

BEITRÄGE ZUR GEOLOGIE DER SCHWEIZ – HYDROLOGIE
NR. 23

Herausgegeben von der Schweizerischen Geotechnischen Kommission
und der Hydrologischen Kommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft

CHRISTIAN LEIBUNDGUT

ZUM WASSERHAUSHALT DES OBERAARGAUS
UND ZUR HYDROLOGISCHEN
BEDEUTUNG DES LANDWIRTSCHAFTLICHEN
WIESENBEWÄSSERUNGSSYSTEMS IM LANGETENTAL

Hydrologische Grundlagenarbeiten
in den Flusstälern der Roth, Langeten und Oenz

Mit 47 Abbildungen und 22 Tabellen

Kommissionsverlag: Geographischer Verlag Kümmerly + Frey, Bern 1976
Druck: Merkur AG Langenthal

Vorwort der Hydrologischen Kommission

Die verschiedenen landwirtschaftlichen Bewässerungsverfahren, wie das Stauverfahren, das Rieselverfahren, die Unterflurbewässerung und die Beregnung, sind in erster Linie auf die Befeuchtung des Kulturlandes ausgerichtet. Sie tragen aber auch, sofern sie reichlich bemessen sind, zur Speisung des Grundwassers bei. Eine solche Nebenwirkung stellt sich insbesondere beim Stauverfahren ein, bei dem flaches Kulturland über längere Zeit überstaut und damit anhaltend durchnässt wird.

In der deutschsprachigen Schweiz ist das Stauverfahren unter dem Namen «wässern» bekannt und wird vornehmlich zur Bewässerung bachnaher Wiesen eingesetzt, die dann als «Wässermatten» bezeichnet werden. So findet man etwa im Oberaargau eine grosse Anzahl solcher Wässermatten, deren Bewirtschaftung sich auf alte «Kehrornungen» und «Wässerregeln» stützt. Doch weicht diese Bodennutzungsart zunehmend einer neuen: die Wässermatten werden in Ackerland verwandelt und intensiv gedüngt, aber nicht mehr bewässert. Damit entfällt aber auch zunehmend die mit der Wässerung verbundene Grundwasseranreicherung, was sich auf den Wasserhaushalt der betroffenen Gebiete auswirkt.

Herr Dr. Christian Leibundgut, der im Oberaargau wohnt und daher die örtlichen Verhältnisse gut kennt, hat sich nun mit diesen Zusammenhängen auseinandergesetzt. Die Hydrologische Kommission freut sich, seine Arbeit «Zum Wasserhaushalt des Oberaargaus und zur hydrologischen Bedeutung des landwirtschaftlichen Wiesenbewässerungssystems im Langetental» in die Reihe der «Beiträge zur Geologie der Schweiz – Hydrologie» aufnehmen zu dürfen.

Zürich, den 22. November 1977

Für die Hydrologische Kommission

Der Präsident:

Prof. Dr. D. Vischer

Einleitung

Der Einfluss der Wiesenbewässerung auf den Wasserhaushalt und das Grundwasser im Einzugsgebiet der Langeten und in den benachbarten Tälern der Roth und Oenz sind Gegenstand dieser Arbeit. Die Arbeiten umfassen zwei verschiedene Teile: einmal die hydrologischen Grundlagen in den drei Flusstälern des Oberaargaus, zum andern den Einfluss der Wiesenbewässerung auf die einzelnen Glieder des Wasserkreislaufes, im besonderen auf die Grundwasserverhältnisse. Die Arbeit soll ein geographisch-hydrologischer Beitrag sein zur Lösung aktueller Probleme der Region Oberaargau, wie der Langetenkorrektur und der regionalen Trinkwasserversorgung.

Die Untersuchungen zur hydrologischen Bedeutung des Bewässerungssystems an der Langeten wurden finanziell durch die Forschungstiftung Langenthal unterstützt. Die Kosten für die hydrologischen Grundlagenarbeiten wurden vom Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern (WEA) getragen.

Die Feldarbeiten wurden im September 1973, die vorliegende Arbeit im Mai 1974 abgeschlossen. Neuere Daten sind nicht mehr berücksichtigt, so dass die Arbeit dem Stand der Erkenntnisse der Untersuchungsperiode entspricht.

Da auch im Mittelland beim Wechsel des Kalenderjahres beträchtliche Schneemengen in Rücklage liegen können, wurde mit dem hydrologischen Jahr (1. Oktober–30. September) gearbeitet. Damit folgen wir auch dem Vorschlag der UNESCO, die das hydrologische Jahr mit dem Beginn des hydrologischen Jahrzehntes 1965 weltweit eingeführt hat. In Anlehnung an KELLER (1961) sind die Jahre nur mit einer Jahrzahl bezeichnet, jener, in der die Monate Januar bis September liegen. Falls nicht ausdrücklich anders bezeichnet, handelt es sich bei den Jahresangaben stets um hydrologische Jahre.

Nicht überall konnte bei der Erhebung der Daten mit der gleichen Genauigkeit gearbeitet werden. Relativ genau erfassbar waren Niederschlag, oberirdischer und unterirdischer Abfluss. Schwieriger erfassbar und daher mit einem grösseren Fehler behaftet blieben die Wässerungsversickerungen und die Bestimmung der Verteilung der Bewässerungsflächen in der Zeitspanne seit der Jahrhundertwende. Nähere Angaben über die Genauigkeit der Daten sind in den einzelnen Kapiteln zu finden.

Am Zustandekommen dieser Arbeit waren viele mitbeteiligt. Ihnen möchte ich hier danken:

- Prof. Dr. F. Gygax für seine bereitwillige Hilfe und Unterstützung;
- Dr. Val. Binggeli für sein aktives Interesse, für die vielen ergiebigen Diskussionen, die erspriessliche Zusammenarbeit und für Feldarbeiten. Seine Arbeiten haben die intensive Beschäftigung mit der Landschaft Oberaargau begründet;
- meiner Frau für das Verständnis und die umfangreichen Schreibarbeiten;
- Rudolf Leibundgut für die Reinzeichnung vieler Figuren und für Feldarbeiten;
- meinem Vater, der mir mit seinem handwerklichen Geschick beim Aufbau und Unterhalt der Messstationen zur Seite stand;
- Dr. R. Dettwiler und W. Ellenberger für die Hilfe bei den EDV-Auswertungen;
- den Herren Kohler, Guenin und Spycher vom Eidgenössischen Amt für Wasserwirtschaft und Herrn Dr. Maeder von der Meteorologischen Zentralanstalt für die stete Hilfsbereitschaft;
- den vielen Mitarbeitern bei der Erhebung des Datenmaterials;
- der Hydrologischen Kommission und dem Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern für namhafte Beiträge an die Druckkosten.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	3
Einleitung	5
Inhaltsverzeichnis	7
Verzeichnis der Abbildungen	9
Verzeichnis der Tabellen	10
Zusammenfassung	11
Summary	13
Résumé	14
1. Problemstellung und Zielsetzung	17
2. Das Untersuchungsgebiet	19
2.1. Allgemeines	19
2.2. Geologisch-morphologischer Aufbau	21
2.3. Höhenverhältnisse und Talprofile	23
3. Das Wiesenbewässerungssystem der Wässermatten	27
3.1. Definition	27
3.1.1. Zur physiognomischen Unterscheidung der Wässermatten	27
3.1.2. Einteilung der Wässermatten nach der Grundwasserwirksamkeit	27
3.1.3. Einteilung nach dem technischen Ausbau des Bewässerungssystems	27
3.1.4. Einteilung nach der historischen Entwicklung	28
3.2. Historischer Abriss	29
3.3. Wasserzeiten und Kehrordnungen	30
3.4. Die Wässermatten als Landschaftselement	33
4. Wasserhaushaltsbeziehungen	39
4.1. Gebietsniederschlag	39
4.1.1. Messnetz und methodische Hinweise	39
4.1.2. Niederschlagskarten und Gebietsmittel	47
4.1.3. Gebiets- und Teilgebietsniederschläge	55
4.1.4. Vergleichende Gegenüberstellung der Niederschlagswerte der drei Flussgebiete	56
4.1.5. Die Niederschläge der Messperiode und das langjährige Niederschlagsgeschehen	57
4.2. Oberirdischer Abfluss	59
4.2.1. Messnetz und methodische Hinweise	59
4.2.2. Die mittleren täglichen Abflüsse	64
4.2.3. Der spezifische Abfluss	65
4.2.4. Der Abfluss der dreijährigen Periode 1971–1973	66
4.2.5. Die Pentadenabflüsse im langjährigen Abflussgeschehen	69
4.3. Unterirdischer Abfluss	71
4.4. Verdunstung	77

4.5.	Hydrologische Bilanzen	78
4.5.1.	Allgemeines	78
4.5.2.	Hydrologische Bilanz des Rothtales (R_1+R_2)	78
4.5.3.	Hydrologische Bilanzen im Langetental	79
4.5.3.1.	Einzugsgebiet bis Häberenbad (L_1)	79
4.5.3.2.	Einzugsgebiet bis Lotzwil (L_1+L_2)	80
4.5.3.3.	Einzugsgebiet Häberenbad bis Lotzwil (L_2)	80
4.5.3.4.	Einzugsgebiet Lotzwil bis Murg (L_3)	80
4.5.4.	Hydrologische Bilanz des Oenztales (O_2)	82
	5. Wässerungen und Wasserhaushalt	83
	6. Zur Grundwasserwirksamkeit der Wässermatten	85
6.1.	Langfristige Grundwasserbewegungen	86
6.2.	Wässerungen und Grundwasserstand.	89
	7. Die Auflassung der Wässermatten und ihre hydrologischen Folgen	92
	8. Literaturverzeichnis	105
	9. Anhang	107

Verzeichnis der Abbildungen

1. Übersichtskarte	18
2. Geologischer Aufbau der Landschaft Oberaargau	21
3. Hypsographische Kurven der Flussgebiete	23
4. Längsprofile der Flussläufe	24
5. Grenze tieferer-höherer Oberaargau bei Thörigen	25
6. Die Plateau-Landschaft des Oberaargau bei Thörigen	26
7. Steinacherschleuse	30
8. Das Wässergrabensystem der Matten	33
9. Die Parklandschaft der Wässermatten	34
10. Querprofil durch die Wässermatten	34
11. Die Wässermatten des Rothtales	35
12. Niederschlags-Messnetz Oberaargau	37
13. Doppelsummen-Analyse, Niederschlagsstation Leimiswil	42
14. Doppelsummen-Analyse, Niederschlagsstation Steinhof	43
15. Monatstotalisator Station Walterswil	44
16. Niederschlagskarte des Oberaargaus 1969–1973	49
17. Niederschlagskarte des Oberaargaus 1969	50
18. Niederschlagskarte des Oberaargaus 1970	51
19. Niederschlagskarte des Oberaargaus 1971	52
20. Niederschlagskarte des Oberaargaus 1972	53
21. Niederschlagskarte des Oberaargaus 1973	54
22. Messstellenkarte	60
23. Abflussstation Roth-St. Urban	61
24. Abflussmessung mit hydrometrischem Flügel	62
25. Langjähriger Abfluss der Langeten-Lotzwil in Pentaden	69
26. Diffuser Grundwasseraustritt	72
27. Mittlere Grundwasserabflüsse und Grundwasserstand in der Brunnmatt	73
28. Ganglinien des Grundwasserabflusses (GRM) und des Grundwasserstandes (G201)	76
29. Schema des Wasserhaushaltes im Einzugsgebiet L ₃	81
30. Grundwasserstand und Trend 1947–1973	86
31. Grundwasserstände und Niederschlag seit 1920	87
32. Vom Quellbach zum Sickerbach	88
33. Ganglinien des Grundwasserstandes bei G 210	88
34. Wässerung und Grundwasserstand	89
35. Typische Ganglinie des Grundwasserspiegels in Wässermattengebieten	90
36. Vergleichende Darstellung von Grundwasserganglinien	91
37. Ursprüngliche Verteilung des Kulturlandes	92
38. Ableitung des Langeten-Hochwassers durch die Strassen Langenthals	93
39. Schleusenanlagen im Steinachergraben	94
40. Weideland Wässermatten	95
41. Nutzungsänderungen in ehemaligen Wässermattengebieten	96
42. Die Auffassung der Wässermatten, Stand 1970	98
43. Die Auffassung der Wässermatten, Stand 1971	99
44. Die Auffassung der Wässermatten, Stand 1972	100
45. Die Auffassung der Wässermatten, Stand 1973	101
46. Kulturlandschaftswandel in den unteren Langenthalermatten	102
47. Beziehung zwischen Grundwasserabfluss und abnehmender Wässermattenfläche	102

Verzeichnis der Tabellen

1. Flächeninhalte und mittlere Höhen der Einzugsgebiete und Teileinzugsgebiete	19
2. Gefällsverhältnisse	24
3. Verzeichnis der Niederschlags-Messstationen	39
4. Korrelationsmatrix der Monatsniederschläge	41
5. Kumulative Niederschläge der Station Steinhof und Vergleichsstationen	41
6. Gemessene und korrigierte Niederschlagswerte der Station Steinhof	44
7. Niederschlags-Jahressummen und Periodenmittel	45
8. Verwendete Niederschlagswerte für die Niederschlagskarten	46
9. Niederschlagswerte der MZA-Stationen	47
10. Niederschlags-Gebietsmittel der Flussgebiete Roth, Langeten und Oenz	56
11. Niederschlags-Gebietsmittel der Teileinzugsgebiete	57
12. Abflussmengen der Roth für 1973 und die Periode 1969–1973	63
13. Abflussmengen für Roth, Langeten, Oenz in der Periode 1969–1973	64
14. Mittlere jährliche Abflussgrössen für Roth, Langeten und Oenz	65
15. Mittlere jährliche Abflussgrössen der Teileinzugsgebiete Langeten	66
16. Abflusswerte Langeten-Lotzwil für 1973 und Periode 1971–1973	67
17. Abfluss-Periodenwerte 1971–1973 im Vergleich zu 1969–1973	68
18. Mittlere Abflüsse Langete-Lotzwil in Pentaden seit 1924	68
19. Grundwasserabfluss Brunnmatt und oberirdischer Abfluss Langeten-Lotzwil	74
20. Mittlere tägliche Grundwasser-Abflussmengen der Quellfassung Mange-Roggwil (GRM)	75
21. Mittlere Grundwassererträge im Teileinzugsgebiet L ₃ der Langeten 1971–1973	76
22. Kulturlandschaftswandel	97

Zusammenfassung

In dieser Arbeit wird die hydrologische Bedeutung des landwirtschaftlichen Wiesenbewässerungssystems der «Wässermatten» untersucht. Dazu wurden einmal die hydrologischen Grundlagen der Flussgebiete Roth, Langeten und Oenz erarbeitet (vgl. Abb. 1). Zum andern wurden aber auch die geographischen, historischen und wirtschaftlichen Aspekte des Wiesenbewässerungssystems analysiert, um dessen Entwicklung in Beziehung zu den hydrologischen Veränderungen setzen zu können. Die Untersuchungen erfolgten in der Periode der hydrologischen Jahre 1969–1973 (1. Oktober–30. September). Soweit vorhanden, wurden ältere Daten mitberücksichtigt.

Mit Ausnahme der Teileinzugsgebiete L_1 und L_2 der Langeten wurden die Messnetze weitgehend selbst aufgebaut. Für die Einzugsgebiete der Roth und Oenz waren dies die ersten gesamthydrologischen Untersuchungen.

Gemessen am langjährigen Niederschlags- und Abflussgeschehen im Langetental dürfen die hydrologischen Vorgänge in der Untersuchungsperiode als repräsentativ bezeichnet werden. Die Bilanzwerte für die einzelnen Einzugs- bzw. Teileinzugsgebiete betragen:

		N	=	A_0	+	V	+	A_u	(mm)	F (km ²)
Roth	(R_1)	1032	=	450	+	430	+	152		55,1
Langeten	(L_1)	1094	=	647	+	425	+	22		59,9
	(L_2)	1017	=	452	+	440	+	125		55,6
	(L_{1+2})	1058	=	560	+	435	+	63		115,5
	(L_3)	1025	=	300	+	445	+	1177		25,8
Oenz	(O_2)	986	≠	625	+	440	-	79		73,9

Ausgenommen im Oenzgebiet ergeben sich überall mehr oder weniger grosse Grundwasserabflüsse (A_u). Die Oenz erhält nach der Bilanz einen Fremdwasserzutritt, welcher nach den hydrogeologischen Verhältnissen zu urteilen aus dem Raume Aeschisee stammt.

Die Ungleichheit der Gleichung für (L_3) ist durch Übertritte des als Fremdwasser zutretenden Oberflächenwassers aus L_2 ins Grundwasser bedingt. Die Übertritte erfolgen in Form von Wässerungsinfiltrationen (587 mm), Hochwasserversickerungen und direkten Infiltrationen aus dem Bachbett (120 mm).

Das in seinem Ursprung mittelalterliche Wiesenbewässerungssystem entspricht den heutigen Bedürfnissen oft nicht mehr. Obgleich die historischen Kehrordnungen und Wasserregeln noch weitgehend Geltung haben, wird vom Recht zu wässern stets weniger Gebrauch gemacht. Die starke Mechanisierung und die Möglichkeit der künstlichen Düngung veranlasst die Landwirtschaft zum Umbrechen des Mattlandes. Diese Nutzungsänderung hat einen Rückgang an Wässerungssickerflächen von ~65% in den vergangenen Jahrzehnten zur Folge gehabt.

Da nur im Langetental genügend lange Datenreihen zur Verfügung stehen, werden die Ergebnisse des Landschaftswandels nur hier mit den hydrologischen Daten in Beziehung gesetzt. Zur Absicherung der quantitativen Bezifferung des Wässerungseinflusses über die hydrologischen Bilanzen sind die Bewässerungsvorgänge experimentell untersucht worden. Wässerungsmengen haben entsprechende Grundwasserspiegelhebungen und -abflüsse zur Folge.

Langfristig kann der starke Grundwasserschwind der letzten Jahrzehnte mit dem Abgang der Sickerflächen der Wässermatten in Beziehung gebracht werden. Für den Fall einer völligen Auflö-
sung des Wässerungssystems in Zukunft muss eine drastische Verschlechterung der Grundwasser-
verhältnisse und damit eine Gefährdung der regionalen Trinkwasserversorgung prognostiziert
werden.

