l** von den berücksichtigten abweichen.

Die **aktuelle Konzentration** der freien Kohlensäure wurde mit **0,05 n Natronlauge** gegen **Phenolphthalein** als **Indikator titriert** (H. SCHMASSMANN 1948).

Da der **Partialdruck** der Kohlensäure im Gegensatz zu demjenigen des **Sauerstoffs grossen** Schwankungen unterworfen ist, **können** wir keine auf das Gleichgewicht mit der Atmosphäre sich beziehenden **Sättigungskonzentrationen** berechnen, die wie beim **Sauerstoff allgemein anwendbar** wären. **Wenn** für die Beurteilung des **Kohlensäurehaushaltes ein dem Sauerstoff-Sättigungsindex** entsprechender Wert **erhalten** werden **soll**, so müssen wir **deshalb** die **aktuelle Kohlensäure-Konzentration** zur wahren **Kohlensäure-Sättigungskonzentration** in Beziehung setzen. Die wahre **Sättigungskonzentration** (vgl. H. SCHMASSMANN 1949, S. 450,457) ist in diesem **Falle** diejenige **Kohlensäuremenge**, die unter den **gegebenen Temperatur- und Druckbedingungen** mit einer reinen **Kohlensäureatmosphäre** im Gleichgewicht stehen würde, sie ist in jedem Falle **proportional** der unbekanntes Gleichgewichts-**Sättigungskonzentration**. Das **Verhältnis** der **aktuellen Konzentration** zur wahren **Sättigungskonzentration** ergibt deshalb **z. B.** bei der Betrachtung der **täglichen Periodizität** ein brauchbares relatives **Mass** für die **Beurteilung** des Stoffhaushaltes.

2. Die gelösten mineralischen Bestandteile im Wasser der Ova da Val Ftur

Folgende **von H. NOLD** erhobene Proben, wurden durch Herrn TH. **STRICKLER**, Mitarbeiter von H. SCHMASSMANN, untersucht:

| Datum | 6. 7. 52 | 13. 7. 52 | 6. 7. 52 | 13. 7. 52 |
|---|------------------------------------|------------|-------------------------|-------------------|
| Zeit | 19.00 | 11.00 | 19.00 | 11.00 |
| | Milligrammäquivalente per Liter | | Milligramm per Liter | |
| Kationen | | | | |
| Alkalien ergänzt (als Na.) | 0,2 | 0,25 | 4,6 | 5,3 |
| Calcium, Ca ⁺⁺ | 1,1 | 1,5 | 22,0 | 30,1 |
| Magnesium, Mg ⁺⁺ | 0,35 | 0,35 | 4,5 | 4,5 |
| Summe | 1,65 | 2,1 | 31,1 | 39,9 |
| Anionen | | | | |
| Chloride, Cl ⁻ | 0,15 | 0,15 | 5,5 | 4,4 |
| Nitrate, NO ₃ ⁻ | 0,0 | 0,0 | nicht nachweisbar | nicht nachweisbar |
| Sulfate, SO ₄ ⁻ | 0,0 | 0,05 | nicht nachweisbar | nicht nachweisbar |
| Hydrokarbonate, HCO ₃ ⁻ | 1,5 | | 91,5 | 119,0 |
| Summe | 1,65 | 2,1 | 96,6 | 123,4 |
| Gesamtionenkonzentration | 3,3 | 4,2 | 127,7 | 163,3 |

3. Temperaturmessungen im Längsprofil der Ova da Val Ftur

Am 6. Juli 1953 wurden im Längsprofil der Ova da Val Ftur folgende Temperaturen gemessen.

Die Witterung des Untersuchungstages war sehr regnerisch.

| Distanz von der Mündung in m (ea.) | Höhe in m ü. M. | Zeit | Wassertemperatur der Ova da Val Ftur in C° | Einmündendes Quellbächlein | Wassertemperatur des Quellbächleins in C° |
|------------------------------------|-----------------|-------|--|----------------------------|---|
| 2000 | 2000 | 14.20 | 6,6 | — | — |
| 1400 | 1940 | 14.00 | 7,5 | — | — |
| 1100 | 1880 | 13.30 | 8,9 | — | — |
| 900 | 1860 | 13.40 | 8,8 | (Wasserfall) | — |
| 900 | 1860 | 11.30 | 7,4 | (Wasserfall) | — |
| 600 | 1805 | 11.10 | 8,1 | Quelle Nr. 3/4 | 11,0 |
| 450 | 1800 | 11.00 | 8,6 | Quelle Nr. 2 | 9,9 |
| 380 | 1790 | 10.45 | 9,2 | Quelle Nr. 1 | 9,5 |
| 30 | 1750 | 10.30 | 9,9 | — | — |

4. Chemische Untersuchung der Quellen am Unterlauf

Die vier Quellen des Unterlaufs wurden am 4. Juli 1953 untersucht. Vergleichsweise wurde am selben Tage eine Probe aus der Ova da Val Ftur entnommen.

| Probefassungsstelle | Quelle 1 | Quelle 2 | Quelle 3 | Quelle 4 | Bach bei 1780 m ü. M. |
|-----------------------------|----------|----------|----------|----------|-----------------------|
| Zeit | 14.15 | 13.30 | 10.30 | 11.00 | 15.15 |
| Barometerstand mm | 614 | 616 | 612 | 612 | 616 |
| Lufttemperatur C° | 16,6 | 18,6 | 17,2 | 20,1 | 20,5 |
| Wassertemperatur C° | 6,5 | 7,9 | 5,9 | 6,3 | 9,2 |
| Sauerstoff: | | | | | |
| Aktuelle Konzentration mg/l | 9,6 | 9,5 | 9,2 | 8,8 | 9,4 |
| Sättigungskonzentration | 9,9 | 9,5 | 10,0 | 9,9 | 9,4 |
| Sättigungsindex % | 97 | 100 | 92 | 89 | 100 |
| Freie Kohlensäure mval/l | 0,63 | 0,63 | 0,60 | 0,60 | 0,20 |

D. Der Stoffhaushalt in der Ova da Val Ftur

1. Thermik

a) Tagesgang

Die Wassertemperatur zeigt in beiden Untersuchungsreihen eine ausgeprägte tägliche Periodizität.