Summary

In this study the hydrological significance of the agricultural system of irrigation of the 'irrigation meadows' is researched. At first, the hydrological basis of the river areas Roth, Langeten and Oenz was elaborated (Abb. 1). Then the geographical, historical and economical aspects of that system were analysed in order to evaluate its importance for the hydrological regime. The researches covered the period of the hydrological years from 1969 till 1973 (October 1st–September 30th). The existing data of previous years have also been taken into consideration.

Except for the part catchments L_1 and L_2 of the Langeten river the measuring networks were built up by ourselves. As for the catchments of the rivers Roth and Oenz these were the first total hydrological studies ever made.

Comparing the precipitation and the runoff data in the Langeten valley with those of previous years, it may be concluded that the period of investigation is representative for the hydrological regime of the catchment areas. The balance results for the individual catchments and the part catchments amount to:

	N	=	A_o	+	V	+	A_u	(mm)	F (km ²)
Roth (R_1)	1032	=	450	+	430	+	152		55,1
Langeten (L_1)	1094	=	647	+	425	+	22		59,9
(L_2)	1017	=	452	+	440	+	125		55,6
(L_1+2)	1058	=	560	+	435	+	63		115,5
(L_3)	1025	=	300	+	445	+	1177		25,8
Oenz (O_2)	986	=	625	+	440	-	79		73,9

N = precipitation

A_o = runoff

V = evapotranspiration

A_u = groundwater run-off

With the exception of the Oenz area, there are more or less everywhere high groundwater run-off. According to the hydrological balance the Oenz river receives water from another catchment which originates from the area of the Lake Aeschi.

The non-equilibrium of the equation for the catchment L_3 is caused by the overflow of the runoff from the catchment L_3 into the groundwater. The overflows take place in the form of irrigation infiltrations (587 mm), flood infiltrations and direct infiltrations from the river bed (120 mm).

The mediaeval meadow irrigation system does not correspond with the requirements of today. In spite of the historical irrigation rights still being in use, the irrigation methods are adopted less and less. The heavy mechanization and the possibility of using fertilizers are the reasons why the farmers prefer to plough the irrigation meadows. This change of production resulted in a diminution of irrigation areas to about 65% in the last decades.

Since a long series of data is merely available in the Langeten valley, the results of the alteration of landscape can be related to the hydrological data only in this area. In order to be sure of the quantitative calculation influencing the irrigations, the latter have been researched experimentally. The quantities of irrigation water result in corresponding rises of the groundwater level and the groundwater run-off.

At long term the high decrease of groundwater in the last decades can be related to the decrease of irrigation areas. Thus these irrigation areas should be abandoned totally, we must reckon with a drastic groundwater decrease which will endanger the regional water supply.

Résumé

Le présent travail examine l'importance hydrologique du système agricole d'irrigation des prairies dites «Wässermatten» (terme régional que l'on pourrait traduire par «prairies d'irrigation»). D'une part les données hydrologiques des régimes fluviaux de la Roth, la Langeten et l'Oenz ont été analysées (Abb. 1). De l'autre on a examiné les aspects géographiques, historiques et économiques du système d'irrigation des prairies afin de placer son développement en relation avec les modifications hydrologiques. L'étude porte sur les années hydrologiques 1969–1973 (1 octobre–30 septembre). Lorsqu'elles étaient disponibles, des données plus anciennes ont également été prises en considération.

A l'exception des bassins partiels L_1 et L_2 de la Langeten, la plupart des réseaux de mesures ont été monté par nos soins. Pour les bassins de l'Oenz et de la Roth, il s'agit des premières études hydrologiques globales.

Comparés au déroulement à long terme des précipitations et de l'écoulement fluvial dans la vallée de la Langeten, les processus hydrologiques observés de 1969 à 1973 peuvent être qualifiés de représentatifs. Le bilan hydrologique des différents bassins fluviaux ainsi que des bassins partiels est donné ci-dessous:

		N	=	A_o	+	V	+	A_u	(mm)	F (km ²)
Roth	(R_1)	1032	=	450	+	430	+	152		55,1
Langeten	(L_1)	1094	=	647	+	425	+	22		59,9
	(L_2)	1017	=	452	+	440	+	125		55,6
	(L_{1+2})	1058	=	560	+	435	+	63		115,5
	(L_3)	1025	=	300	+	445	+	1177		25,8
Oenz	(O_2)	986	=	625	+	440	-	79		73,9

N = précipitations

A_o = écoulement de surface

V = évapotranspiration

A_u = écoulement souterrain

Sauf dans la région de l'Oenz, on obtient partout des écoulements souterrains assez considérables. Le bilan de l'Oenz s'explique par un apport d'eau étrangère provenant, selon les conditions hydrogéologiques, de la région du Lac d'Aeschi.

L'inégalité dans l'équation de L_3 est due à l'infiltration d'eau de surface de L_2 dans les eaux souterraines de L_3 . Ces pénétrations ont lieu sous forme d'infiltration d'irrigation (587 mm), d'infiltration de crue et d'infiltration directe du lit du cours d'eau (120 mm).

Le système d'irrigation des prairies d'origine médiévale est souvent inadapté aux conditions actuelles. Bien que les règlements historiques concernant les eaux d'irrigation soient encore valides, on fait de moins en moins usage du droit d'irrigation. La mécanisation intensive et l'utilisation d'engrais artificiels poussent l'agriculture à l'abandon des surfaces de pâture. Ce changement de fonction a provoqué une diminution des surfaces d'infiltration d'environ 65% durant les dernières décennies.

Vu que les données à long terme n'existent que pour la vallée de la Langeten, la modification du paysage et les données hydrologiques ne sont mises en rapport que pour cette région. Afin de certifier la valeur quantitative de l'influence de l'irrigation sur les bilans hydrologiques les procédés d'irrigation ont été examinés expérimentalement. Le niveau et l'écoulement des eaux souterraines augmentent en proportion avec les quantités irriguées.

A long terme la forte diminution des eaux souterraines est à mettre en parallèle avec le déclin des surfaces d'infiltration des «Wässermatten». Dans le cas d'un abandon futur et complet de ces systèmes d'irrigation, on doit prévoir une détérioration radicale des conditions propres, aux eaux souterraines et par conséquent une mise en danger de l'approvisionnement en eau potable de la région.

1. Problemstellung und Zielsetzung

In einem intensiv genutzten Lebensraum sind Störungen in natürlichen oder quasi-natürlichen Gleichgewichtsbeziehungen unvermeidlich. Es gehört daher zu unserer Aufgabe, solche Wechselbeziehungen zu erkennen, ihr Gefüge zu analysieren und nach Möglichkeiten zu suchen, gestörte Gleichgewichte wieder herzustellen.

Im Langetental und im Rothtal, teilweise auch im Tale der Oenz, liegen ausgedehnte Mattengebiete mit einem Bewässerungssystem, dessen Ursprung im Mittelalter liegt. Aus verschiedenen Gründen wird diese herkömmliche Wiesenbewässerung mehr und mehr aufgegeben.

Da bei der Wiesenbewässerung einerseits grössere Mengen Wasser den Oberflächengewässern entnommen, andererseits durch Versickerung dem Grundwasser zugeführt werden, liegt es nahe, bei einer landwirtschaftlichen Nutzungsänderung auch hydrologische Änderungen zu postulieren. Um das Ziel dieses anthropogenen Eingriffes in seinen qualitativen und quantitativen Auswirkungen zu erfassen, sind wir methodisch wie folgt vorgegangen:

- a) Analyse der Wasserhaushaltbeziehungen
- b) Experimentelle Datenerhebung zur Wiesenbewässerung

Der Arbeit waren zum vornherein Grenzen gesetzt, da in den Tälern der Roth und Oenz durch das völlige Fehlen von hydrologischen Grundlagen die Aufzeichnung einer Beziehung zwischen dem Abgang von Wässermatten und dem Grundwasserrückgang kaum möglich war. In diesen beiden Flusstälern ging es somit vor allem darum, die hydrologischen Grundlagen zu erarbeiten und erste hydrologische Bilanzen zu erstellen. Im Langetental, das hydrologisch teilweise bereits ausgiebig bearbeitet ist, lag der Schwerpunkt der Untersuchungen in der Herausarbeitung der hydrologischen Bedeutung der Wässermatten.

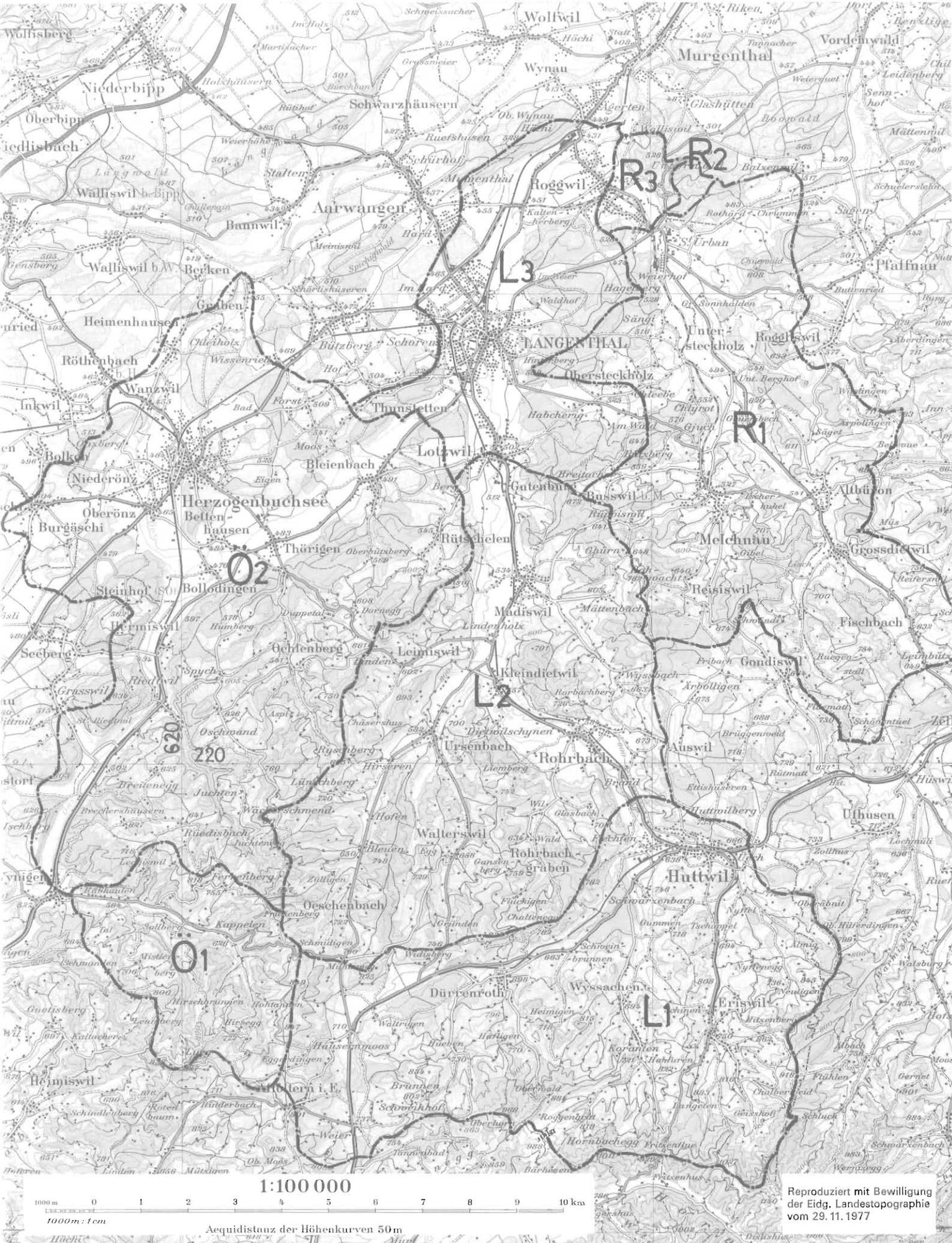


Abb. 1 Übersichtskarte zum Untersuchungsgebiet Oberraargau.
 R1, R2, R3: Teileinzugsgebiete der Roth
 L1, L2, L3: Teileinzugsgebiete der Langeten
 Ö1, Ö2: Teileinzugsgebiete der Oenz
 - - - - Einzugsgebietsgrenzen

2. Das Untersuchungsgebiet

2.1. Allgemeines

Das Gebiet «Oberaargau» ist weder geographisch noch politisch eindeutig definiert. BINGGELI (1962) hat in seiner Studie eine Abgrenzung nach verschiedenen Gesichtspunkten vorgenommen. Daraus geht hervor, dass «sowohl in Natur wie im kulturellen Bereich *eine Einheit niedriger Ordnung* besteht, allerdings immer innerhalb des bisher bekannten Oberaargaus als Grenz-, Übergangs- und Durchgangsland.» Ein ausgesprochenes Kernland liegt zwischen Roth, Oenz und Jurafuss und der Linie Lueg/Dürrenroth/Huttwil. Das in unserer Untersuchung als dem Oberaargau zugerechnete Gebiet umfasst folgende Teile:

- Einzugsgebiet der Roth (R_{1-3})
 - Einzugsgebiet der Langete (L_{1-3})
 - Einzugsgebiet der Oenz (O_1)
 - Kappelengraben (Wynigen) (O_2)
 - restliche bernische Teile östlich der Aare, ohne Gondiswil
 - bernisches Gebiet westlich der Aare
- } bis zur Aare (siehe Abbildung 1)

Die einzelnen Einzugsgebiete weisen folgende Flächeninhalte und mittlere Meereshöhen auf (Tabelle 1):

Tabelle 1 Flächeninhalte und mittlere Meereshöhen der Einzugsgebiete und Teileinzugsgebiete

Einzugsgebiet	Teileinzugsgebiet	km ²	m ü. M.
Roth	R_1	55,1	591
	R_2	0,8	
	$R_1 + R_2$	55,9	
	R_3	2,8	
	$R_1 + R_2 + R_3$	58,7	
Langeten	L_1	59,9	766
	L_2	55,6	658
	$L_1 + L_2$	115,5	713
	L_3	25,8	
	$L_1 + L_2 + L_3$	141,3	
Oenz	O_1	15,1	
	O_2	73,9	542
	$O_1 + O_2$	89,0	

Die Landschaft Oberaargau als Ganzes eignet sich nicht für eine in sich geschlossene hydrologische Untersuchung. Deshalb wurde zu Beginn der Arbeiten das Untersuchungsgebiet in Zonen intensiver und Zonen extensiver Untersuchung eingeteilt. Die Einzugsgebiete Roth, Langete und Oenz sind die Zonen intensiver Arbeiten.

BINGGELI hat in zahlreichen Schriften die verschiedensten Aspekte zur Landschaft Oberaargau beleuchtet. Wir können uns deshalb hier auf diese Literatur stützen und in den folgenden Unterkapiteln

nur auf jene hydrologisch relevanten Gesichtspunkte des Untersuchungsgebietes eingehen, die in der genannten Literatur fehlen. (BINGGELI [1962], [1965], [1967], [1970].)

Für weitere Angaben betreffend Landschaft und Menschen sei verwiesen auf «Jahrbuch des Oberaargau» ab 1958. Diese Reihe enthält auch die historischen Beiträge, wo besonders MEYER (1961) und FLATT (1969) zu erwähnen sind.

Die hydrologisch belangreichen Eigenheiten der Wässermatten-Landschaft werden in den Kapiteln 5, 6 und 7 behandelt.

2.2. Geologisch-morphologischer Aufbau

Der geologische Aufbau ist aus Abbildung 2 ersichtlich. In dem uns speziell interessierenden Raum der drei Flusseinzugsgebiete steht als gewachsener Untergrund die tertiäre Molasse an. Vom Zentrum des Napfschuttk Kegels im Südosten (Torton) ziehen sich peripher von Südwesten nach Nordosten die übrigen Molasseschichten: anschließend an das Torton die Sandsteine des Helvetien und Burdigalien, dann die Mergel des Aquitans und zuunterst die verschiedenartig ausgeprägten Schichten der unteren Meeresmolasse. Für Einzelheiten verweisen wir auf die Arbeiten von KOPP (1935), ERNI und KELTERBORN (1948), BINGGELI (1962) und ZIMMERMANN (1971).

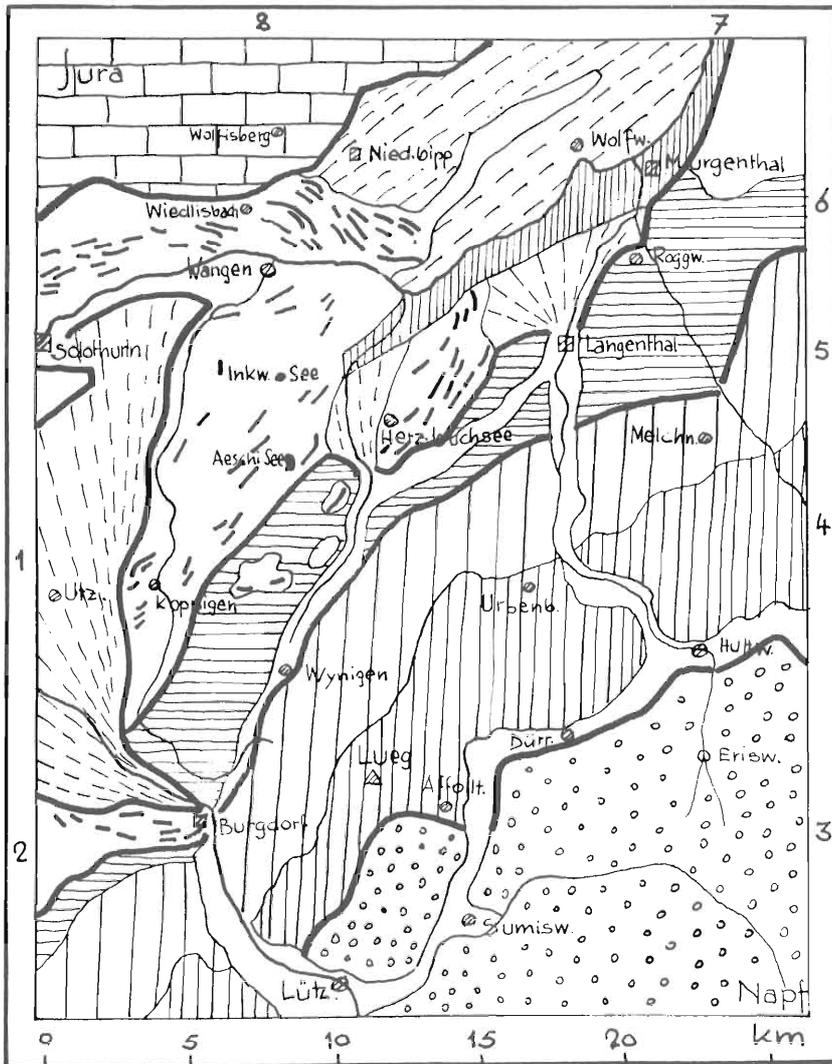


Abb. 2 Der geologische Aufbau der Landschaft Oberaargau aus BINGGELI (1962)

- 1 Schwemm-Schotter-Ebenen der Flüsse (z. T. fluvioglazial)
- 2 Glazialboden mit Moränenwällen (Würm)
- 3 Obere Süßwasser-Molasse (vorwiegend Nagelfluh)
- 4 Obere Meeresmolasse Helvétien
- 5 Obere Meeresmolasse Burdigalien } vorwiegend Sandstein
- 6 Untere Süßwassermolasse (Mergel)
- 7 Untere Meeresmolasse (Knauer-Sandstein)
- 8 Kalke und Mergel des Kettenjuras

Schematisierte geologisch-morphologische Kartenskizze des Oberaargaus mit landschaftlichen Grenzen. (Nach der Geologischen Generalkarte der Schweiz, Blatt II, Band Bern.)