er den Wasser-
(144). Wenn man
atur des Wassers
altene Differenz
t, so erhält man
abweichen.

t 0,05 n Natron-
948).

igen des Sauer-
s Gleichgewicht
rechnen, die wie
ng des Kohlen-
Wert erhalten
tion zur wahren
die wahre Sätti-
iesem Faie die-
nd Druckbedin-
stehen würde.
hts-Sättigungs-
ren Sättigungs-
Periodizität ein

Val Ftur

H. STRICKLER,

| |
|-----------------------------------|
| 13. 7. 52 11.00 |
| lligramm er Liter |
| 5,3 30,1 4,5 |
| 39,9 |
| 4,4 |
| achweisbar achweisbar 119,0 |
| 123,4 |
| 163,3 |

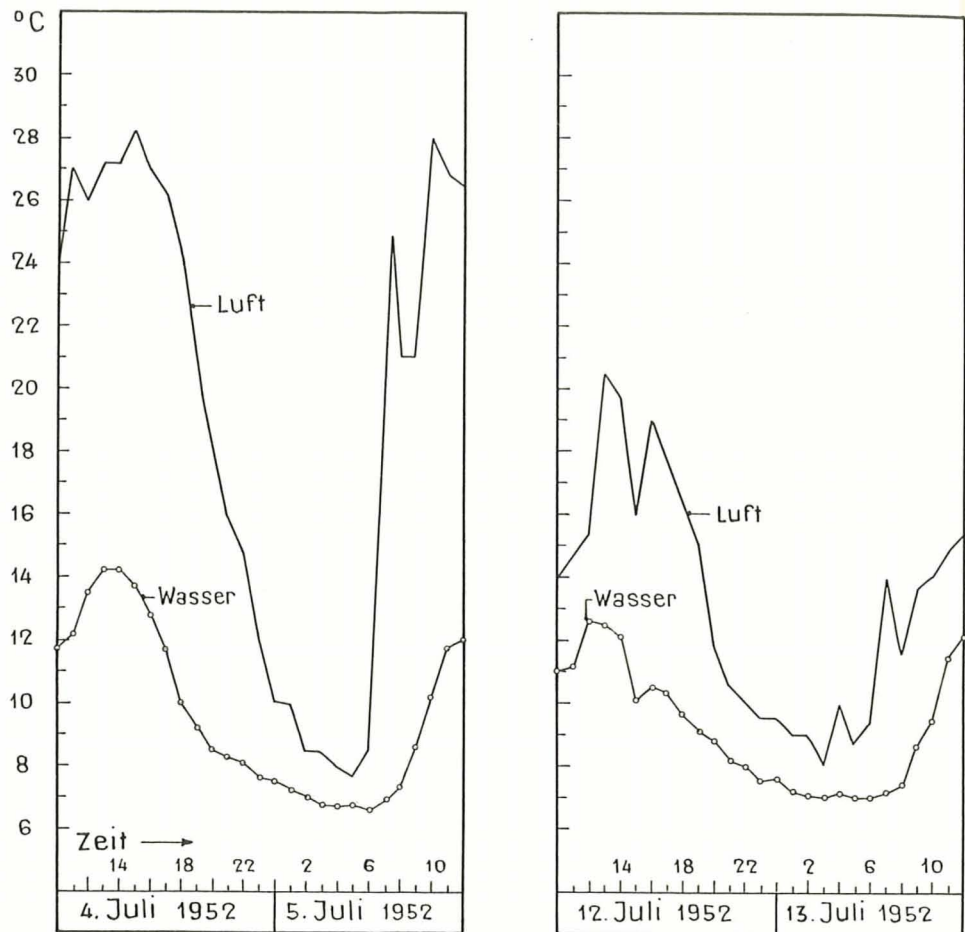


Abb. 4 Luft- und Wassertemperaturen

An allen Tagen stieg die Temperatur des Wassers entsprechend derjenigen der Luft während des Vormittags steil an. Infolge der erhöhten Lufttemperatur und der intensiveren Strahlung erwärmte sich das Wasser dabei am 4. 7. 52 um $1,6^{\circ}$ stärker als am bewölkten 12. 7. 52.

Während des Nachmittags und während der Nacht sank die Wassertemperatur bei beiden Untersuchungsserien in entsprechender Weise wie die Lufttemperatur. Die minimalen Temperaturen wurden dabei vor Sonnenaufgang erreicht. Die Minima der Wassertemperatur waren in beiden Fällen $1,0^{\circ}$ niedriger als diejenigen der Lufttemperatur.

b) Längsprofil

Bei den Messungen vom 6. 7. 53 wurde um 10.30 h auf 1750 m ü. M. eine Temperatur von $9,9^{\circ}$ und um 11.30 h auf 1860 m ü. M. trotz der um eine Stunde gegen Mittag vorgerückten Tageszeit nur noch eine solche von $7,4^{\circ}$ festgestellt. Daraus ergibt

sich, dass an diesem Tage zwischen den **beiden** Stellen eine Zunahme der **Wasser-**temperatur von mindestens etwa **2,4°** per 100 m stattfand. Für die am Nachmittag gemessene Strecke zwischen 2000 und 1860 m ü. M. ergibt sich ohne Berücksichtigung der Tagesperiodizität eine Zunahme der Wassertemperatur um etwa **1,6°** per 100 m **Höhendifferenz**. Aus diesen Beobachtungen geht hervor, dass zumindest tagsüber die **sömmerlichen Temperaturgradienten** eines Hochgebirgsbaches auch an einem regnerischen **Tag** wesentlich höher sind als die Temperaturgradienten der Luft oder derjenigen von Quellwässern.