Der Oberaargau ist hauptsächlich durch Erosion aus der Molasse geformt worden. Die höheren Gebiete weisen Erosionsformen auf, im tiefern Oberaargau herrschen oft Akkumulationsformen vor.

Zur Beantwortung der meisten hydrologischen Fragen muss der Untergrund miteinbezogen werden. Eine besondere Bedeutung erhalten dabei die Schotter der Talsohlen, auf denen die Wässermatten-Wirtschaft betrieben wird. Es gilt zu unterscheiden zwischen den alluvialen Talfüllungen und den fluvioglazialen Niederterrassenschottern. Letztere sind im Untersuchungsgebiet in den Räumen Herzogenbuchsee und Langenthal-Roggwil zu finden (s. Abb. 1). Neben den drei Talläufen treten aus dem geologischen Kartenbild auch eiszeitliche Erosionsrinnen hervor:

1. Rinne Sumiswald–Affoltern–Dürrenroth–Huttwil–Zell
2. Rinne Burgdorf–Wynigen–Thörigen–Langenthal–St. Urban

Es würde zu weit führen, die vielen Detailuntersuchungen (meist Gutachten) der letzten Jahre in den einzelnen Schottergebieten hier darzustellen. Soweit für unsere Fragestellung nötig, sind die Arbeiten im Kapitel «Grundwasser» herangezogen und besprochen. An älteren Arbeiten, die sich mit Fragen der Quartärgeologie im Zusammenhang mit Grundwasser befassen, sind zu nennen: HUG (1918), GYGAX und HUEGI (1946), TSCHACHTELI (1949), (1950), (1954), SCHMASSMANN (1958), RICHARD (1964).

Grössere stehende Gewässer fehlen in allen drei Flussgebieten.

2.3. Höhenverhältnisse und Talprofile

Alle drei oberoargauischen Flüsschen entwässern Teile der NW-Abdachung des Napfmassives. Nur der grösste Bach aber, die Langeten, hat sich die Quellwurzeln im eigentlichen Napfschuttkegel zurückerobert können. Entsprechend ist die Höhenverteilung (Abb. 3) der drei Einzugsgebiete verschieden. Die mittlere Höhen sind in Tabelle 1 angegeben.

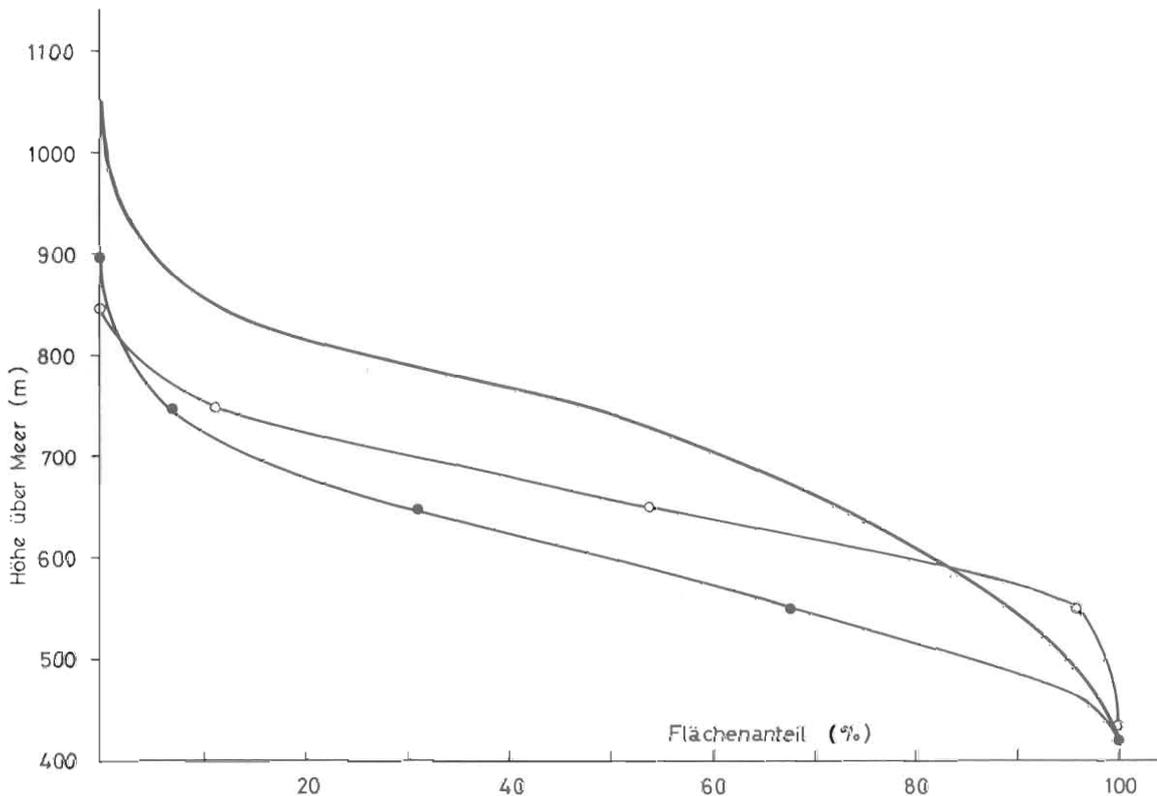


Abb. 3 Hypsographische Kurven der Flussgebiete

- Roth
- Langeten
- Oenz

Die hypsographischen Kurven (die Angaben zur Langete stammen vom Eidgenössischen Amt für Wasserwirtschaft) zeigen einmal die verschiedenen Höhenlagen. Die Verteilung im Roth- und Oenztal ist recht gleichmässig. Im Oenztal sind die Höhen unter 500 m nur schwach vertreten. Im Oenztal und Rothtal nehmen die höchsten Regionen über 800 m nur einen sehr kleinen Flächenanteil ein. Sämtliche Einzugsgebiete weisen über etwa 80% der Flächen eine gleichmässige Verteilung auf verschiedenen Höhen auf. Nur die untersten und obersten zehnpromzentigen Flächenanteile zeigen grössere Abweichungen (ZIMMERMANN [1971], BINGGEL [1965]).

Die Einteilung nach Oberlauf, Mittellauf und Unterlauf, wie sie BINGGELI (1968) für das Langetetal vorgenommen hat, lässt sich für Roth- und Oenztal nach den gleichen Kriterien nicht vornehmen.

Die Tal-Längsprofile von *Roth und Langete* (Abb. 4) zeigen keine grundsätzlichen Verschiedenheiten, wenn wir von der ungleichen Länge und Höhenlage absehen. Einzig die gegenüber den Nachbarflüssen schwache Steigung der Roth im Oberlauf mag auffallen. Tabelle 2 zeigt die Gefälls-

verhältnisse in den einzelnen Talabschnitten. Die Mittelläufe von Roth und Langete weisen praktisch das gleiche Gefälle auf, die Unterläufe ähnliche, doch sind sie nicht direkt vergleichbar, weil die Akkumulationsebene im Rothtal fehlt. Mit nur 2‰ Gefällsdifferenz auf die Gesamtlänge liegen die beiden Flüsse fast gleich.

Tabelle 2 Gefällsverhältnisse

Talabschnitt	von–bis	Höhendifferenz (m)	Lauflänge (m)	Gefälle (‰)
ROTH:				
Oberlauf	Schöntüelweid– Grossdietwil	205	4 625	44
Mittellauf	Grossdietwil– St. Urban	125	7 875	16
Unterlauf	St. Urban– Murg	15	2 025	7,4
Gesamtlauf		345	14 525	24
OENZ:				
Oberlauf	Färbergwald– Riedtwil	352	4 825	73
Mittellauf	Riedtwil– Wanzwil	50	8 150	6,1
Unterlauf	Wanzwil– Aare	25	3 500	7,1
Gesamtlauf		327	16 475	20
LANGETE:				
Oberlauf	Schilt– Eriswil	740	3 650	104
Mittellauf	Eriswil– Lotzwil	240	15 500	15
Unterlauf	Lotzwil– Murg	80	7 825	10
Gesamtlauf		699	26 975	26

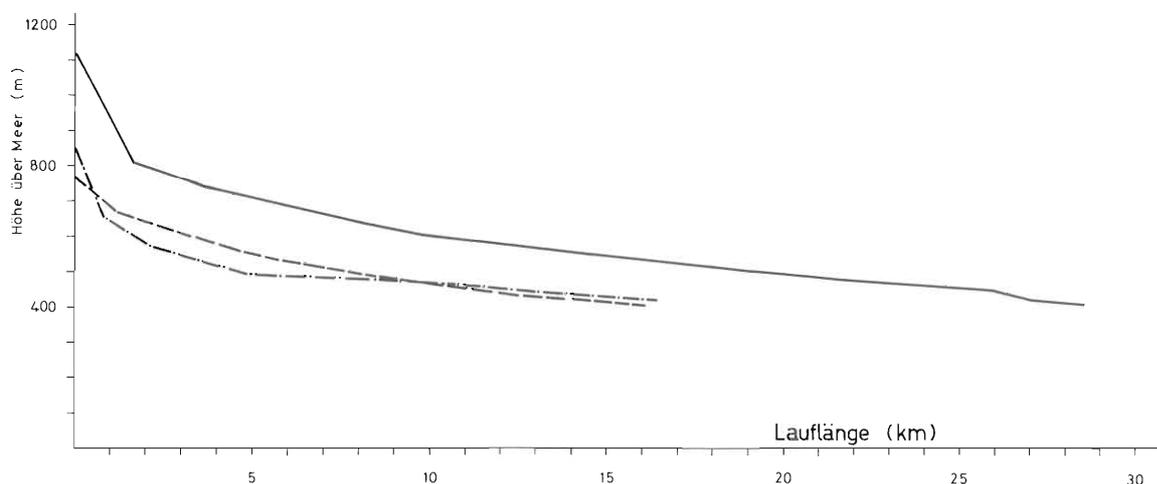


Abb. 4 Längsprofile der Flussläufe — Langeten - - - Roth - · - · - Oenz

Während Roth und Langeten fluviale Napfvorland-Täler darstellen, fließt die *Oenz* von Wynigen bis Bettenhausen in der eiszeitlichen Gletscherflusssrinne längs dem westlichen Molasserand (Abb. 5), dem heutigen Trockental Burgdorf–St. Urban. Das in Abbildung 4 angegebene Längsprofil der Oenz hat jedoch den Mutzgraben als Oberlauf zur Grundlage. Dieser Oberlaufcharakter ist denn auch gut vergleichbar mit jenen der Nachbarflüsse. Das Gefälle liegt hier in der Mitte zwischen jenem der Roth und der Langeten.



Abb. 5 Grenze vom tieferen zum höheren Oberaargau. Blick von Herzogenbuchsee gegen Thörigen. Der westliche Molasserand (Aquitane) hebt sich als vorderster bewaldeter Hügelzug gegen die Schotterebene (Trockental) ab.

Die Ausscheidung eines Oenz-Mittellaufes bereitet Schwierigkeiten, da die Laufstrecke zwischen Riedtwil und Wanzwil zwei geologisch-morphologisch grundverschiedene Abschnitte enthält. Im ersten Teil bis in den Raum Bettenhausen fließt die Oenz in dem erwähnten Trockental, weiter unten über die Niederterrassenschotter. Der zweite Mittellaufabschnitt entspricht also dem Unterlauf der Langete. Die Besonderheit des Mittellaufabschnittes zeigt sich schon in der gegenüber den Nachbarflüssen stark abweichende Gefällszahlen von nur 6,1‰ gegenüber 16‰, resp. 15‰ von Roth und Langete.

Der Unterlauf der Oenz von Wanzwil bis zur Aare lässt sich am ehesten mit den Grundwasserbächen in der Brunnmatt und der Murg vergleichen. Das Gesamtgefälle ist infolge des flachen Mittelabschnittes mit 20‰ etwas geringer als bei den Vergleichstälern.

Die Querprofile der Oberläufe sind ähnlich, sie entsprechen dem mehr oder weniger ausgeprägten V-Profil der Kerbtäler. Die Mittelabschnitte von Roth und Langete weisen Talsohlen auf. Jene der Langete ist aber viel schöner ausgeprägt als die der Roth. Hier treten die Talhänge teilweise bis an

die Bachufer heran, wie dies etwa oberhalb Rohrbach an der Langete der Fall ist. Das Querprofil des unteren Oenzmittellaufes entspricht dem Querprofil des Langete-Unterlaufes vom Typus «Akkumulationsebene».

In die Schotter, auf denen der unterste Langetelauf liegt, haben sich Roth und Oenz in ihren Unterläufen eingetieft. Die Querprofile haben eher Mittellaufcharakter.



Abb. 6 Die Plateau-Landschaft des Oberaargaus und der Jura-Südhang. Der westliche Teil des Oberaargaus: von der Plateau-Landschaft (Burdigalien/Helvetien) über den engen tiefern Mittel-landabschnitt (Schotter und Moränen) zum Jura-Südhang. Aufnahme bei Linden.

3. Das Wiesenbewässerungssystem der Wässermatten

3.1. Definition

Die Wässermatten sind typisch für die oberaargauische Landschaft. BINGGELI (1962) spricht von einer Acker-Wässermatten-Landschaft des Oberaargaus. Am auffälligsten zeichnen die Wässermatten das Landschaftsbild in den Talsohlen der drei Flusstäler Roth, Langeten und Oenz. Aber auch in den Seitentälern erster und zweiter Ordnung sind Wässermatten zu finden. Sie sind jedoch von anderem Typus als jene in den Haupttälern.

Zur Einteilung der verschiedenen Wässermatten-Typen haben wir folgende Kriterien beigezogen:

- a) physiognomische Gesichtspunkte
- b) Grundwasserwirksamkeit
- c) technischer Ausbau des Bewässerungssystems
- d) historische Entwicklung

3.1.1. Zur physiognomischen Unterscheidung der Wässermatten-Typen

Die Matten in den Talböden weisen im allgemeinen grosse ebene Flächen im Hektarenbereich auf, sie sind durch die Lebhänge entlang der Graben ein markantes Landschaftselement. Demgegenüber sind die Wässermatten der Seitentäler eher kleine, in anders genutzte Flächen eingestreute Parzellen, die landwirtschaftlich weniger in Erscheinung treten. Sie weisen Flächen im Arenbereich auf und liegen oft auf recht stark geneigten Hängen.

3.1.2. Einteilung der Wässermatten nach der Grundwasserwirksamkeit

Die Grundwasserwirksamkeit ist eine Funktion der hydrogeologischen Eigenschaften und der Mächtigkeit des Grundwasserträgers.

Die in den Talsohlen liegenden Wässermatten liegen grösstenteils auf gut bis sehr gut durchlässigen fluvioglazialen oder alluvialen Schottern. Deren Mächtigkeit beträgt wenige bis über zwanzig Meter. Die Wässermatten hier speisen die ausgedehnten Grundwasservorkommen dieses Aquifers.

Die Wässermatten der Seitentäler liegen meist auf geringmächtigen Alluvionen oder auf den Verwitterungsdecken der anstehenden Molasse (obere Süswasser- und Meeresmolasse). Die Wässerungen liefern im allgemeinen nur kurzfristiges Grundwasser, das zur Hauptsache bereits im zugehörigen Talbach wieder vorflutet.

3.1.3. Einteilung nach dem technischen Ausbau des Bewässerungssystems

Die Bewässerungsanlagen der Talbödenmatten sind im allgemeinen recht kompliziert angelegte, weitverzweigte Grabensysteme, mit Gräben verschiedener Ordnungsstufen und Überwassersammler. Grössere Schleusenanlagen sind ein weiteres Kennzeichen.

Die Bewässerungsanlagen der Seitentäler beschränken sich allgemein auf einen, meist der Hang-Höhenlinie entlanglaufenden Graben mit quer dazu eingelegten Ablisshöizern. Eigentliche Schleusenanlagen fehlen. Der Talbach übernimmt die Funktion des Überwassersammlers.

3.1.4. Einteilung nach der historischen Entwicklung

Die bisherige Zweiteilung lässt sich gut auch mit verschiedenartigen historischen Besitzerverhältnissen und den daraus resultierenden Nutzungsarten belegen.

Nach ZOLLINGER (1906) war der Wasserlauf im Tal der Langeten, gleich wie Wald, Weide und Wege um die Jahrtausendwende ein Teil der Allmend. Die Wässermatten der Talböden wurden ursprünglich, und werden es im gewissen Sinne auch heute noch, genossenschaftlich genutzt. Die Nutzung eines Wässermattenareals tangiert Ober- und Unterlieger.

Für das oberaargauische Hofland, das nicht an den Talfluss stösst, nimmt ZOLLINGER (1906) ein Privateigentum am Wasser an. Der Bachlauf gehört zum Land und das benutzte Wasser stammt ebenfalls aus dem betriebseigenen Landbesitz. Die Nutzung des Wassers berührt den Nachbarn kaum oder gar nicht.

Schlussfolgerung

Die Wässermatten des Oberraargaus lassen sich aufgrund der vier genannten Kriterien in zwei Typen unterscheiden:

- a) Echte Wässermatten der Talsohlen
- b) Wässermatten der Seitentäler, für die wir den Begriff «Albissmatten» vorschlagen.