2. Sauerstoff

a) Übersättigung

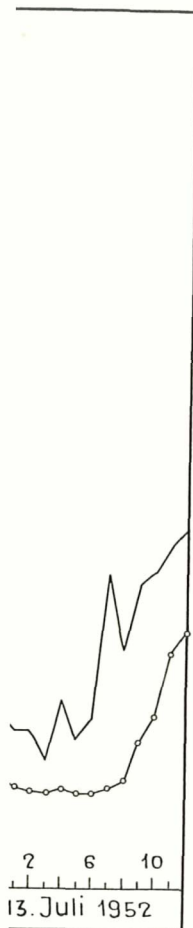
In **beiden** Untersuchungsserien wurde dauernd eine leichte **Sauerstoff-Übersättigung** festgestellt. Da diese auch nachts vorhanden ist, muss sie **ausschliesslich** oder doch zumindest **vorwiegend** auf physikalische, abiogene Ursachen zurückgeführt werden.

Entsprechend den Ergebnissen der Temperaturmessungen vom 6.7. 53 ist auch an den Tagen der **beiden** Untersuchungsserien talaufwärts mit einer erheblichen Abnahme der Wassertemperatur zu rechnen. Um den Einfluss der Temperaturänderung auf den **Sauerstoffhaushalt** beurteilen zu können, sei angenommen, am 4./5. 7. 52 habe die Wassertemperatur mit je 100 m **Höhenabnahme** um **2°** zugenommen. Wir erhalten dann vor Sonnenaufgang bei 1970 m ü. M. eine Temperatur von etwa **2,7°** und eine Sauerstoff-Sättigungskonzentration, die mit **10,7 mg/l** der an der Probefassungsstelle ermittelten aktuellen Konzentration entspricht. Am frühen Nachmittag ergibt sich bei 2000 m ü. M. eine Temperatur von **9,6°** und eine der an der Probefassungsstelle gemessenen aktuellen Konzentration entsprechende **Sättigungskonzentration** von **9,0 mg/l**. Man erkennt aus diesen Überlegungen, dass das Wasser an der Probefassungsstelle Sauerstoff-Konzentrationen aufweist, die an einer von ihm rund eine Stunde vorher durchflossenen Stelle mit der Atmosphäre im **Gleichgewicht** stehen **würden**. Da bei der vorhandenen Übersättigung zweifellos ein gewisses Entweichen von Sauerstoff anzunehmen ist, **wird** die **Gleichgewichtslage** in Wirklichkeit erst in einer noch grösseren Höhe – wahrscheinlich in der Region der Schneeschmelze – vorhanden sein. Im Bereiche **zwischen** 1700 und 2000 m **wäre** eine bestimmte aktuelle Konzentration erst dann auf jeder Höhe gleich gross **wie** die durch erhöhten Luftdruck vergrösserte und durch erhöhte Temperatur verminderte Sättigungskonzentration, wenn der Temperaturgradient nur **etwa 0,6°** per 100 m betragen **würde**.

Durch die **grundsätzliche** Abklärung der Verhältnisse kann die **Sauerstoff-Übersättigung** erklärt werden, indem angenommen **werden** muss, dass das Wasser an der Probefassungsstelle noch einen Teil der **ihm** in **grösserer** Höhe bei niedriger Temperatur im Gleichgewicht mit der Atmosphäre zukommenden Sauerstoff-Konzentration besitzt. Diese Erscheinung hängt damit zusammen, dass die Zufuhr kalorischer Energie rascher verläuft als **der Gasaustausch** mit der Atmosphäre. Damit **wird** auch verständlich, dass die höchsten **Übersättigungen** tagsüber auftreten, wenn sich das Wasser auf seinem Lauf am stärksten zu **erwärmen** vermag. In analoger Weise zu erklärende Zunahmen des Sauerstoff-Sättigungsindex hat WIKEN am **südschwedischen** Fiolenbach (vgl. H. SCHMASSMANN 1951, S. 320) beobachtet.

b) Tägliche Periodizität

Die aktuelle Sauerstoff-Konzentration besitzt in **beiden** Untersuchungsserien eine deutliche tägliche Periodizität. Ihre **Ganglinie** verläuft weitgehend mit derjenigen der

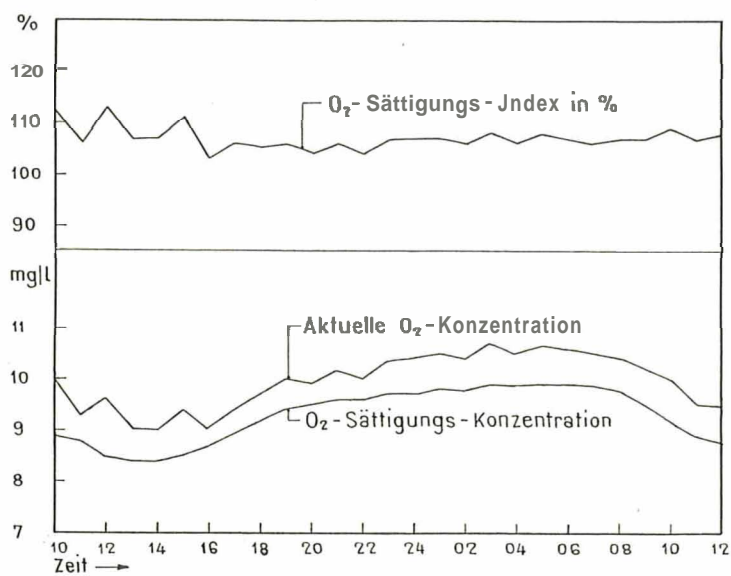


derjenigen der
peratur und der
um **1,6°** stärker

isstemperatur
emperatur. Die
Die Minima der
igen der **Luft-**

i. M. eine **Tem-**
e Stunde gegen
: Daraus ergibt

Untersuchungs - Serie 4. | 5.7. 52



Untersuchungs - Serie 12. | 13.7. 52

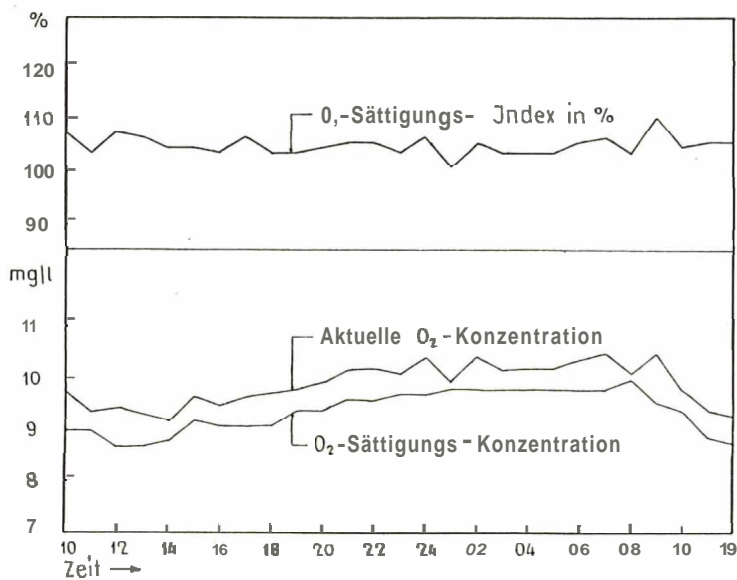


Abb. 5 Tägliche Periodizität des Sauerstoffs

Sättigungs-Konzentration parallel **und ist** deshalb in ihrem Charakter durch physikalische Ursachen bestimmt. Zwar ist nicht gänzlich **auszuschliessen**, dass die **unregelmässigen** Erhöhungen des Sauerstoff-Sättigungsindex während des Tages auf assimilatorische, d. h. biogene Einflüsse zurückzuführen sind. Wie oben gezeigt wurde, lassen sich diese Erhöhungen jedoch auch **durch rein physikalische** Ursachen erklären.

Auf alle Fälle übt die **Lebenstätigkeit von** Organismen keinen dominierenden Einfluss auf die tägliche **Ganglinie der** Sauerstoff-Konzentration aus. Die tägliche Sauerstoff-Periodizität ist in erster Linie **darauf zurückzuführen**, dass an und **oberhalb** der Probefassungsstelle bei niederen Temperaturen mehr Sauerstoff gelöst und in Lösung gehalten wird **als** bei hohen.

Die Ova da Val **Ftur** gehört somit in der Systematik der fliessenden **Gewässer** von H. **SCHMASSMANN** (1951) eindeutig **zum Gewässertyp** 4, welcher der oligosaprogenen bis katharoben Zone entspricht.

3. Freie Kohlensäure

a) Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht

Für die **beiden** auf die gelösten **Mineralbestandteile** untersuchten Proben ergibt sich im Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht bei 7° eine Konzentration von freier Kohlensäure (zugehörige Kohlensäure) von **0,02 bzw. 0,05 mval/l** und bei 13° eine solche von **0,03 bzw. 0,06 mval/l**.

Die aktuelle Kohlensäure-Konzentration **übertrifft** diese Werte um das Mehrfache. Die insbesondere in der **Untersuchungsreihe** vom 4./5. 7. 52 ausgeprägte tägliche Periodizität zeigt ferner, dass die aktuelle Konzentration nicht durch das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht bestimmt wird. Gerade bei den niederen Temperaturen, **wenn** auch die zugehörige Kohlensäure erniedrigt sein sollte, treffen wir die höchsten Kohlensäure-Konzentrationen an.

b) Gleichgewicht mit der Atmosphäre

Der normale Kohlensäure-Gehalt wird meist zu **0,03 Vol%** angenommen (KALLE, S. 54). **REINAU** (S. 397) hat in Kartoffelfeldern in der Freiluft **2,5 m** über Boden, an der Grüngrenze und in **Bodennähe** Werte zwischen **0,023 und 0,048 Vol%** festgestellt. Aus dem umfangreichen Material von **GUT** (S. 88) ergeben sich im Fichtenwald Werte **zwischen** **0,0164 und 0,0584 Vol%**, und im Buchenwald solche zwischen **0,0122 und 0,0760 Vol%**. **KREUTZ** (zit. von **OHLE**, S. 180) fand auf dem Gelände der **agrometeorologischen Forschungsstelle** Giessen als mittleren Wert von über 2500 Beobachtungen an der Erdoberfläche **0,0461**, in $\frac{1}{2}$ m Höhe **0,0431**, in 2 m Höhe **0,0417** und in **14 m** Höhe **0,0444 Vol%**. Werte von **weniger als 0,04%** waren selten, und solche von **0,03%** traten fast niemals auf.

Nehmen wir mit **OHLE** (S. 180) einen mittleren CO₂-Gehalt der Atmosphäre von **0,044 Vol%** an, so ergibt sich aus den Absorptionskoeffizienten für den mittleren Barometerstand der Probefassungsstelle in der Ova da Val Ftur bei 7° eine mit der Atmosphäre im Gleichgewicht stehende Kohlensäure-Konzentration von **0,042 mval/l** und bei 14° eine solche von **0,033 mval/l**. Ein Wasser, das bei 7° **0,35 mval/l** Kohlensäure enthält, hat demnach einen Sättigungsindex von **833%**, ein Wasser, das bei 14° **0,2 mval/l** Kohlensäure enthält, besitzt einen Index von etwa 600%. Das Wasser der Ova da Val Ftur befindet sich also hinsichtlich der Kohlensäure-Konzentration **wie** die meisten natürlichen Wässer nicht im Gleichgewicht mit der Atmosphäre.

Mit der bei 0° im Gleichgewicht mit der Atmosphäre herrschenden **Kohlensäure-Konzentration** von etwa 0,054 mval/l (bei 1770 m) **größenordnungsmässig** übereinstimmend fand **BÖGLI** in **frischem Schneeschmelzwasser** Werte **zwischen** etwa 0,04 und 0,08 mval/l.

Die zum **Gleichgewicht** mit den im Wasser der Ova da Val Ftur beobachteten **Kohlensäure-Konzentrationen** notwendigen **Kohlensäure-Partialdrucke** kommen auch in den **bodennahen Luftschichten** nicht vor. Dagegen sind **solche** Partialdrucke in der **Bodenluft** vorhanden. **WIEGNER-PALLMANN** (S. 167) geben z. B. als mittleren **Kohlensäuregehalt** der Bodenluft 0,30 Vol% (= 690% von 0,044) und als hohen **Kohlensäuregehalt** der **Bodenluft** 1,00 Vol% an. **Örtlich** kommen noch höhere Gehalte vor.