3.2. Historischer Abriss

Obgleich die geschichtliche Darstellung der Wässermatten nicht zum Kern der Aufgabe gehört, sind einige dieser historischen Tatsachen unerlässlich zum Verständnis der Wässermatten. Die «ewigen Wiesen» (MEYER 1961) sind ein in tausend Jahren gewachsenes Landschaftselement, dessen geschichtliche Entwicklung nicht verleugnet werden darf. Die vollständigsten Angaben historischer Natur liegen über das unterste Langetental vor. Auch aus diesem Grunde ist dieser Abschnitt oft als Beispiel für die Wässermatten des Oberaargaus aufgeführt. Recht wenig ist über die Wässermatten des Rothtals bekannt.

Die Auswirkungen der Besitzverhältnisse sind im vorangehenden Abschnitt erläutert. Andere historische Momente, wie beispielsweise die Kehrordnungen, wirken sich bis heute bestimmend auf das Grundwassergeschehen aus.

Im Langetental setzten die Zisterzienser Mönche von St. Urban mit ihrem Meliorationswerk des 13. Jahrhunderts der Naturlandschaft des untersten Talabschnitts ein Ende. Wie die hydrographischen Verhältnisse zu jener Zeit gewesen sein mögen, ist nur schwer bestimmbar. Die «Schöpfkarte» aus dem 16. Jahrhundert (1578) und die «Gigerkarte» von 1637 ergeben nur ein unklares Bild mit sich verlaufenden Ästen. Eine Betrachtung der Reliefverhältnisse lässt es als wahrscheinlich erscheinen, dass sich vor der Melioration ein «Hauptlauf» der Langete von der Mühle Langenthal in der Senke westlich der Rankmatte gegen das Känelhüttli zu gezogen hat und von dort weiter Richtung Brunnmatt.

ZOLLINGER (1906) weist bereits für das 9. Jahrhundert eine Wässerung nach. Die Mönche, denen die Urbarisierung des Bodens als Ordensregel aufgegeben war, fassten die Langete bei der Mühle Langenthal, um das Wasser auf die Felder ihres Roggwiler-Zehnthofes zu leiten. Der gleiche Autor weist in seinen wasserrechtlichen Studien nach, dass eine Ableitung beim Gemeindehaus oder sogar oberhalb des Dorfes undenkbar ist. Die Mühle zu Langenthal, die bereits 1244 von Eberhard von Grünenberg eingetauscht worden war, hätte in diesem Falle auf dem Trockenen gesessen.

Die Mönche gruben damals den Kanal, der noch heute den Langetelauf bis zum Zusammenfluss mit der Roth darstellt. Sie schufen auch das weitverzweigte Grabensystem, das eine intensive Bewässerung erst erlaubt. Dämme mussten aufgeschüttet und Wuhre, Britschen und Ablisse gebaut werden. Die Mönche gingen mit solcher Gründlichkeit ans Werk, «dass füglich die gesamte Wiesenkultur des Langetentales als ihr Werk bezeichnet werden darf» (ZOLLINGER [1906]).

3.3. Wasserzeiten und Kehrordnungen

Der Beginn dieser neuen Landwirtschaftsform war auch der Anfang zahlloser und endloser Streitigkeiten um das wertvolle Wasserwasser.

Bereits 1349 wurde im Langetental zwecks Behebung der Zwiste das Amt des Wässermannes oder, wie es heute genannt wird, des Wässerbannwartes geschaffen. Ihm oblag die Aufgabe, nach den in den Kehrbriefen verordneten Wasserzeiten die Britschen zu öffnen und zu schliessen. Weiter hatte er für die gerechte Verteilung des Wassers innerhalb eines Wässergenossenschaftsbezirks zu sorgen. Ihm oblag auch die Aufsicht über sämtliche Wässerungsanlagen bis hinauf nach Weinstegen.

Früh schon bildeten sich hinsichtlich des Rechts auf Wasser zwei Prioritäten heraus: 1431 fügten sich die Lotzwiler in die überlieferten Rechte und damit dem Kloster und verzichteten bei Wassermangel zugunsten der unterliegenden Matten und Radwerke auf Wässerung. Wir können von einer Priorität sprechen, die einerseits die gewerblichen Betriebe, wie beispielsweise Mühlen, vor die Landwirtschaft stellt, andererseits von Roggwil talaufwärts verläuft.

Die Bevorzugung der gewerblichen Betriebe vor den landwirtschaftlichen folgte nach ZOLLINGER (1906) einem alten germanischen Rechtssatz: «wo der nutz grösser ist, dann der schad, dass da ein nachbar dem andren die wässre gönnen und teilen sol, diewyl landsrecht inhalt».



Abb. 7 Steinacherschleuse. Der amtierende Wässerbannwart zieht «nach alter Übung» die Steinacherschleuse.

Um klare Verhältnisse zu schaffen, wurde dazu 1669 festgelegt: Die Kehre der Roggwiler beginnt erst unterhalb der Mühle Langenthal. In die Langete wird oberhalb der Mühle ein Pegel eingesetzt. Das Überschusswasser steht den Bauern oberhalb Langenthal zur Verfügung.

Erst 1595 konnten in der Vereinbarung vom 26. November zwischen dem Abt von St. Urban und der Gemeinde Langenthal die Streitigkeiten beigelegt werden. Die heute noch eingehaltenen Wässerzeiten gehen auf diese Abmachungen zurück. Von Montag früh 6 Uhr bis Freitag morgen 6 Uhr gehört das Wasser den Langenthalern, die restlichen drei Tage der Woche den Roggwilern. Ausgenommen von dieser Regelung ist heute die Zeit vom Spätherbst bis 15. April, wo eine unbeschränkte Wässerung erlaubt ist. In der Praxis wird der Herbstzeitpunkt bestimmt durch das Abmähen oder Abweiden des letzten Grasses. Erst danach kann wieder gewässert werden. Im Jahre 1969 zum Beispiel wurde in den unteren Matten am 16. Dezember zum letzten Mal Gras eingebracht. In der Regel fällt dieser Tag ziemlich früher, denn der Bauer möchte sein Land im Herbst ausgiebig wässern. Eine alte Wässerregel sagt nicht umsonst: «Wär im Frühling wässeret *wett* Gras, wär im Herbst wässeret *hett* Gras!»

Das Kloster St. Urban, als Empfänger von Bodenzinsen und Zehnten in und um Langenthal, hatte die Pflicht, jährlich im Frühling die Räumung des Langetenlaufes, den sogenannten Bachabschlag, bis Weinstegen vorzunehmen. In «alten Zeiten» wurde mit einem stark bespannten Pflug die Sohle des Bachbettes aufgerissen und hernach der Schutt ausgeräumt. Nach einer Verordnung aus dem Jahr 1859 musste die Sohlenbreite 14 Fuss oder 4,2 Meter betragen. Die Anstösser waren verpflichtet, Wurzelstöcke zurückzuschneiden und beschädigte Wuhre und Schleusen zu ersetzen. Nach Aufhebung des Klosters gingen diese Verpflichtung an den Staat Luzern über. Zurzeit bestehen noch zwei Wässergenossenschaften. In den unteren Matten Langenthals jene der Steinachermatten, in Roggwil die Wässerkorporation Grunholz.

Im Grunholz finden sich noch unangetastete Wässermatten, in denen der Wässerung grosse Bedeutung beigemessen wird. Der Wässerbannwart hat die traditionellen Pflichten übernommen und übt sie grundsätzlich noch wie in alten Zeiten aus. So steht ihm das Recht zu, während der Roggwiler Wässerkehre einen Kontrollgang bis zur Langenthaler Mühle vorzunehmen und etwaige offene Britschen eigenhändig zu schliessen (Akte 1894). In der Praxis macht der Roggwiler Wässerbannwart von diesem Recht nur in Zeiten des Wassermangels Gebrauch.

Talaufwärts sind die Verhältnisse etwas anders. Lotzwil kennt keine Kehrordnung. Die Wässerung ist Sache jedes einzelnen Anstössers. Die Madiswiler Matten sind getrennt in die zwei Schwellenbezirke Steinlen- und Grossmatten. In beiden Wässergenossenschaften wurden aus der Mitte der Mattenbesitzer ein Wässerbannwart – in Madiswil heisst er Schwellenmeister – gewählt. In dieser Bezeichnung spiegelt sich die Aufgabe. In den Steinlenmatten oblag dem Schwellenmeister nur der Unterhalt der Schleusenanlagen und die Aufsicht über die Öffnung der Gräben. Für die eigentliche Wässerung hatten die Bauern selbst zu sorgen. 1931 wurde dort der letzte Schwellenmeister gewählt. 1954 wurden die Steinlenmatten wegen mangelnden Interesses aufgelassen.

In den Grossmatten besteht eine Kehrordnung. Im Jahre 1896 wurden in einem Reglement Rechte und Pflichten der Genossenschaftsmitglieder festgelegt. Anlass zu dieser Reglementierung gaben «vielfache Übelstände und Missbräuche wegen Nichtbeachtung der althergebrachten Ordnung». Wir dürfen damit wohl auch die Madiswiler Matten zu den uralten Wiesen des Langetentales zählen. Die alte Ordnung geriet ins Wanken, nachdem im Jahre 1855 das der Bürgergemeinde zustehende Weidrecht in den Grossmatten ausgekauft wurde. Die Kehrordnung bestimmt: «Jeden Samstag sowie an Vorabenden von Festtagen soll unmittelbar nach dem Vesperläuten das Wasser von den Anwesenden geteilt werden. Diese Wasserteilung soll unverändert bleiben bis am Morgen nach dem Sonn- oder Festtag um 8 Uhr.» Während der übrigen Zeit ist nur das totale Ableiten des Wassers verboten und die Verteilung erfolgt nach freundschaftlicher Regelung. Die Grossmatten erhalten ihr Wasser nicht aus der Langeten, sondern aus dem Dorfbach, so geheissen nach dem Zusammenfluss von Wyss- und Mättenbach. Auch hier geht die Wässerung langsam zurück.

Im Oenztal trugen die Wässerungen, wie im Langetental, deutlich genossenschaftlichen Charakter. Die Müller hatten ebenfalls das Vorrecht an der Wassernutzung gegenüber der Landwirtschaft.

Im Rothtal ersetzen «verbriefte Wasserrechte» eine eigentliche Kehrordnung. Danach steht jedem Mattenbesitzer je Jucharte Mattenland das Recht zu, alle vier Wochen für 24 Stunden das Wasser auf sein Land zu leiten. Weitere Einzelheiten bei LEIBUNDGUT (1970).

3.4. Die Wässermatten als Landschaftselement

Die heutige Landschaft der Wässermatten dürfen wir als eine Kulturlandschaft von auffällender Natürlichkeit bezeichnen. Die Wässergraben sind meist gebogen und winklig angelegt und zerteilen die Matten netzartig und unregelmässig. Abbildung 8 zeigt einen Ausschnitt aus dem Grundbuchplan der untern Matten Langenthals. Bei Wasserführung sind die Wässergräbli von einem echten Bächlein kaum zu unterscheiden. Die grösseren Gräben sind zudem von Bäumen und Buschwerk gesäumt. Es ist gerade dieser lichte Baumbestand, der den Matten vornehmlich ihre Natürlichkeit gibt. Die wie zufällig in der Landschaft verstreuten Baumgruppen nehmen den Matten den Charakter der intensiven Bewirtschaftung und schaffen ein parkähnliches Bild (Abb. 9). Eine Betrachtung von Luftaufnahmen zeigt deutlich die heterogene Struktur des Mattenlandes im Gegensatz zur weitgehend gleichartigen Ackerlandschaft.

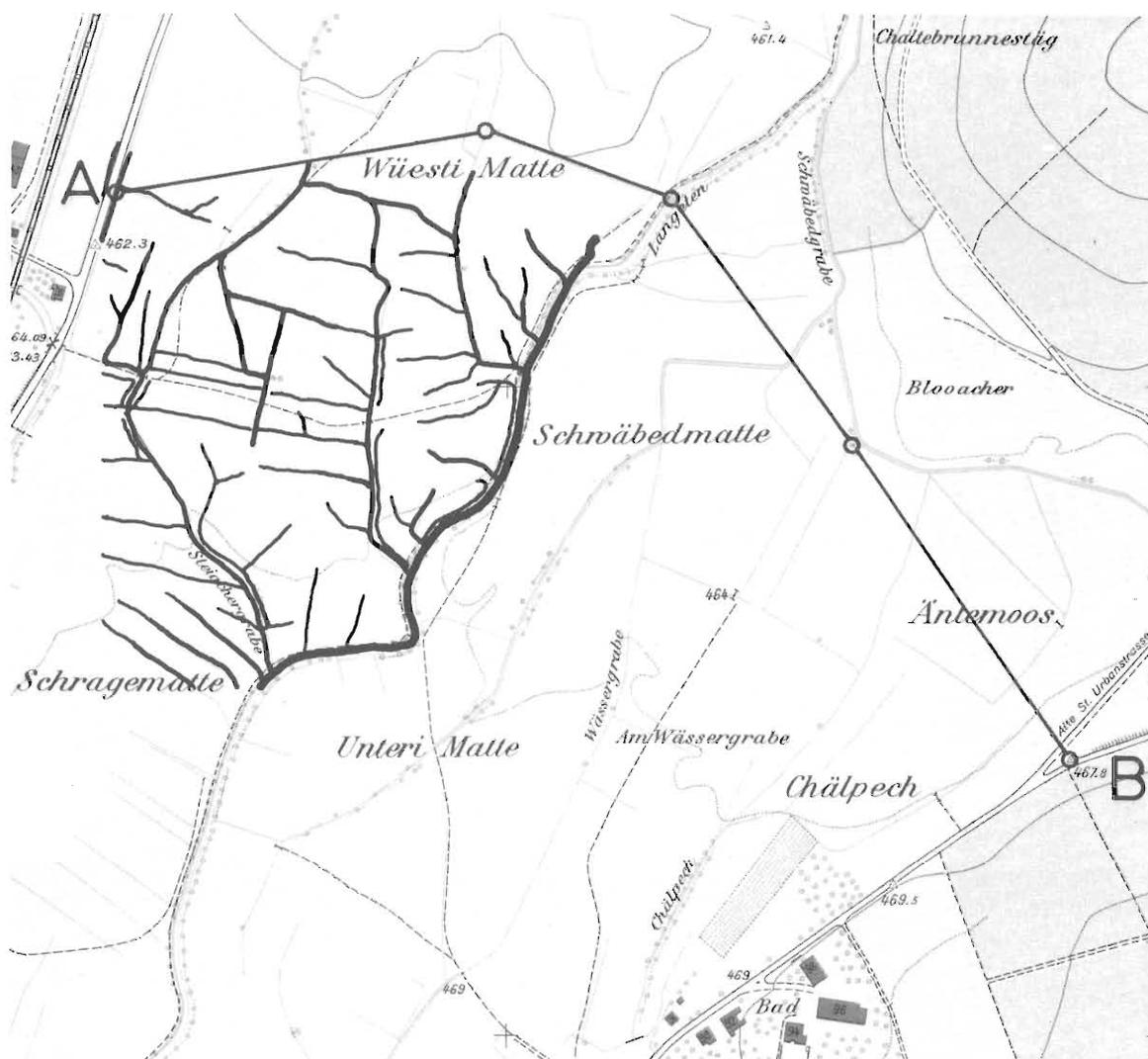


Abb. 8 Das Wässergrabensystem der Matten. Der Ausschnitt aus dem Grundbuchplan von Langenthal wurde in Feldbegehungen vervollständigt. Die Ergänzungen beziehen sich teilweise auf frühere Beobachtungen. Die Skizze zeigt damit den Zustand des Wässerungssystems vor den Eingriffen durch Umbrechen und Überbauung.



Abb. 9 Die Parklandschaft der Wässermatten. Weite und Wasser, die Blumen und Bäume und Büsche ergeben zusammen das typische Bild der «ewigen Wiesen» des Oberaargaus.

Abbildung 10 zeigt einen Nivellementzug durch die untern Matten Langenthals. Deutlich tritt einmal die erhöhte Lage der Langete selbst heraus. Weiter lässt das Profil deutlich erkennen, wie die Wässergraben «obenauf sitzen» und als kleine Höhenrücken das Mattenland in einzelne Becken und Wannen aufteilen. Das «konvexe» Querprofil kennzeichnet die Matten als echte Akkumulationslandschaft.

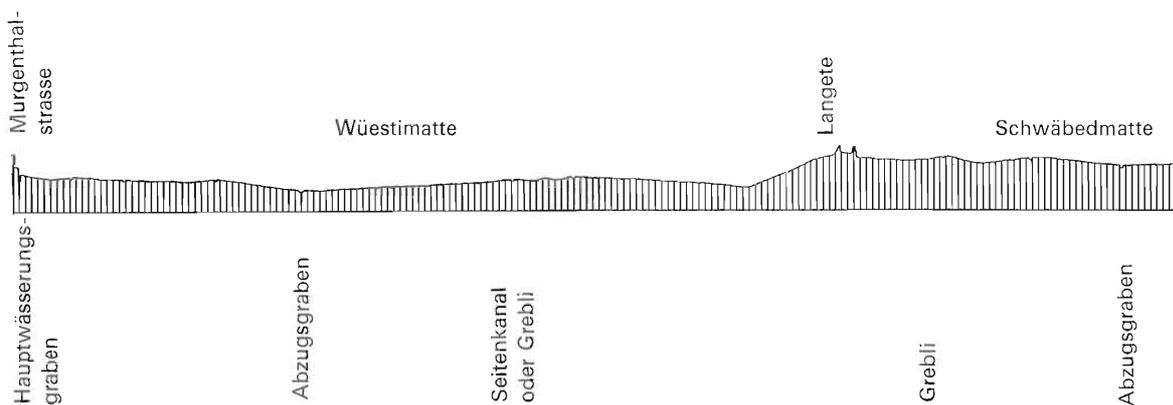
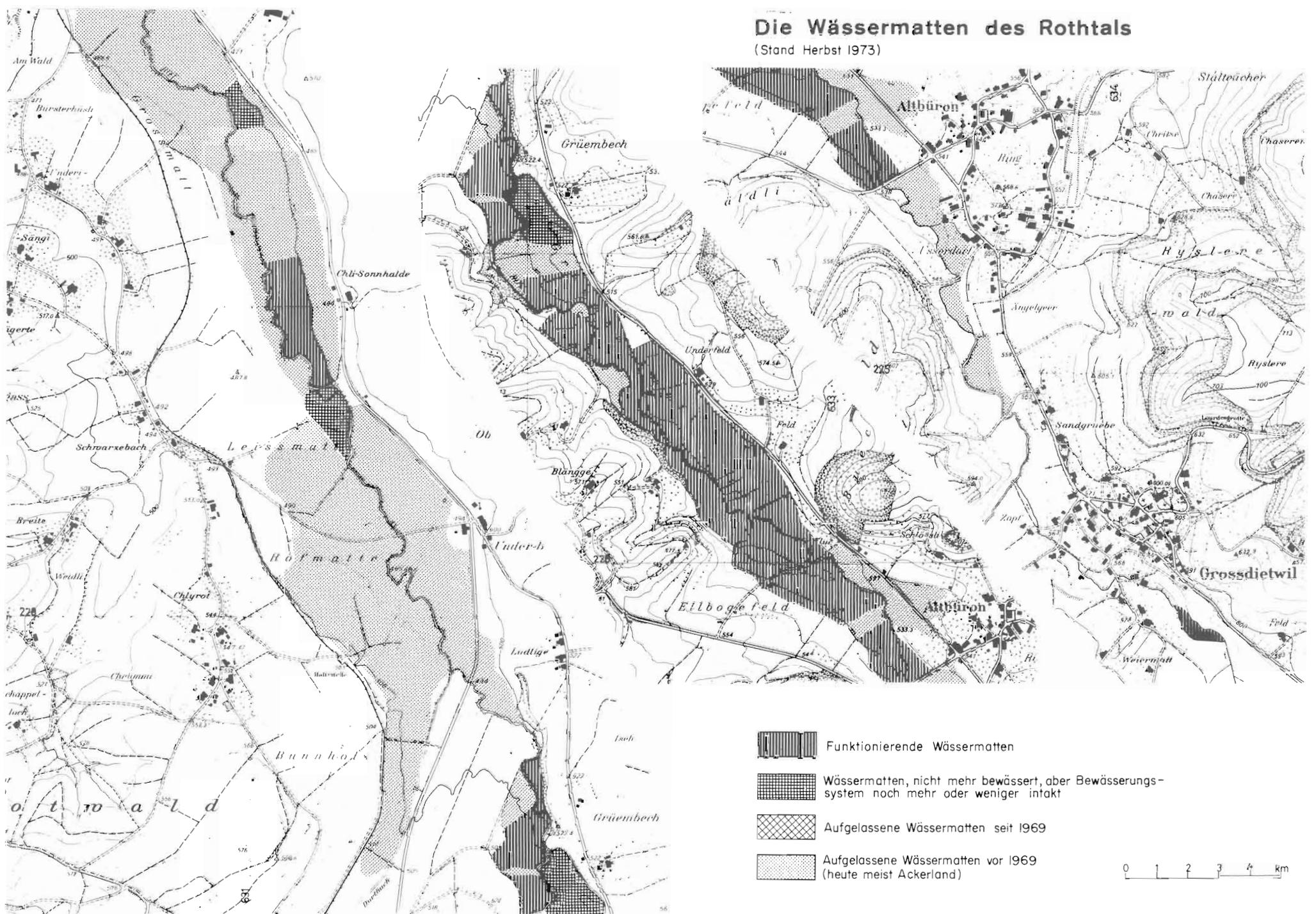


Abb. 10 Querprofil durch die Wässermatten. Die Akkumulationslandschaft der Wässermatten unterhalb Langenthals. Das Profil quer durchs Tal ist 5mal überhöht. Die Profillinie ist in der Abbildung 8 eingetragen (A–B).

Die Wässermatten des Rothtals

(Stand Herbst 1973)



Charakterisiert werden die Matten nicht nur durch die Möglichkeit zur Bewässerung. Die Wässermatten sind alte Naturwiesen. Wohl auch dadurch, dass sie seit ihrem Bestehen, also einige hundert Jahre, nicht umgebrochen wurden, hat sich eine sehr starke, mit grossen «Mutten» bestandene Grasnarbe gebildet («Ewige Wiesen»). Die ursprünglich dominierende Nutzung der Matten als Heuwiesen verhindert das häufige Abmähen, so dass auch vom Grasbestand her eine stärkere Natürlichkeit ausstrahlt als sie etwa den gewöhnlichen Wiesen eigen ist.

Trotzdem die Matten auf einer Schotterebene liegen, wäre es falsch, sie sich als topfeben vorzustellen. Die Matten weisen sogar ein ausgeprägtes Kleinstrelief auf. Sicher mussten bereits die Erbauer, die Mönche, künstlich den Anfang eines solchen Reliefs schaffen um überhaupt das Wasser auf die gewünschten Flächen verteilen zu können. Eine erste Bedingung war die Erhöhung der Bachsohle über oder doch nur wenig unter das umliegende Land. Jahrhundertlang haben seither die Wässer Sand und Schweb herangeführt und abgelagert. Dabei nimmt die Menge des abgelagerten Materials mit zunehmender Entfernung von den Wässergraben ab. Dadurch wurde und wird das geschaffene Kleinrelief, die weiche Wellung der Matten, stets stärker akzentuiert.

Die folgenden Beobachtungen und Gedanken zur Flora gehören nur im weiteren Sinne in eine geographische Arbeit. Da sich jedoch dieses Kapitel der Arbeit auch mit dem Erfassen des gesamten Landschaftsinhaltes befasst und die Flora ein integrierender Bestandteil dieses Systems ist, sollen die wichtigsten Tatsachen kurz zusammengestellt werden. Im Zusammenhang mit Versickerung und Verdunstung erhält die Flora eine zentrale Bedeutung (JUFER [1974]). Die Wässermatten sind alte Naturwiesen mit einem eigenen Pflanzenbestand (SALZMANN [1956]). BIERI (1949) schliesst sogar die Möglichkeit nicht aus, dass sich aus den bekannten Arten spezifische Wässermatten-Unterarten herausgebildet haben.

Erle, Hasel, Weide, Traubenkirsche, Esche und Eiche sind die verbreitetsten Sträucher und Bäume der Matten. Unter den Wiesenpflanzen sind Kerbel, Bärenklau, Wiesenfuchsschwanz, Wiesen-schaumkraut, Kohldistel und Scharbockskraut die häufigsten Vertreter. Bärenklau und Kerbel deuten dabei auf überdüngte Wässermatten hin. Starkes Auftreten von Wiesenfuchsschwanz zeigt eine feuchte Zone an. Allgemein etwas gelbliches Aussehen des Grasbestandes ist ein sicherer Hinweis auf vernässstes Land.

Wiederum ist die vielfältige, uneinheitliche Zusammensetzung ein deutliches Unterscheidungsmerkmal zum Mähwiesenland der oberoargauischen Hügel mit ihrem «genormten» Grasbestand. Auffallend ist die fleckenweise Häufung der einzelnen oben aufgeführten Wiesenpflanzen. Dies dürfte, neben optimalen Lebensbedingungen in diesen Zonen, mit dem Verschweben der Samen durch das Wässerrwasser zusammenhängen.

In ihren pflanzensoziologischen Untersuchungen aus dem Jahre 1970 kommt INDERMUEHLE (1970) zum Schluss, dass die Wässermatten pflanzensoziologisch der Assoziation des *Arrhenatheretums elatioris* (Fromentalwiese) einzugliedern seien. Nach SCHNEIDER (1954) ist die Fromentalwiese landwirtschaftlich die leistungsfähigste Naturwiese. Die einheitliche, aber in sich selbst reich gegliederte Landschaft der Wässermatten bietet auch einer Grosszahl von Tieren den heute dringend notwendigen Lebensraum (vgl. LEIBUNDGUT 1962, 1970).

Einen etwas anderen Wässermatten-Landschaftstyp verkörpern die Wässermatten des Rothtales (Abb.11). Entsprechend ihrer Lage im stärker eingeschnittenen Rothtal liegen sie mehrheitlich in sanfter Hanglage entlang dem Bachlauf und diesem zugeneigt. Grössere Gebiete sind zwischen Altbüron und Grüembech noch in Betrieb. Der Talboden der Roth zeigt hier seinen typischen Charakter. Durch die beginnende Auflassung, besonders im unteren Talabschnitt, wird auch hier die alte Wässermattenlandschaft in Richtung einer modernen Agrarlandschaft verändert.

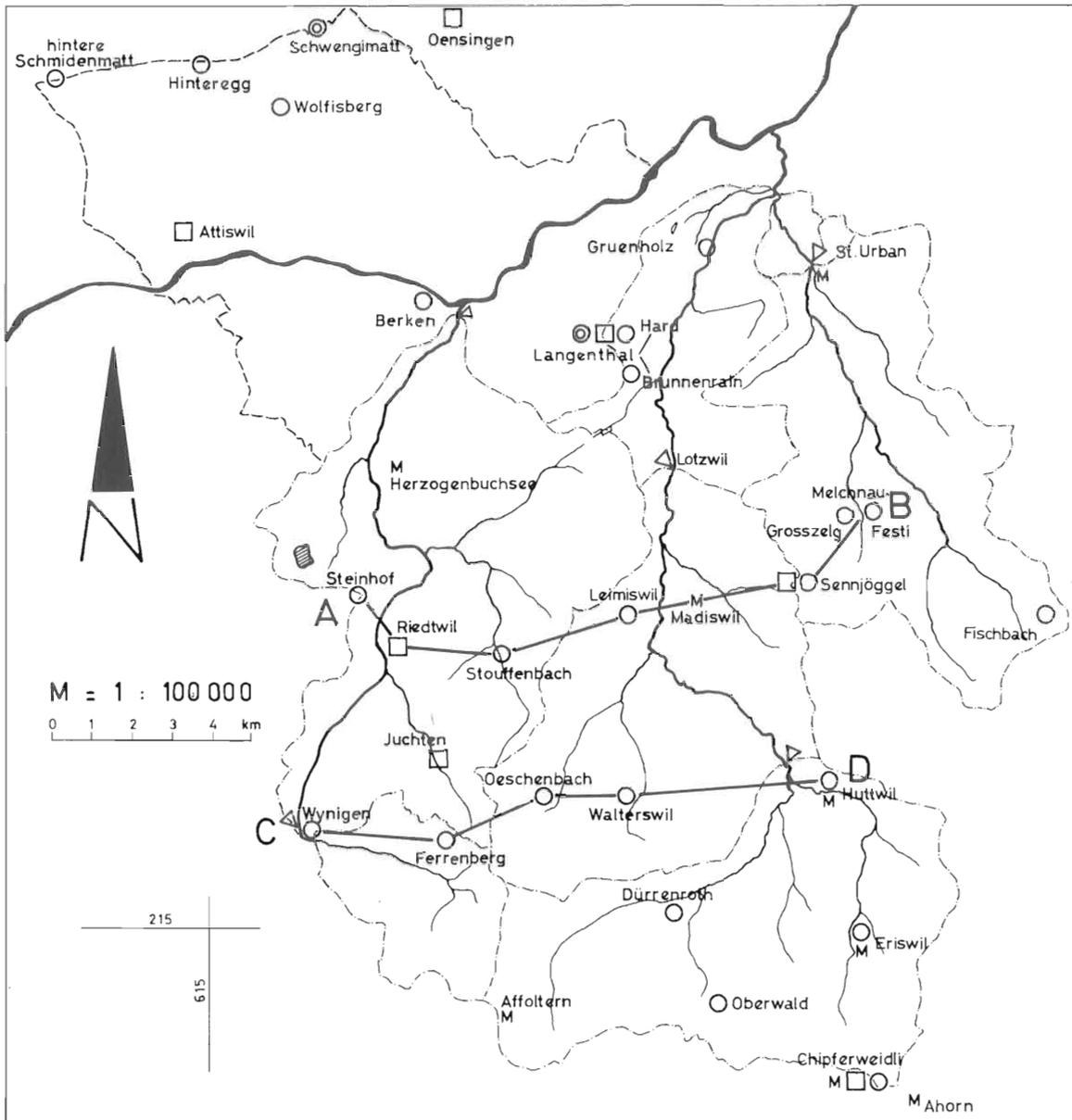


Abb. 12 Niederschlags-Messnetz Oberaargau, Stand 1973

- Monatstotalisator
- ⊙ Jahrestotalisator
- Pluviograph
- M MZA-Station
- △ Limnigraph
- - - Einzugsgebiete
- - - Kantonsgrenze
- A-B, C-D Messprofile

4. Wasserhaushaltsbeziehungen

4.1. Gebietsniederschlag

4.1.1. Messnetz und methodische Hinweise

Beim Aufbau des Messnetzes wurden die drei Flussgebiete als Einheit aufgefasst. Dabei konnte vom Langeten-Gebiet ausgegangen werden, wo BINGGELI bereits 1959 ein Totalisatorennetz aufgebaut hatte. Abbildung 12 zeigt die Verteilung der Niederschlags-Messstationen im Untersuchungsgebiet Oberaargau (Tabelle 3). Wo mehrere Stationen an gleicher Stelle aufgestellt sind, gilt als Standort das Symbol des Monatstotalisators. Wie aus der Karte ersichtlich, sind die Messstationen recht gleichmässig verteilt.

Tabelle 3 Verzeichnis der Niederschlags-Messstationen (ohne MZA-Stationen)

MT = Monatstotalisator, JT = Jahrestotalisator, P = Pluviograph

Station	Koordinaten	Höhe ü. M.	Gerät
Einzugsgebiet Roth:			
1. Melchnau-Grosszelg	631 225/225 375	560	MT
2. Melchnau-Festi	631 650/225 325	555	MT
3. Fischbach	636 225/222 590	715	MT
Einzugsgebiet Langete:			
4. Grunholz	627 500/232 025	455	MT
5. Langenthal-Hard	625 650/230 000	469	MT
5a. Langenthal-Hard	625 650/230 000	469	JT
5b. Langenthal-Hard	625 650/230 000	469	P
6. Langenthal-Brunnenrain	625 700/228 800	485	MT
7. Leimiswil	625 650/222 750	590	MT
8. Huttwil	630 750/218 450	640	MT
9. Oeschenbach	623 550/218 310	675	MT
10. Walterswil	625 700/218 150	680	MT
11. Dürrenroth	626 825/215 275	710	MT
12. Sennjöggel	629 525/222 800	725	MT
12a. Sennjöggel	629 525/222 800	725	P
13. Eriswil	631 400/215 000	735	MT
14. Oberwald	627 815/212 950	885	MT
15. Chipferweidli	631 800/211 125	1020	MT
15a. Chipferweidli	631 800/211 125	1020	P
Einzugsgebiet Oenz:			
16. Berken	620 625/230 800	420	MT
17. Riedtwil	619 675/221 875	510	P
18. Wynigen	617 450/217 350	531	MT
19. Stauffenbach	622 325/222 015	545	MT
20. Steinhof	618 900/223 450	560	MT
21. Juchten	621 290/219 450	675	P
22. Ferrenberg	621 050/217 225	745	MT

Station	Koordinaten	Höhe ü. M.	Gerät
Jura:			
23. Attiswil	614 300/232 400	455	P
24. Oensingen	621 400/238 175	535	P
25. Wolfisberg	616 820/235 620	669	MT
26. Schmidenmatt	611 250/236 375	971	MT
27. Schwengimatt	617 980/237 610	1075	JT
28. Hinteregg	615 000/236 600	1107	MT

Entsprechend dem bewegten Relief in den südlichen Teilen der Flussgebiete stehen die Stationen hier dichter als in den unteren Teilen. Durchschnittlich steht pro 11,56 km² eine Station im engeren Untersuchungsgebiet (Einzugsgebiete bis zu den Mündungen), die Station Berken, unweit der Oenzmündung in die Aare, miteingerechnet. Nicht berücksichtigt sind dabei die erst im Verlaufe der Untersuchungsperiode aufgebauten MZA-Stationen Madiswil, Huttwil, Eriswil und Ahorn. Die Tabelle 3 gibt die Verteilung nach der Meereshöhe an.

Die Apparate wurden an den einzelnen Stellen nach den bekannten Prinzipien aufgestellt, wobei Exposition und Hangneigung als wichtigste Faktoren erachtet wurden. Die Messstationenprofile A–B, Riedtwil–Melchnau, und C–D, Wynigen–Huttwil, sind längs der regenträchtigen Hauptwindrichtung (BINGGELI 1974) gelegt. Mit diesen Stationsprofilen wurde versucht, die expositionsbedingten Unregelmässigkeiten möglichst auszugleichen (Abb. 12).

Vier Stationen mussten im Verlaufe der Untersuchungsperiode versetzt werden. Die Gründe dafür waren technischer Natur (Umbauten, Heranwachsen junger Bäume):

Station	Horizontale Verschiebung in m	Zeitpunkt
Melchnau (Grosszelg)	125	September 1972
Leimiswil	8	Februar 1973
Walterswil	30	August 1972
Steinhof	150	Juli 1972

Die Beeinflussungen der Messresultate infolge dieser örtlichen Veränderungen wurden mit Hilfe der Doppelsummenanalyse (SEARCY and HARDISON 1960) untersucht. Die Vergleichsstationen wurden anhand der Korrelationswerte (lineare Abhängigkeit zweier Reihen) ausgewählt. Berücksichtigt wurden jene Stationen, deren Niederschlag mit jenem der zu untersuchenden vier Einzelstationen das Kriterium von $r \geq 0,900$ erfüllen. Es sind dies 13 der in Tabelle 4 aufgeführten Stationen.

Das Ergebnis der Doppelsummenanalyse ergab keine wesentlichen Niederschlags-Resultatveränderungen bei den Stationen Melchnau-Grosszelg, Leimiswil und Walterswil (Abb. 13). Für die Station Steinhof zeigt sich jedoch mit dem Zeitpunkt des Versetzens im Juli 1972 ein Knick in der Summengeraden (Abb. 14). In der Tabelle 5 sind die kumulierten Niederschläge der Station Steinhof zusammen mit den kumulativen Niederschlägen der Vergleichsstationen zusammengestellt. Die korrigierten Niederschlagswerte sind in Tabelle 6 zusammengestellt.