Die hohen **Kohlensäuregehalte** in Gewässern **können** somit nur durch die **Lösung** von Bodenluft gedeutet werden, sofern sie nicht durch im Gewässer **selbst** ablaufende **dissimilatorische** Prozesse zu erklären sind. Die **Voraussetzungen**, dass **mindestens** ein **Teil** des Wassers auf seinem **Lauf** mit **kohlensäurereicher** Bodenluft in Berührung kommt, sind auch bei einem alpinen **Gewässer** gegeben. **Schneeschmelzwasser**, das **aus Humuspolstern** abtropfte, **wies nach** **BÖGLI** z. B. eine **Kohlensäure-Konzentration** von etwa 0,12 mval/l auf, die den minimalen Werten der Ova da Val Ftur bereits sehr nahe kommt. Die Bestimmung der freien **Kohlensäure** in den direkt aus dem Boden austretenden Quellen der untersten Val **Ftur** hat noch wesentlich höhere Werte als im Bach ergeben.

Wenn also die **Herkunft** der hohen **Kohlensäure-Konzentration** erklärbar ist, **so** bleibt doch zunächst die Frage noch offen, weshalb in dem im Kontakt mit der freien **Atmosphäre** stehenden **Gewässer** das Gleichgewicht mit der Atmosphäre nicht hergestellt wird. Mit dieser **Erscheinung** steht indessen im Einklang, dass man auch bei der zur **Entsäuerung** von **Wässern angewandten Rieselung** die theoretisch zu erwartende Restkohlensäure nicht zu **erreichen** vermag. Nach **TILLMANS** (S. 32) gelingt **es** praktisch auch mit **der** besten **Rieselungseinrichtung nicht**, unter 5-7 mg/l (= 0,23-0,32 mval/l) **Restkohlensäure herunterzukommen**. „Das ist also etwa **10mal** mehr, als der **Kohlensäure-Partialdruck** dm reinen Luft verlangt. Die Ursache liegt auf der Hand. Es **gelingt** eben nicht, den Partialdruck in derartigen Luft auf der Höhe der reinen Luft zu halten, der Partialdruck der **Kohlensäure reichert** sich vielmehr, und **zwar** soweit an, dass man höchstens auf 5-7 mg/l herunterkommen kann. Die umgebende Luft **wird** also nicht 0,3-0,4‰, **sondern** etwa 3-4‰ **Kohlensäure-Partialdruck** aufweisen.“ In entsprechender Weise muss **auch** die hohe **Kohlensäure-Konzentration** der **Ova** da Val Ftur und anderer Gewässer dadurch erklärt werden, dass der **Kohlensäure-Partialdruck** in der **möglicherweise** sehr **dünnen wassernächsten Luftschicht höher** ist als in der freien Atmosphäre.

c) Tägliche Periodizität

Die aktuelle **Kohlensäure-Konzentration** besitzt eine tägliche Periodizität, welche namentlich in der **Untersuchungsserie** vom 4./5. 7. 52 ausgeprägt ist. An diesem Tage ist deutlich zu erkennen, dass die **Ganglinie** der aktuellen Konzentration mehr oder **weniger** parallel zu derjenigen der wahren Sättigungskonzentration verläuft. Dies scheint zunächst auf einen überwiegend physikalischen Charakter der täglichen **Kohlensäure-Periodizität hinzuweisen**.

Betrachtet man jedoch das Verhältnis **zwischen** aktueller Konzentration und wahrer Sättigungskonzentration, **so** erkennt man, dass auch dieses im Gegensatz zum **Sauerstoff-Sättigungsindex** eine deutliche tägliche Periodizität besitzt. Das **Tages-**

en Kohlensäure-
smässig überein-
schen etwa 0,04

ur beobachteten
e kommen auch
ialdrucke in der
ittleren Kohlen-
en Kohlensäure-
alte vor.

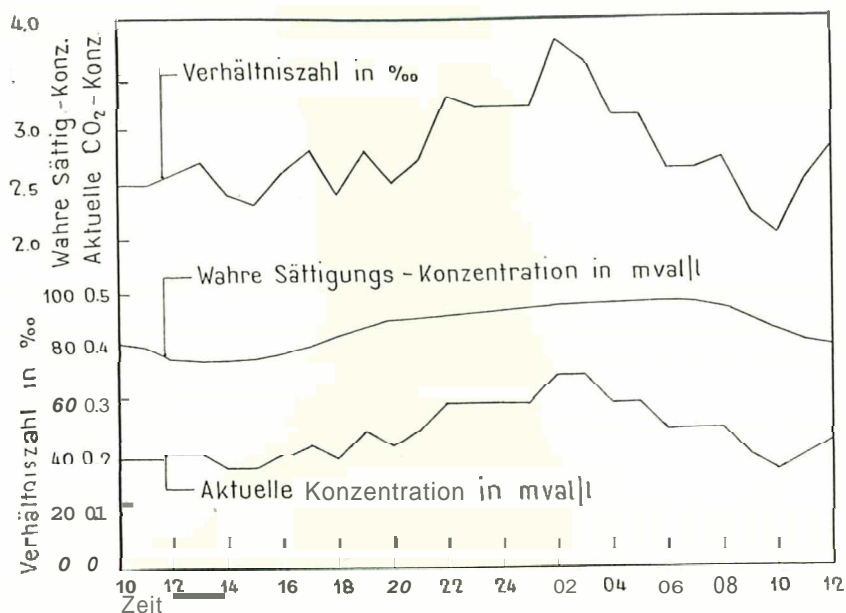
urch die Lösung
elbst ablaufende
lass mindestens
ft in Berührung
melzwasser, das
e-Konzentration
Ftur bereits sehr
aus dem Boden
öhre Werte als

erklärbar ist, so
t mit der freien
höhe nicht her-
s man auch bei
h zu erwartende
ngt es praktisch
,23-0,32 mval/l)
als der Kohlen-
er Hand. Es ger
reinen Luft zu
zwar soweit an,
ende Luft wird
aufweisen.“ In
on der Ova da
r Kohlensäure-
chicht höher ist

odizität, welche
An diesem Tage
tion mehr oder
verläuft. Dies
der täglichen

ration und wah-
Gegensatz zum
zt. Das Tages-

Untersuchungs - Serie 4. | 5. 7. 52



Untersuchungs - Serie 12. | 13. 7. 52

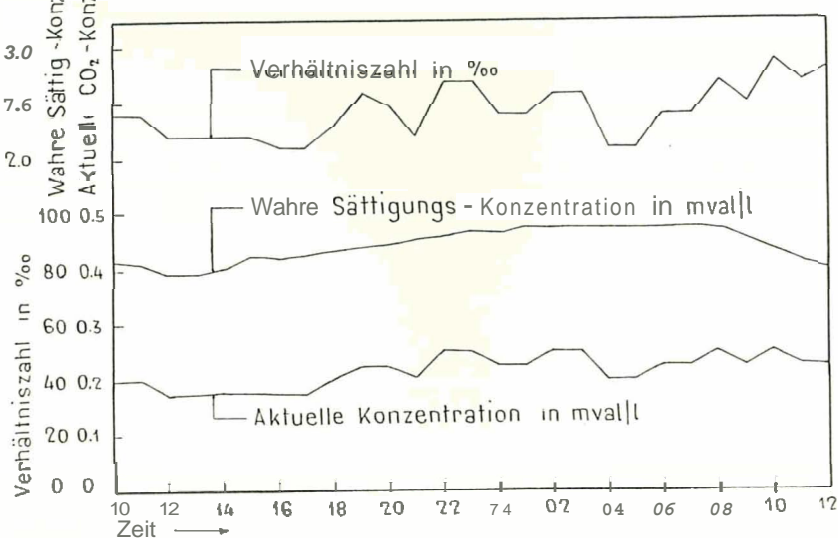


Abb. 6 Tägliche Periodizität der freien Kohlensäure

minimum und das **Nachtminimum** lassen dabei auf den Einfluss assimilatorischer **Prozesse** **schliessen**.

Die tägliche Amplitude der Kohlensäure-Konzentration beträgt $0,175 \text{ mval/l} = 0,0875 \text{ Millimol/Liter}$. **Bei** einer im Wasser erfolgenden Assimilation dieser **Kohlensäuremenge** **müsste** während des Tages eine Zunahme der Sauerstoff-Konzentration um $2,8 \text{ mg/l}$ stattfinden. Wir haben jedoch festgestellt, dass eine solche durch assimilatorische **Prozesse** bedingte **Sauerstoffanreicherung** **nicht** vorhanden ist. Die tägliche Periodizität des **Verhältnisses** zwischen aktueller Kohlensäure-Konzentration und wahrer **Sättigungskonzentration** muss auf eine andere Ursache zurückgeführt werden.

Als solche haben wir in erster Linie die täglichen Schwankungen des **Kohlensäure-Partialdrucks** in der **Atmosphäre** in **Erwägung** zu **ziehen**. Nach **GUT** (S. 93) steht die durch den **Abbau** der organischen Substanzen, die **Wurzelatmung** und andere Faktoren bedingte **Kohlensäureentwicklung** im **Waldboden** in engster Beziehung zur Temperatur und Feuchtigkeit und verläuft nach einer **tageszeitlichen** Kurve. In den **Waldbeständen** des Zürichberges hat **GUT** in der Regel „in den ersten Tagesstunden eine Abnahme des **Kohlensäuregehaltes** in der **Waldatmosphäre** **festgestellt**; **es** folgt im Laufe des **Nachmittags** eine Zunahme, die **sich** im **allgemeinen** bis in die Nacht hineinfortsetzt. **Innerhalb** weniger Stunden **kann** der **Kohlensäuregehalt** **Schwankungen** unterworfen **sein**, die bis auf das Vierfache ansteigen.“ So **wurden** in einem **Buchenbestand** an einem **Frühlingstag** Werte zwischen $0,0152$ und $0,0576\%$ festgestellt. In der **Freiluft** über einem **Kartoffelfeld** gibt **REINAU** allein tagsüber (**zwischen** 7 und 18 h) Werte zwischen etwa $0,042$ und $0,023\%$ an, **wobei** **bis** in den **Nachmittag** hinein eine Abnahme und gegen **den** **Abend** eine Zunahme zu **verzeichnen** ist.

Wir sehen, dass die in der Ova da Val Ftur beobachtete tägliche Periodizität der Kohlensäure-Konzentration bei **den** **andernorts** in der Atmosphäre festgestellten **Periodizitäten** des Kohlensäure-Partialdruckes ihre Parallele **findet**. Die tagsüber stattfindende Abnahme der Kohlensäure-Konzentration des **Bachwassers** kann also **dadurch** mitbestimmt werden, dass **für** die als **Diffusionsvorgang** erfolgende **Entweichung** der Kohlensäure aus dem **Wasser** in die Luft tagsüber ein **grösseres** Konzentrationsgefälle vorhanden ist **als** während der Nacht.

Wir haben uns die Frage gestellt, ob die beim **Assimilationsprozess** in der Atmosphäre **gleichzeitig** mit der **Kohlensäureabnahme** theoretisch erfolgende **Sauerstoffzunahme** nicht auch **einen** **messbaren** Einfluss auf die **Sauerstoff-Konzentration** des Wassers **ausüben** könne. Wenn der **Kohlensäuregehalt** der Luft bei der **Assimilation** z. B. um den sehr hohen Betrag von $0,04\%$ **abnimmt**, so wird der Sauerstoffgehalt theoretisch ungefähr um den gleichen Betrag **zunehmen**. Wenn also die Atmosphäre normalerweise $20,90 \text{ Vol\%}$ **Sauerstoff** enthält, **so** wird der Gehalt auf $20,94 \text{ Vol\%}$ ansteigen. **Dabei** werden **M** Wasser statt z. B. $10,00 \text{ mg/l}$ Sauerstoff $10,02 \text{ mg/l}$ mit der **Atmosphäre** im Gleichgewicht stehen. Daraus ist ersichtlich, dass die theoretisch anzunehmenden Sauerstoff-Schwankungen der Atmosphäre wegen der **gegenüber** der Kohlensäure **verhältnismässig geringen Löslichkeit** des **Sauerstoffs** **keinen** erkennbaren **Einfluss** auf die **Sauerstoff-Konzentration** des Wassers **haben können**.