Tabelle 4 Korrelationsmatrix der Monatsniederschläge. Die Stationen sind nach Flussgebieten geordnet

Zusammenhang	Symbol	r
sehr stark	●	0,950 $\leq r$
stark	×	0,900 $\leq r \leq 0,949$
schwach	+	0,800 $\leq r \leq 0,899$
ungenügend	○	$r \leq 0,799$

	Langetental										Rothtal		Oenztal					westl. Aare				
	Langenthal - Brunnenrain	Langenthal - Hard	Leimiswil	Walterswil	Oeschenbach	Dürrenroth	Oberwald	Huttwil	Eriswil	Chipferweid:: P	Sennjögge P	Melchnau - Grosszelg	Fischbach	Stauffenbach	Steinhof	Wynigen	Ferrenberg	Berken	Riedtwil P	Juchten P	Wolfsberg	Attiswil
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
1	○	+	+	×	+	●	●	●	●	+	+	●	+	+	+	●	○	+	+	+	+	●
2		○			+	●	+	●	+	+	○	●	○	+	○	+	○	+	+	+	+	●
3			○			●	+	+	+	○	○	●	○	+	○	+	○	○	○	○	+	●
4				○		●	+	+	+	○	○	●	○	+	○	+	○	○	○	○	+	●
5					×	●	+	+	+	○	○	●	○	+	○	+	×	●	×	×	×	●
6						○	+	+	+	○	+	●	○	+	○	+	+	○	○	○	+	●
7							+	+	+	○	+	●	○	+	○	+	+	○	○	○	+	●
8								●	●	+	●	●	+	+	+	+	+	+	+	+	●	×
9									●	+	●	●	+	+	+	+	+	+	+	+	●	×
10										+	+	●	+	+	+	+	+	+	+	+	●	●
11											+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
12												+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	●
13													●	+	+	+	+	+	+	+	+	×
14														○	+	+	+	+	+	+	+	●
15															○	+	+	+	+	+	+	●
16																+	+	○	○	+	+	●
17																	+	○	○	+	+	×
18																	●	+	+	+	+	+
19																			+	+	+	●
20																				+	+	●
21																					+	●
22																						●

Tabelle 5 Kumulative Niederschläge der Station Steinhof und der Vergleichsstationen

Jahr	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.
Mittlere Niederschlagshöhe der Vergleichsstationen (mm)												
1970	20	107	170	220	465	544	701	805	918	1020	1196	1251
1971	1326	1413	1440	1488	1534	1576	1631	1708	1900	1980	2125	2180
1972	2215	2307	2338	2358	2384	2421	2523	2631	2812	2945	3012	3050
1973	3102	3340	3377	3407	3483	3506	3597	3685	3848	4013	4078	4150
Niederschlagshöhen Steinhof												
1970	14	106	157	210	478	552	705	802	911	1003	1187	1231
1971	1296	1385	1419	1468	1509	1550	1596	1691	1900	1973	2132	2192
1972	2234	2324	2354	2379	2403	2444	2491	2587	2778	2968	3014	3043
1973	3097	3308	3357	3367	3414	3427	3491	3572	3698	3858	3940	4023

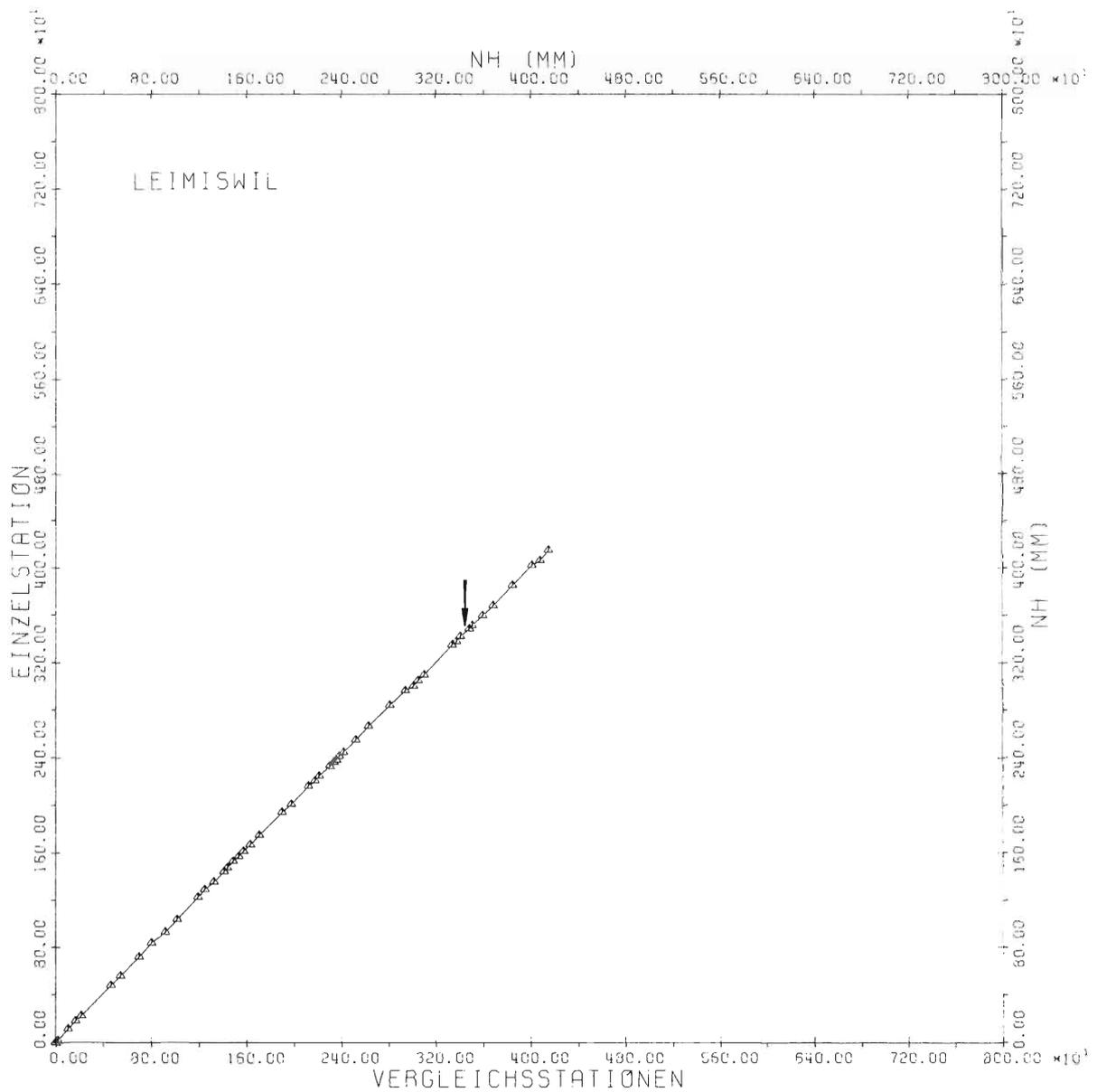


Abb.13 Doppelsummenanalyse für Niederschlagsstation «Leimiswil»
 Die Versetzung der Station im Februar 1973 hat keine Veränderung des Stationsniederschlags zur Folge

↓ Zeitpunkt der Versetzung der Station
 NH Kumulative Niederschlagshöhe über 4 Jahre

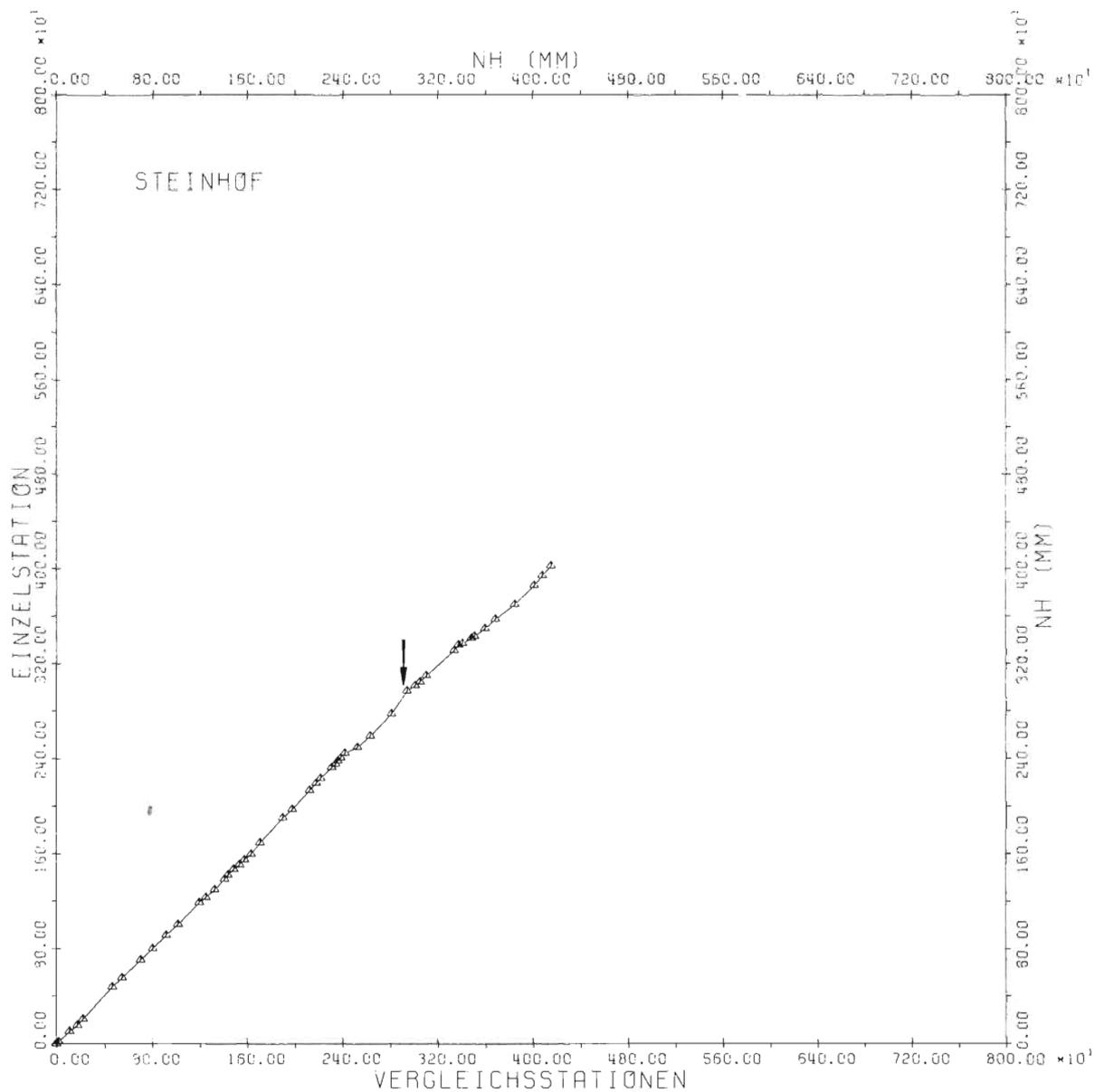


Abb. 14 Doppelsummenanalyse für Niederschlagsstation «Steinhof»

Die Versetzung der Station im Juli 1972 hat einen veränderten Stationsniederschlag zur Folge

↓ Zeitpunkt der Versetzung der Station

NH Kumulative Niederschlagshöhe über 4 Jahre

Tabelle 6 Gemessene und korrigierte Niederschlagswerte der Station Steinhof
Die gemessenen Werte sind nach der Methode der Doppelsummenanalyse korrigiert

	gemessene Werte	korrigierte Werte
September 1972	29	38
Oktober 1972	54	52
November 1972	211	238
Dezember 1972	49	37
Januar 1973	10	30
Februar 1973	47	76
März 1973	13	23
April 1973	64	92
Mai 1973	81	88
Juni 1973	126	163
Juli 1973	161	166
August 1973	81	65
September 1973	83	73
	1009	1141
		$\triangleq + 132 \text{ mm } \triangleq + 11,6\%$

Die Messungen erfolgten je nach Art der Messgeräte. Das «Grundgerät» unseres Messnetzes ist der Monatstotalisator vom Typ MZA (Abb. 15). Zur Errechnung der jährlichen Gebietsmittel wurden nach Möglichkeit die Totalisatorenwerte beigezogen. Der Monatstotalisator wurde im Normalfall monatlich auf den Millimeter genau abgelesen. Dazu kamen einzelne Zwischenmessungen in kürzeren Zeitabständen.

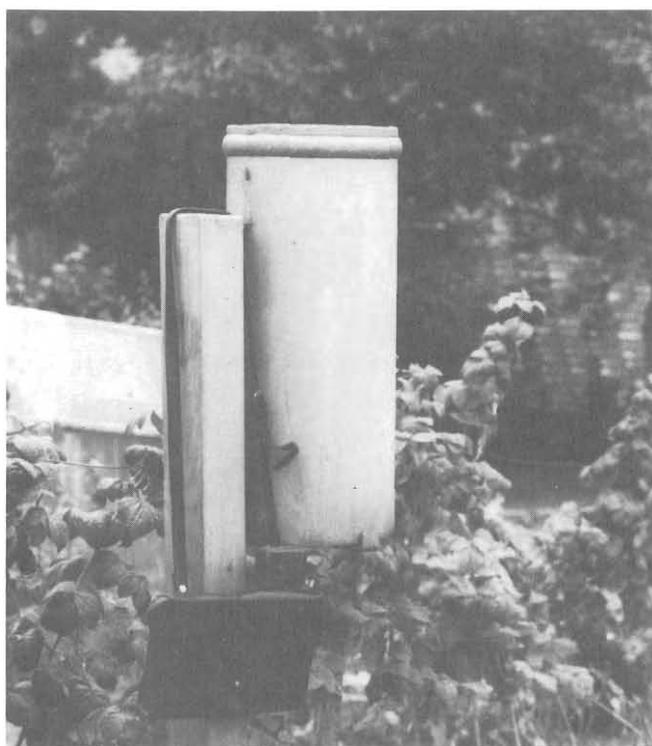


Abb. 15 Monatstotalisator Station Walterswil. Typ MZA mit horizontaler Auffangfläche 1,50 m über Boden.

Der Problematik der Bestimmung des Gebietsniederschlages sind wir uns bewusst. Bei der Standortwahl haben wir uns von den bisherigen eigenen und publizierten Erfahrungen leiten lassen (LUETSCHG 1945, SEVRUK 1973, STORR and FERGUSON 1972).

Von der Fragestellung her interessiert uns am Parameter Niederschlag der hydrologisch wirksame Niederschlag in seiner Gesamtheit, hier als Gebietsniederschlag bezeichnet. In diesem Sinne haben wir auch die Resultate der Messungen mit verschiedenen Geräten untersucht. Wir sind zum Schluss gekommen, dass einmal der verwendete Monatstotalisator die zuverlässigsten Resultate liefert, zum andern aber das Datenmaterial noch zu klein ist, um endgültige Aussagen machen zu können. Die Zuverlässigkeit beruht auf der Einfachheit des Messgerätes. Der Monatstotalisator ist im Betrieb nur

Tabelle 7 Niederschlags-Jahressummen und Periodenmittel (mm)

Station	hydrologische Jahre (1. Oktober–30. September)					Mittel 1969–73	Mittel 1970–73
	1969	1970	1971	1972	1973		
Melchnau-Grosszelg	*926	1307	894	786	1124	1007	1028
Melchnau-Festi	–	–	–	816	1155	–	–
Fischbach	*824	997	916	748	997	896	915
Grunholz-Roggwil	–	–	–	–	973	–	–
Langenthal-Hard MT	924	1195	877	834	1087	983	998
Langenthal-Hard JT	840	1110	800	803	920	895	908
Langenthal-Hard P	771	1056	890	857	989	913	948
Langenthal-Brunnenrain	1022	1269	893	855	1159	1040	1044
Leimiswil	930	1294	916	843	1098	1016	1038
Huttwil	901	1190	954	863	1012	984	1005
Oeschenbach	*928	1203	957	787	900	955	962
Walterswil	901	1285	941	891	1213	1046	1083
Dürrenroth	1023	1365	1025	948	1188	1110	1132
Sennjögge MT	923	–	–	–	–	–	–
Sennjögge P	960	1298	892	912	1161	1045	1066
Eriswil	946	1353	970	918	1068	1051	1077
Oberwald	*1018	1367	972	1071	1092	1104	1126
Chipferweidli MT	–	–	–	1220	1476	–	–
Chipferweidli P	1255	1699	1149	1132	1337	1314	1329
Berken	*930	1269	872	841	1055	993	1009
Riedtwil P	922	1155	846	753	1069	949	956
Wynigen	961	1168	887	814	1053	977	981
Stauffenbach	960	1257	972	915	1141	1049	1071
Steinhof	930	1231	961	851	980	991	1006
Juchten P	855	1010	882	857	1006	922	939
Ferrenberg	877	1134	918	857	1172	992	1020
Attiswil P	*950	1322	937	788	1196	1039	1061
Oensingen P	*914	1291	892	854	1048	1000	1021
Wolfisberg	*877	1160	804	890	1063	959	979
Schwengimatt	*1069	1420	1030	1030	1290	1168	1193

* extrapolierte Werte

minimal störanfällig. Die hier angeschnittene Problematik war Gegenstand mancher Untersuchung (SEVRUK 1973, HAUPT 1972). Die einzelnen Autoren kamen dabei zu sehr verschiedenen Resultaten. Die Beiträge der Fachleute aus aller Welt am Geilo Symposium 1972 in Norwegen (WMO/OMM Nr. 326) verstärken diesen Eindruck.

Zur Errechnung der Niederschlags-Gebietsmittel als einer hydrologischen Grundgrösse gehen wir von den einzelnen Jahreswerten aus. In Tabelle 7 sind die Jahreswerte der einzelnen Stationen zusammengestellt. Für die Monatstotalisatoren sind es aufsummierte Monatswerte, für die übrigen Messgeräte aufsummierte Tageswerte. Diese Tabelle enthält die Werte sämtlicher Stationen des Untersuchungsgebietes, auch jene, wie beispielsweise die des Jahrestotalisators Langenthal-Hard, die zur Errechnung der Gebietsmittel nicht verwendet wurden.

Eine mehrheitlich schwache Korrelation gegenüber den übrigen Stationen weisen nur die Messstellen Oeschenbach, Oberwald, Eriswil, Fischbach und Attiswil auf. Zur Korrektur (vgl. Tabelle 4) von Niederschlagsdaten wurden nur jene Stationswerte mit $r \geq 0,900$ verwendet.

Tabelle 8 Verwendete Niederschlagswerte für die Niederschlagskarten

Station	1969 *	1970 *	1971 *	1972 *	1973 *	
Grunholz	—	—	—	—	973	
Langenthal-Hard T	924	1195	877	834	1087	
Langenthal-Brunnenrain	1022	1269	893	855	1159	
Leimiswil	930	1294	916	843	1098	
Walterswil	901	1285	941	891	1213	
Oeschenbach	928	1203	957	787	900	
Dürrenroth	1023	1365	1025	948	1188	
Oberwald	1018	1367	972	1071	1092	
Eriswil	946	1353	970	918	1068	
Huttwil	901	1190	954	863	1012	
Chipferweidli	1342	1835	1241	1223	1507	
Sennjöggel	960	1298	892	912	1161	
Affoltern i. E.	972	1166	928	895	1021	
Mittel	989	1318	964	920	1114	
Berken	930	1269	872	841	1055	
Steinhof	930	1231	961	851	980	
Stauffenbach	960	1257	972	915	1141	
Riedtwil	922	1155	846	753	1069	
Juchten	855	1010	882	857	1006	
Wynigen	961	1168	887	814	1053	
Ferrenberg	877	1134	918	857	1172	
Herzogenbuchsee	892	1116	849	788	1037	
Mittel	916	1168	898	835	1064	
Melchnau	926	1307	894	801	1124	
Fischbach	824	997	916	748	997	
St. Urban	963	1289	977	935	1137	
Mittel	904	1198	929	828	1086	
Gesamtmittel:						
	$\frac{\sum 23 \text{ Stationen}}{23} =$	952	1250	937	878	1094

* hydrologische Jahre vom 1. Oktober – 30. September

Tabelle 9 Niederschlagswerte der MZA-Stationen
Jahressummen und Periodenmittel (mm)

Station	1969*	1970*	1971*	1972*	1973*	Mittel 1969–73*	Mittel 1970–73*
Weissenstein	1187	1777	1195	1079	–		
Solothurn	1024	1330	876	761	1126	1023	1023
Burgdorf	798	1044	862	777	1022	901	926
Gerlafingen	962	1294	850	836	1077	1004	1014
Riedholz	1263	1621	1006	846	1304	1208	1194
Oeschberg	913	1106	793	808	1042	932	937
Affoltern i. E.	972	1166	928	895	1021	996	1003
Herzogenbuchsee	892	1116	849	788	1037	936	948
Chipferweidli	–	–	–	1220	1476	–	–
Ahorn	–	–	–	1343	1500	–	–
St. Urban	963	1289	977	935	1137	1060	1085
Luthern	1316	1716	1212	1188	1360	1358	1369
Zofingen	895	1211	898	832	1083	984	1006
Herbetswil	–	–	926	835	1168	–	–
Balsthal	890	1068	856	760	984	912	917

* hydrologische Jahre

Die Tabelle 8 enthält die Resultate der Stationen des Untersuchungsgebietes, die zur Erstellung der Niederschlagskarten beigezogen wurden. In Tabelle 9 sind die zur Erstellung der Niederschlagskarten verwendeten Daten von Stationen aus den Nachbargebieten zusammengestellt. Gemäss unserer oben begründeten Ansicht, dass von den mit verschiedenen Apparaten ermittelten Werten die der Monatstotalisatoren die sichersten sind, wurden in erster Linie diese Werte verwendet. Die Monatswerte der einzelnen Stationen sind in Tabellenform im Anhang zusammengestellt. Die Tabellen der Tagesniederschläge der Pluviographenstationen finden sich ebenfalls im Anhang.

4.1.2. Niederschlagskarten und Gebietsmittel

Entsprechend den einzelnen Stationswerten (Tab. 8 und 9) wurden die Isohyeten konstruiert. Das relativ dichte Messnetz erlaubt eine einigermassen sichere Konstruktion der Niederschlagskarten. Es ist aber gerade die Dichte des Netzes, die in einzelnen Jahren zu einer feineren Differenzierung der einzelnen Niederschlagshöhenflächen führt. Aus den in den vorangehenden Kapiteln diskutierten Problemen bezüglich der Sicherheit der Resultate lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

Wenn möglich sind Monatstotalisatorenwerte (MT-Werte) zu verwenden. Die Umrechnung von Werten, die aus Stationen stammen, die nicht mit einem Monatstotalisator bestückt sind auf Monatstotalisatorenwerte, sind nur in einzelnen begründeten Fällen möglich. Daraus ergeben sich für die Verwendung der Werte die nachstehenden Konsequenzen:

1. Die Pluviographen- und MZA-Werte werden dort miteinbezogen, wo keine Monatstotalisatorenwerte vorliegen.
2. Die Pluviographen- und MZA-Werte werden trotz wahrscheinlicher Differenzen zu den Monatstotalisatoren-Messungen unkorrigiert verwendet, da sich keine einheitliche Beziehung ermitteln lässt. Ausgenommen davon ist die Station Chipferweidli, wo eine deutliche Beziehung zwischen Monatstotalisatoren- und Pluviographenwerten besteht. Die Pluviographenwerte sind auf die Monatstotalisatorenwerte umgerechnet.
3. Von nahegelegenen Stationen (Entfernung bis einige hundert Meter) wurde das Mittel gebildet und als gültiger Wert eingesetzt.

Periode der hydrologischen Jahre 1969–1973 (Abb. 16): Die Periodenkarte gibt die grossen Züge des Niederschlagsgeschehens im Oberaargau wieder. Während nördlich einer Linie Wynigen–Huttwil die Isohyeten allgemein Nord–Süd verlaufen, drehen sie südliche der genannten Linie gegen SW–NE. Das heisst, dass in den tieferen Regionen die Niederschlagshöhe unabhängig von der Meereshöhe von West nach Ost variiert. Dagegen steigt mit dem Napfmassiv-Anstieg auch der Niederschlag beträchtlich an. Deutliche Luv- oder Lee-Einflüsse sind nicht feststellbar. Dass aber zur Erklärung der teilweise grossen Differenzen zwischen benachbarten Stationen in dieser Richtung gesucht werden muss, zeigt die Tatsache, dass von den Stationen mit relativ tiefen Werten vier luvseitig stehen. Die Frage des Einflusses eines luv- oder leeseitigen Standortes muss in einer speziellen Untersuchung angegangen werden. Der Regel, dass mit zunehmender Höhe der Niederschlag ansteigt, folgt teilweise auch der Jura-Südhang. Allerdings sind hier im Raume Wolfisberg–Klus noch Lee-Einflüsse vorhanden.

Als markante Stellen schälen sich die «Tröckeninseln» von Fischbach, Huttwil und Juchten-Herzogenbuchsee heraus. Wie weit für die einzelnen Besonderheiten lokale Einflüsse verantwortlich sind, lässt sich nur schwer ermitteln.

Hydrologisches Jahr 1969 (Abb. 17): Die Karte ist nur für das engere Untersuchungsgebiet gezeichnet, da das Messnetz westlich der Aare erst im Laufe des Jahres aufgebaut werden konnte. In den Grundzügen entspricht die 69er Karte jener der fünfjährigen Periode 1969–1973. Die «Tröckeninseln» in den Räumen Fischbach, Huttwil, Oeschenbach–Ferrenberg–Juchten und Herzogenbuchsee zeichnen sich bereits ab.

Hydrologisches Jahr 1970 (Abb. 18): Erstmals wird auch das oberaargauische Gebiet westlich der Aare behandelt. Die hier sichtbaren Grundzüge bleiben auch in den folgenden Jahren erhalten. Wiederum grundsätzlich ähnliche Struktur wie in der Periodenkarte. Die Station Oeschenbach fällt jedoch weniger stark ab.

Hydrologisches Jahr 1971 (Abb. 19): Dieses Jahr weist einen etwas andersartigen Aufbau gegenüber der Periodenkarte auf. Im Langetetal laufen die Isohyeten mehrheitlich quer zum Tal, im Gegensatz zum sonst üblichen Längsverlauf. Die Räume Ferrenberg und Fischbach bilden ausnahmsweise keine ausgesprochenen «Tröckeninseln».

Hydrologisches Jahr 1972 (Abb. 20): Im allgemeinen normaler Verlauf der Isohyeten. Auffallend ist das starke Niederschlagsgefälle im Raum Stauffenbach–Oeschenbach.

Hydrologisches Jahr 1973 (Abb. 21): Dieses Jahr zeichnet sich durch grosse Unterschiede zwischen den einzelnen Stationen aus. Besonders auffallend ist das sehr starke Gefälle zwischen den benachbarten Stationen von Oeschenbach und Walterswil. Durch den Einbezug der neuen Station im Grunholz erscheint eine neue «Tröckeninsel» im untersten Langete- und Rothtal.

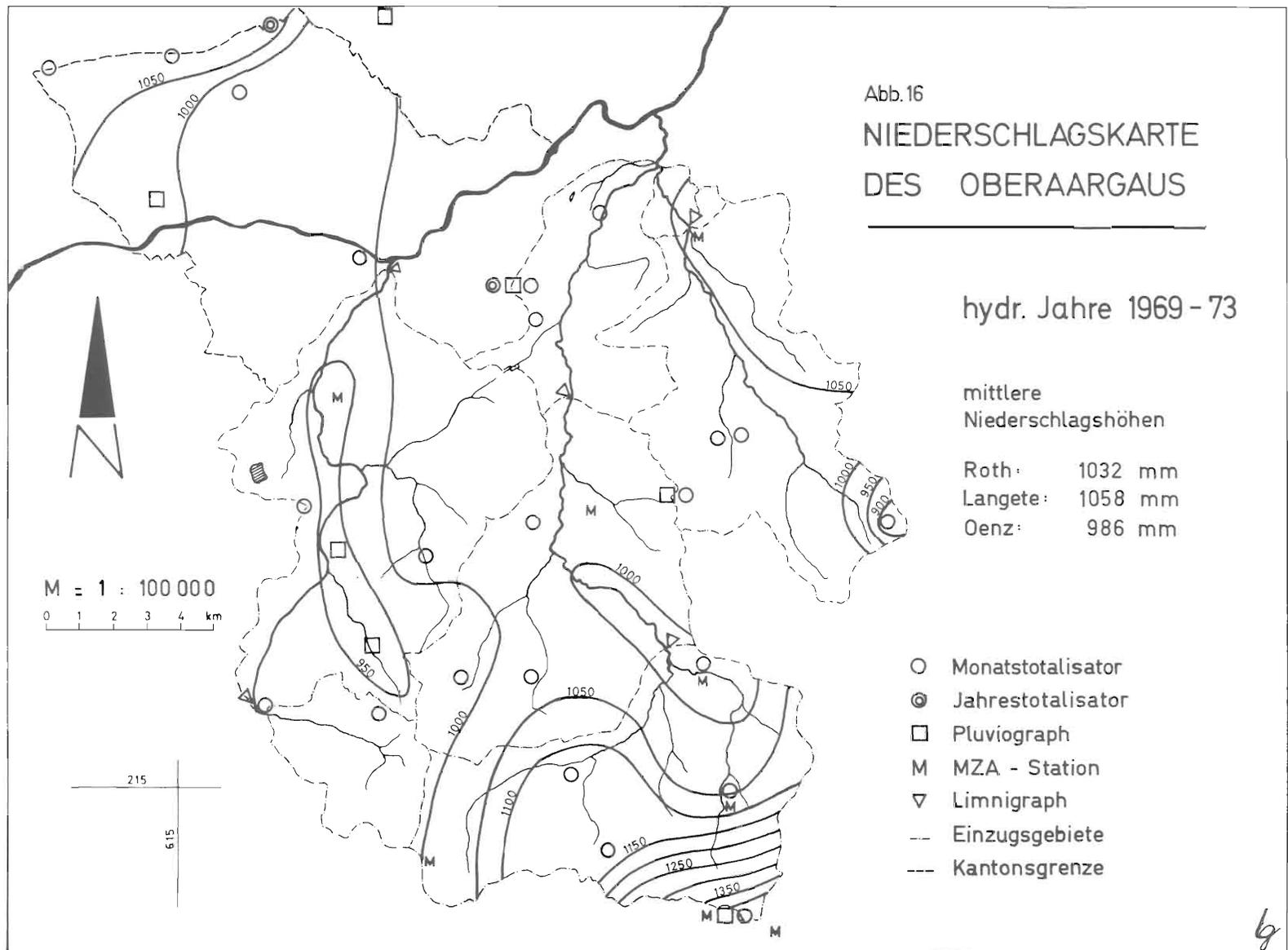


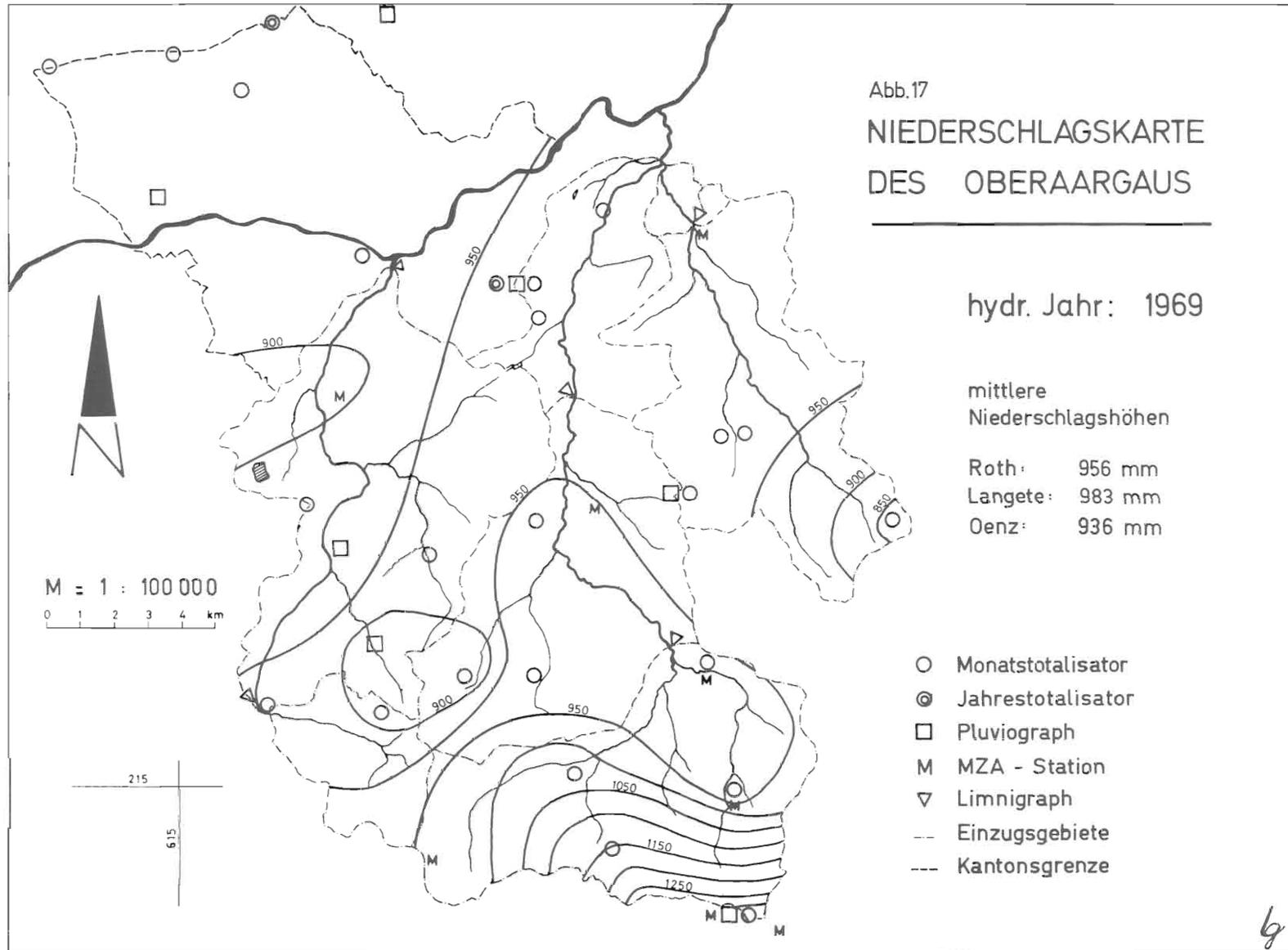
Abb.16
**NIEDERSCHLAGSKARTE
 DES OBERAARGAUS**