Aus den bisherigen **Überlegungen** geht hervor, dass sowohl die von der Temperatur abhängige **Löslichkeit** der Kohlensäure als auch die durch die biochemische Tätigkeit der **Landpflanzen** bedingten **Schwankungen** des Kohlensäure-Partialdrucks der Atmosphäre die Kohlensäure-Konzentration des Wassers im Sinne der beobachteten täglichen Periodizität **beeinflussen können**. Dazu ist jedoch noch eine weitere **gleichsinnig** erfolgende Beeinflussung anzunehmen. **Die** tägliche Periodizität der **Schneeschnmelze** wird **nämlich** tagsüber eine **Vergrösserung** des Abflusses zur Folge haben, wodurch **eine** **Verminderung** des Anteils des **kohlensäurereichen** **Quellwassers** am **Gesamtabfluss**

eintritt. Welchem der drei gleichsinnig auf die Periodizität der Kohlensäure-Konzentration **einwirkenden** Faktoren die dominierende Bedeutung zukommt, kann auf Grund der bisherigen Untersuchungen noch nicht abschliessend beurteilt werden. Zur **Abklärung** dieser und anderer in diesem Bericht angeschnittener Fragen sind weitere Untersuchungen in Aussicht genommen.

Literatur

1. **BOESCH, H.**, Geologie der zentralen **Unterengadiner** Dolomiten. – Zürich 1937.
2. **BÖGLI, A.**, Probleme der **Karrenbildung**. – Geogr. Helv. 6 (1951).
3. **GUT, R. C.**, Le gaz **carbonique** dans l'**atmosphère forestière**. – These E. P. F., 1929.
4. **KALLE, K.**, Der Stoffhaushalt des Meeres. – Probleme der kosmischen Physik 23 (1943).
5. **OHLE, W.**, Die **hypolimnische Kohlensäure-Akkumulation** als produktionsbiologischer Indikator. – Arch. f. Hydrobiologie 6 (1952).
6. **REINAU, E. H.**, **Kohlensäuredüngung**, Humus und **Maximalerträge**. – Experientia 6 (1950), S. 396 ff.
7. **SCHMASSMANN, H.**, Die experimentellen Grundlagen bei der Bestimmung und Berechnung aggressiver Eigenschaften natürlicher Wässer. – Schweizer Archiv für angew. Wissenschaft und Technik 14 (1948).
8. — Die Sauerstoffsättigung natürlicher Gewässer, ihre Ermittlung und ihre Bedeutung in der Hydrologie. – Schweiz. Z. f. Hydrologie 11 (1949), S. 430 ff.
9. — Untersuchungen über den **Stoffhaushalt fliessender Gewässer**. – Schweiz. Z. f. Hydrologie 13 (1951), S. 300 ff.
10. **TILLMANN, J.**, Ueber den heutigen Stand der Trinkwasserentsäuerung. – Vom Wasser 4 (1930).
11. **WIEGNER-PALLMANN**, Anleitung zum quantitativen **agrikulturchemischen** Praktikum, 2. Auflage. – Berlin 1938.

Tabelle I. Ova Ftur. Täglicher Gang des Sauerstoffes und der freien Kohlensäure. **Versuchs-**
Serie vom 4./5. 7. 52.

| Zeit | Temp. °C | | Sauerstoff | | | freie Kohlensäure | | |
|--|----------|--------------|------------|-----|-----|-------------------|----|-----|
| | Wasser | (t°) Luft | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 10.15 | 11,7 | 23,6 | 10,0 | 8,9 | 112 | 0,2 | 81 | 2,5 |
| 11.00 | 12,1 | 27,0 | 9,3 | 8,8 | 106 | 0,2 | 80 | 2,5 |
| 12.00 | 13,5 | 26,0 | 9,6 | 8,5 | 113 | 0,2 | 76 | 2,6 |
| 13.00 | 14,2 | 27,2 | 9,0 | 8,4 | 107 | 0,2 | 75 | 2,7 |
| 14.00 | 14,2 | 27,2 | 9,0 | 8,4 | 107 | 0,175 | 75 | 2,4 |
| 15.00 | 13,7 | 28,2 | 9,4 | 8,5 | 111 | 0,175 | 76 | 2,3 |
| 16.00 | 12,8 | 27,0 | 9,0 | 8,7 | 103 | 0,2 | 78 | 2,6 |
| 16.50 | 11,7 | 26,2 | 9,4 | 8,9 | 106 | 0,225 | 81 | 2,8 |
| 18.00 | 10,0 | 24,4 | 9,7 | 9,2 | 105 | 0,2 | 85 | 2,4 |
| 19.00 | 9,2 | 20,8 | 10,0 | 9,4 | 106 | 0,25 | 88 | 2,8 |
| 20.00 | 8,5 | 18,1 | 9,9 | 9,5 | 104 | 0,225 | 90 | 2,5 |
| 21.00 | 8,2 | 15,8 | 10,2 | 9,6 | 106 | 0,25 | 91 | 2,7 |
| 22.00 | 8,1 | 14,8 | 10,0 | 9,6 | 104 | 0,3 | 99 | 3,3 |
| 23.00 | 7,6 | 11,8 | 10,4 | 9,7 | 107 | 0,3 | 93 | 3,2 |
| 24.00 | 7,5 | 10,0 | 10,4 | 9,7 | 107 | 0,3 | 94 | 3,2 |
| 01.00 | 7,2 | 9,9 | 10,5 | 9,8 | 107 | 0,3 | 95 | 3,2 |
| 02.00 | 7,0 | 8,4 | 10,4 | 9,8 | 106 | 0,35 | 95 | 3,7 |
| 03.00 | 6,7 | 8,4 | 10,7 | 9,9 | 108 | 0,35 | 96 | 3,6 |
| 04.00 | 6,7 | 7,9 | 10,5 | 9,9 | 106 | 0,3 | 96 | 3,1 |
| 05.00 | 6,7 | 7,6 | 10,7 | 9,9 | 108 | 0,3 | 96 | 3,1 |
| 06.00 | 6,6 | 8,5 | 10,6 | 9,9 | 107 | 0,25 | 97 | 2,6 |
| 07.15 | 6,9 | 24,8? | 10,5 | 9,9 | 106 | 0,25 | 96 | 2,6 |
| 08.05 | 7,3 | 21,0 | 10,5 | 9,8 | 107 | 0,25 | 94 | 2,7 |
| 09.05 | 8,6 | 21,0 | 10,2 | 9,5 | 107 | 0,2 | 90 | 2,2 |
| 10.05 | 10,2 | 28,0 | 10,0 | 9,2 | 109 | 0,175 | 85 | 2,1 |
| 11.00 | 11,7 | 26,9 | 9,5 | 8,9 | 107 | 0,2 | 81 | 2,5 |
| 12.00 | 12,0 | 26,4 | 9,5 | 8,8 | 108 | 0,225 | 80 | 2,8 |
| Mittelwerte: | | | | | | | | |
| 10-09 | 9,4 | 18,6 | 10,0 | 9,3 | 107 | 0,25 | 88 | 2,8 |
| 13-12 | 9,3 | 18,8 | 10,0 | 9,4 | 106 | 0,25 | 88 | 2,8 |
| Sauerstoff: 1 = aktuelle Konzentration in mg/l 2 = Sättigungskonzentration in mg/l bei t° u. P = 609 3 = Sättigungsindex in % | | | | | | | | |
| Freie Kohlensäure: 1 = aktuelle Konzentration in mval/l 2 = „wahre“ Sättigungskonzentration in mval/l 3 = Verhältnis der aktuellen Konzentration zur wahren Sättigungskonzentration in ‰ | | | | | | | | |

Tabelle 2. Ova Ftur. Täglicher Gang des Sauerstoffes und der freien Kohlensäure. Versuchsserie vom 12./13. 7. 52.

| Zeit | Temp. °C | | *Sauerstoff | | | freie Kohlensäure | | |
|---|----------|--------------|-------------|-----|-----|-------------------|----|-----|
| | Wasser | (t°) Luft | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 10.00 | 11,0 | 28,8 | 9,7 | 9,0 | 108 | 0,2 | 83 | 2,4 |
| 11.00 | 11,1 | 20,2 | 9,4 | 9,0 | 104 | 0,2 | 82 | 2,4 |
| 12.00 | 12,6 | 22,0 | 9,4 | 8,7 | 108 | 0,175 | 79 | 2,2 |
| 13.00 | 12,5 | 20,4 | 9,3 | 8,7 | 107 | 0,175 | 79 | 2,2 |
| 14.00 | 12,1 | 19,7 | 9,2 | 8,8 | 105 | 0,175 | 80 | 2,2 |
| 15.00 | 10,1 | 16,0 | 9,7 | 9,2 | 105 | 0,175 | 85 | 2,2 |
| 16.00 | 10,5 | 19,0 | 9,5 | 9,1 | 104 | 0,175 | 84 | 2,1 |
| 17.00 | 10,3 | 17,8 | 9,7 | 9,1 | 107 | 0,175 | 85 | 2,1 |
| 18.00 | 9,6 | 16,4 | 9,7 | 9,3 | 104 | 0,2 | 87 | 2,3 |
| 19.00 | 9,1 | 15,0 | 9,8 | 9,4 | 104 | 0,225 | 88 | 2,6 |
| 20.00 | 8,8 | 11,8 | 9,9 | 9,4 | 105 | 0,225 | 89 | 2,5 |
| 21.00 | 8,2 | 10,6 | 10,2 | 9,6 | 106 | 0,2 | 91 | 2,2 |
| 22.00 | 8,0 | 10,0 | 10,2 | 9,6 | 106 | 0,25 | 92 | 2,7 |
| 23.00 | 7,5 | 9,5 | 10,1 | 9,7 | 104 | 0,25 | 94 | 2,7 |
| 24.00 | 7,6 | 9,5 | 10,4 | 9,7 | 107 | 0,225 | 93 | 2,4 |
| 01.00 | 7,2 | 9,0 | 9,9 | 9,8 | 101 | 0,225 | 95 | 2,4 |
| 02.00 | 7,0 | 9,0 | 10,4 | 9,8 | 106 | 0,25 | 95 | 2,6 |
| 03.00 | 7,0 | 8,0 | 10,2 | 9,8 | 104 | 0,25 | 95 | 2,6 |
| 04.00 | 7,1 | 10,0 | 10,2 | 9,8 | 104 | 0,2 | 95 | 2,1 |
| 05.00 | 7,0 | 8,8 | 10,2 | 9,8 | 104 | 0,2 | 95 | 2,1 |
| 06.00 | 7,0 | 9,4 | 10,4 | 9,8 | 106 | 0,225 | 95 | 2,4 |
| 07.00 | 7,1 | 14,0 | 10,5 | 9,8 | 107 | 0,225 | 95 | 2,4 |
| 08.00 | 7,14 | 11,6 | 10,2 | 9,8 | 104 | 0,25 | 94 | 2,7 |
| 09.00 | 8,6 | 13,6 | 10,5 | 9,5 | 111 | 0,225 | 90 | 2,5 |
| 10.00 | 9,5 | 14,0 | 9,8 | 9,3 | 105 | 0,25 | 87 | 2,9 |
| 11.00 | 11,4 | 14,8 | 9,4 | 8,9 | 106 | 0,225 | 82 | 2,7 |
| 12.00 | 12,1 | 15,4 | 9,3 | 8,8 | 106 | 0,225 | 80 | 2,8 |
| Mittelwerte: | | | | | | | | |
| 10-09 | 9,0 | 14,2 | 9,9 | 9,4 | 105 | 0,21 | 89 | 2,4 |
| 13-12 | 8,9 | 13,1 | 9,9 | 9,4 | 105 | 0,21 | 89 | 2,4 |
| Sauerstoff: 1 = aktuelle Konzentration in mg/l 2 = Sättigungskonzentration in mg/l bei t° u. P = 609 3 = Sättigungsindex in % Freie Kohlensäure: 1 = aktuelle Konzentration in mval/l 2 = „wahre“ Sättigungskonzentration in mval/l 3 = Verhältnis der aktuellen Konzentration zur wahren Sättigungskonzentration in ‰ | | | | | | | | |