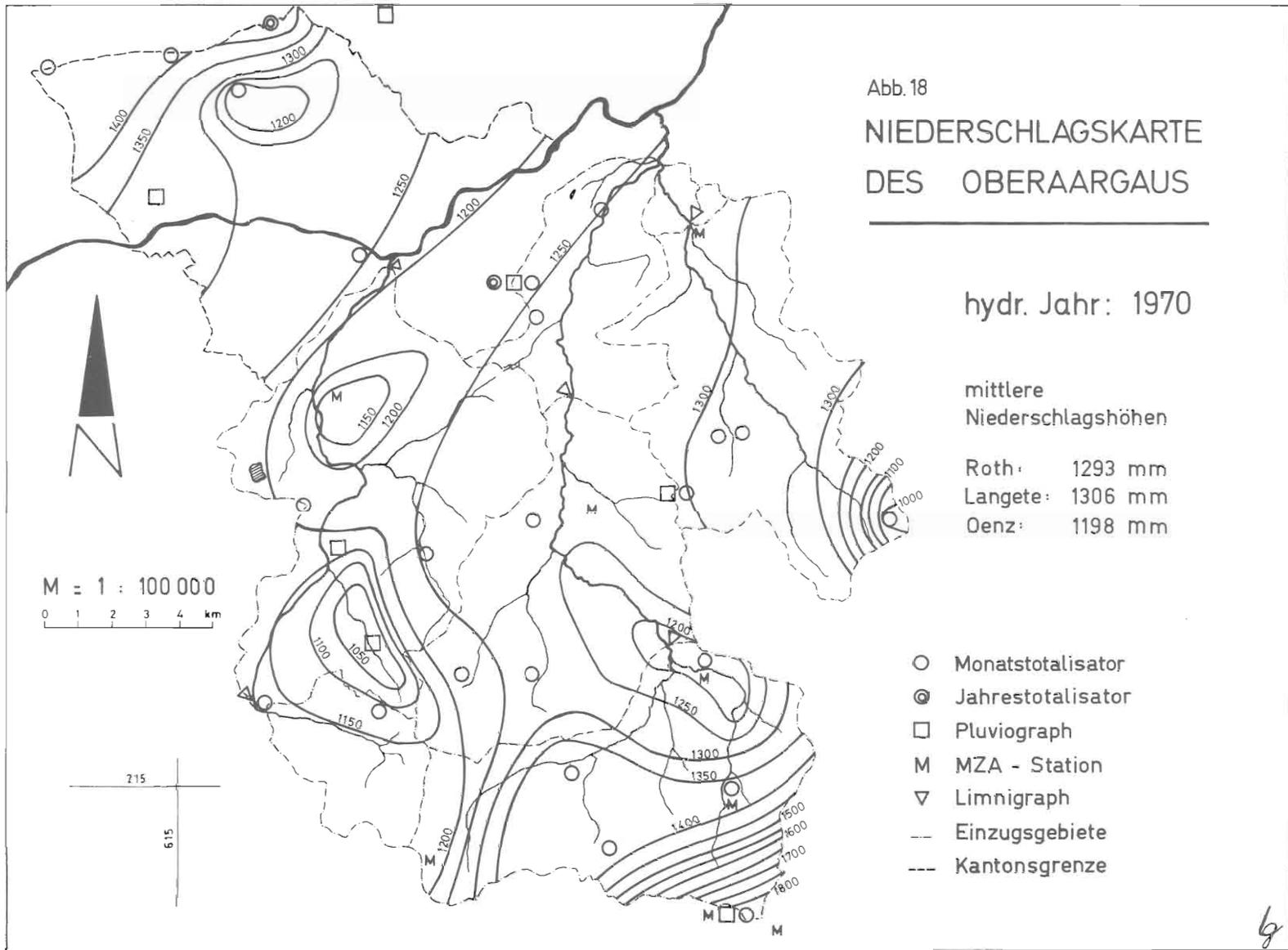
hydr. Jahre 1969 - 73

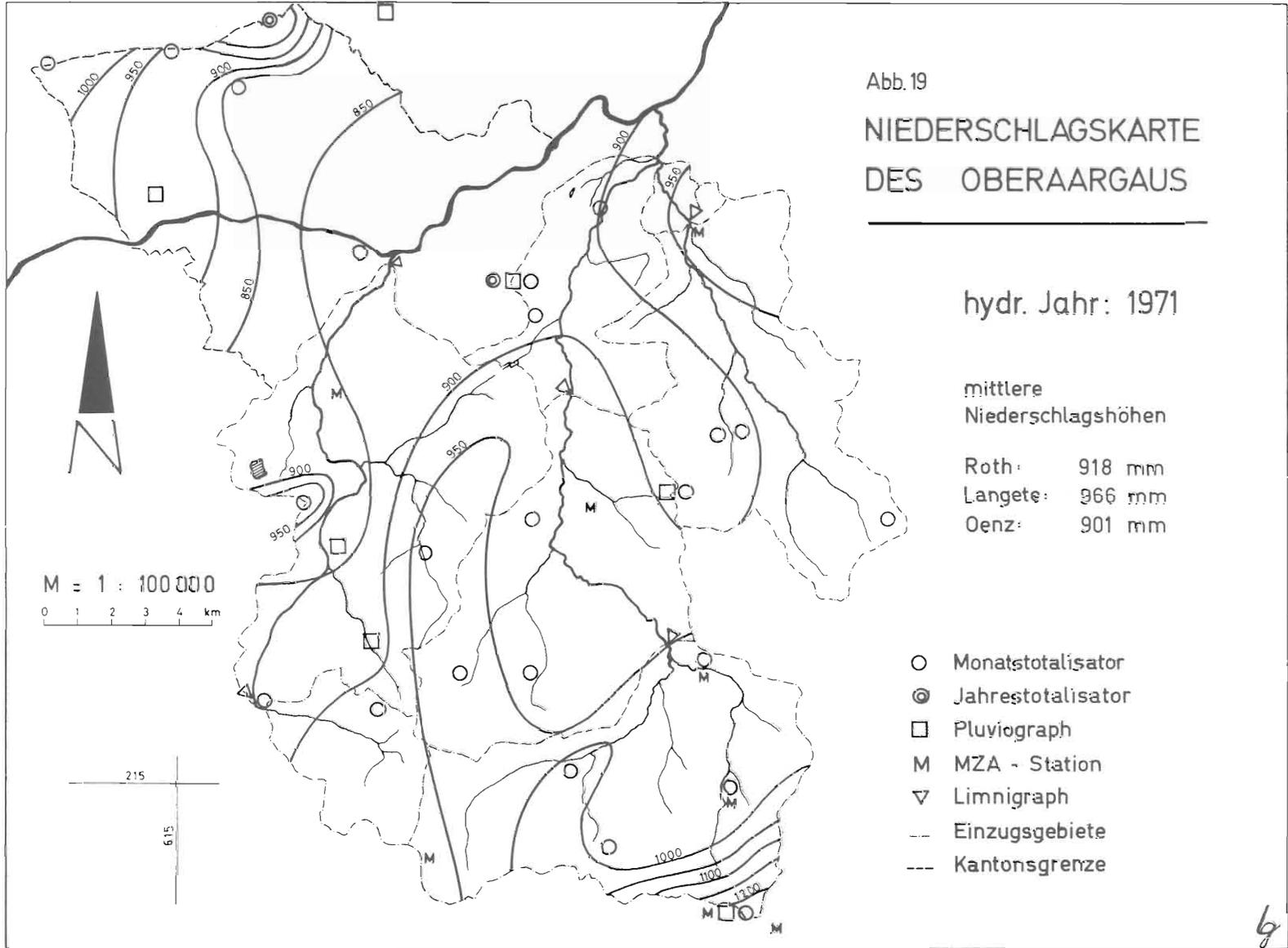
mittlere
 Niederschlagshöhen

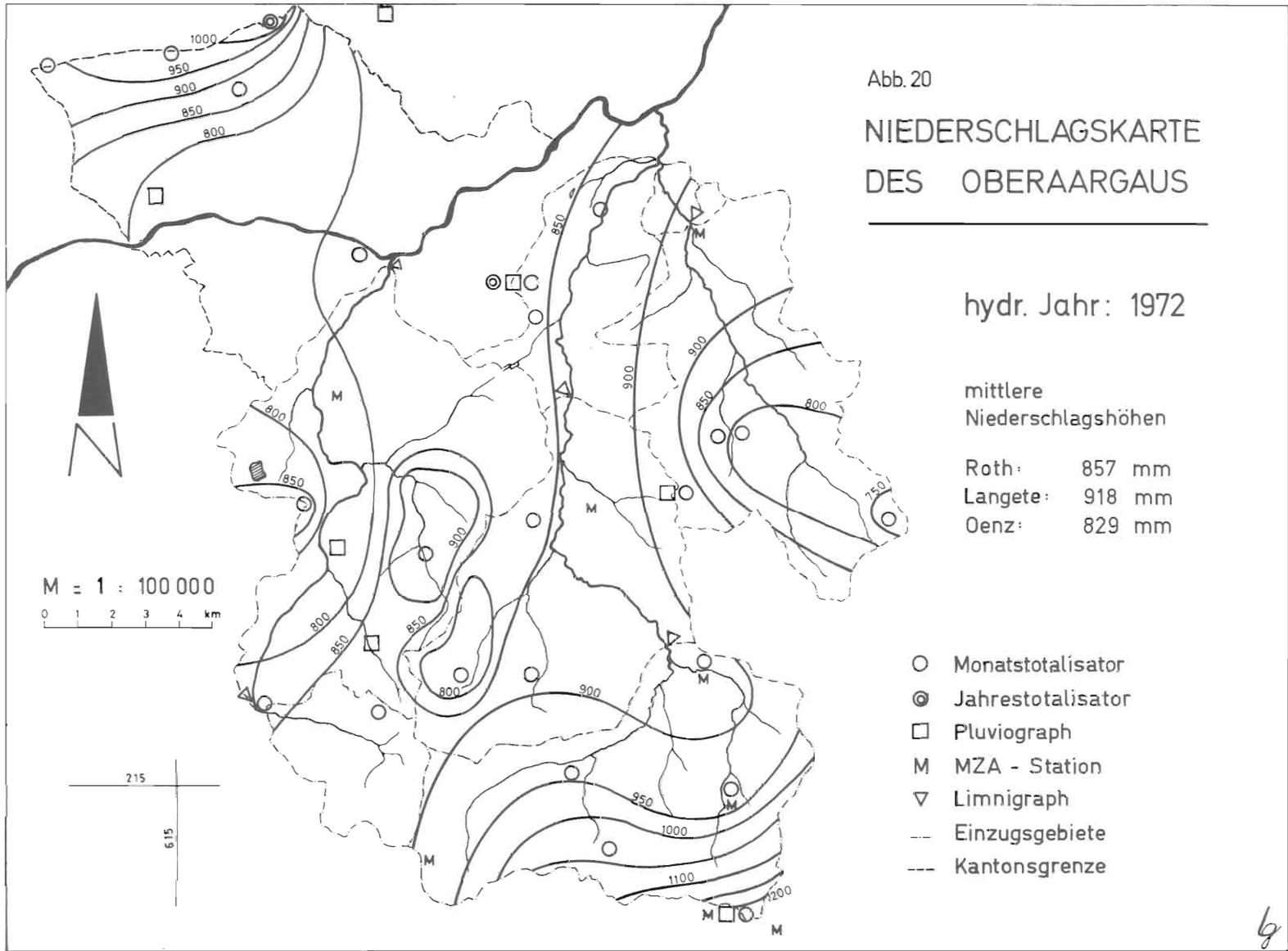
Roth:	1032 mm
Langete:	1058 mm
Oenz:	986 mm

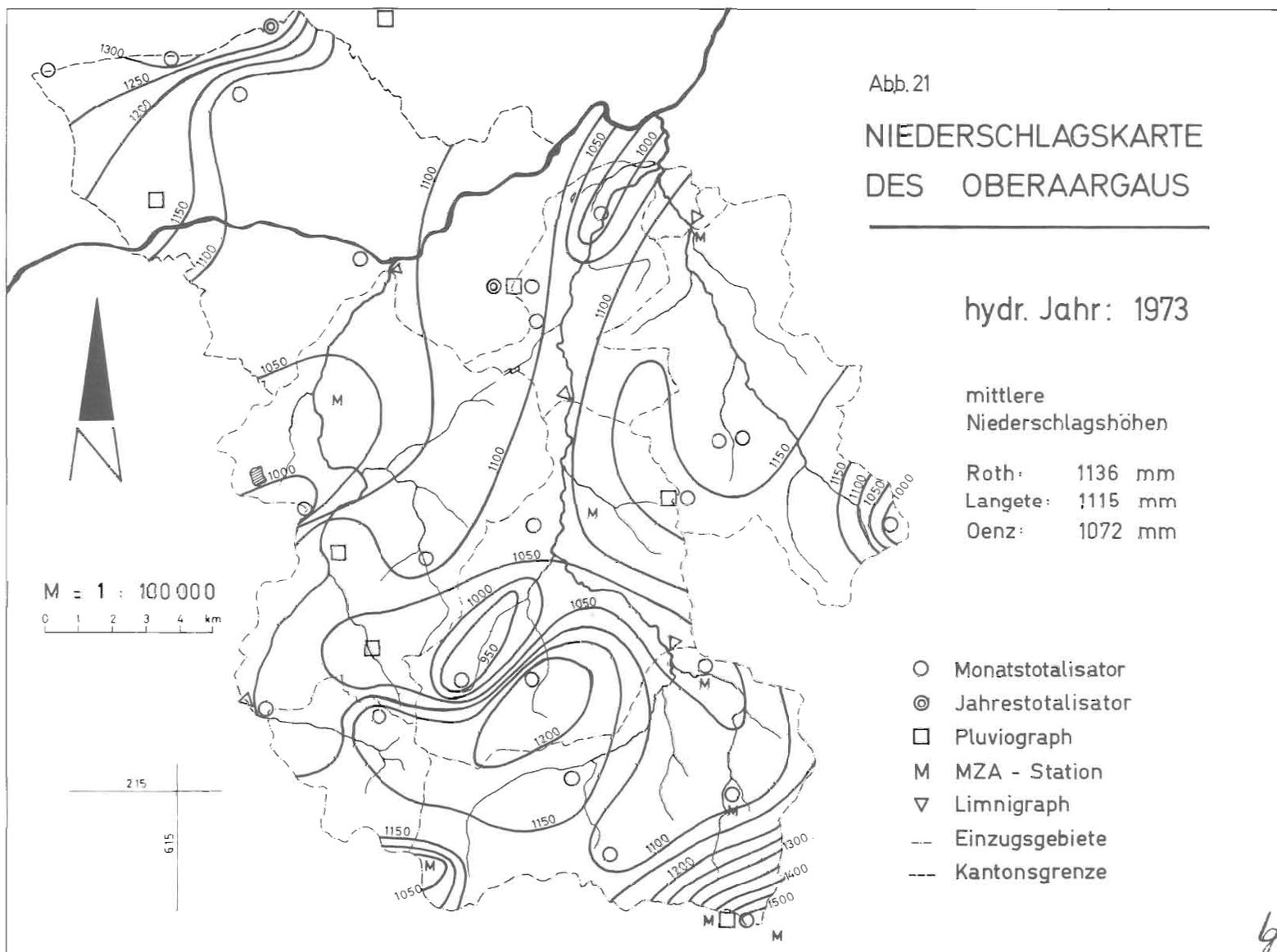
- Monatstotalisator
- ⊙ Jahrestotalisator
- Pluviograph
- M MZA - Station
- ▽ Limnigraph
- Einzugsgebiete
- .-.- Kantonsgrenze











Zum Problem der lokalen Einflüsse auf den gemessenen Niederschlagswert möchten wir folgende Bemerkungen anbringen:

Der MZA-Wert von St. Urban sollte mit am selben Platz gemessenen Monatstotalisatorenwerten verglichen werden können, da er im Vergleich mit andern Werten für dieses Gebiet etwas hoch liegt. Die umgekehrt als tief eingestuften Werte von Herzogenbuchsee und Affoltern gewinnen durch die ausgewiesene Trockenzone westlich der 1000-mm-Isohyete auf der Periodenkarte stark an Glaubwürdigkeit als repräsentative Gebietswerte. Da in der genannten Trockenzone mit verschiedenen Geräten gemessen wird und die Expositionen ganz verschieden sind, müssen lokale Einflüsse weitgehend ausgeschlossen werden. Die von BINGGELI (1974) für die zehnjährige Periode 1959–1968 nachgewiesene Ausweitung der Huttwiler Trockeninsel bis in den Raum Eriswil ist in unserer Periode nicht festzustellen.

Als fraglich erachten wir den in Fischbach gemessenen tiefen Wert. Durch seinen Standort auf der sehr windexponierten Hochflächenkante des Bodenberges könnte ein Teil des Niederschlages über den Totalisator weggeweht werden (entsprechend Untersuchungen von KASSER [1954]).

Die räumliche Verteilung des Niederschlages folgt den in der Uttinger'schen Karte (UTTINGER [1949]) gezeigten grossen Linien. Übereinstimmend zeigen beide Karten den Niederschlagsanstieg gegen das Napfmassiv, die Trockeninsel um Huttwil, den SW-NE-Verlauf des Isohyeten im tiefern Oberaargau und die Trockenhalbinsel der Klus (Oensingen–Balsthal).

Abgesehen von jährlich wechselnden Details stimmt die neue Niederschlagskarte 1969–1973 auch mit jenen von BINGGELI (1974) für die Periode 1959–1968 gezeichneten (nur Langetetal) überein. Einzig die neuen Stationen Oeschenschbach und Oberwald haben die Verteilungsverhältnisse etwas kompliziert.

4.1.3. Gebiets- und Teilgebietsniederschläge

Die Gebietsmittel wurden planimetrisch aus den Niederschlagskarten ermittelt. Für jedes der fünf Jahre und die Periode 1969–1973 wurde eine Karte erstellt. Errechnet wurden die Gebietsmittel nur für die drei Flussgebiete Roth, Langete und Oenz, jedoch nicht für das Gebiet westlich der Aare und die nicht zu den drei Flussgebieten gehörenden Teile östlich der Aare. Da in diesen letztgenannten Teilen keine hydrologische Bilanzen aufgestellt werden sollen, erübrigt sich die Bestimmung des Gebietsniederschlags.

Wenn im folgenden vom Gebietsniederschlag der Flussgebiete gesprochen wird, beziehen sich die Zahlen (Angaben in den Niederschlagskarten) auf folgende Teile der Einzugsgebiete:

Roth = R_1
Langete = L_1 und L_2
Oenz = O_2
(vgl. Abb. 1)

Die Werte beziehen sich also auf die engeren Einzugsgebiete, die unten durch eine Abflusstation begrenzt sind und in denen bilanzmässig gearbeitet werden kann.

In Tabelle 10 sind die Gebietsmittel zusammengestellt. Die Methode der Niederschlagskarten-Konstruktion hat sich in dieser fünfjährigen Periode als genügend objektiv erwiesen. Zu diesem Schluss kommen wir aus der Tatsache, dass die aus den einzelnen Jahresniederschlags-Karten errechneten Periodenmittel nur ganz unbedeutend (0–0,1%) von den aus der Periodenkarte ermittelten Mittelwerten.

Tabelle 10 Niederschlagsgebietsmittel der Flussgebiete Roth, Langeten und Oenz

Flussgebiete	1969	1970	1971	1972	1973	arithm. Mittel 1969–73	Mittel NK* 1969–73	arithm. Mittel 1970–73	Mittel NK* 1970–73
Roth	956	1293	918	857	1136	1032	1032	1051	1050
Langete-Lotzwil	983	1306	966	918	1115	1058	1058	1076	1075
Oenz	936	1198	901	829	1072	987	986	1000	1000
Mittel Roth, Langeten und Oenz	958	1266	928	868	1108	1026	1025	1042	1042

* nach der Isohyetenmethode planimetrisch ermittelt aus Niederschlagskarten (mm)

abweichen. Dabei ist zu beachten, dass jede einzelne Karte einer eigenen Konstruktion bedarf. Eine Gegenüberstellung der arithmetischen Mittel (vgl. Tabelle 11) mit den Periodenwerten aus der Niederschlagskarte 1969–1973 für das Gesamtgebiet zeigt folgendes Bild:

	Methode der arithm. Mittel der einzelnen Stationen	Isohyetenmethode		Differenz in %
1969	952	958	=	+ 0,6
1970	1250	1266	=	+ 1,3
1971	937	928	=	- 1,0
1972	878	868	=	- 1,1
1973	1088	1108	=	- 1,3

Mit $\pm 1,3\%$ Abweichung vom Isohyetenmethodenwert liegen die rechnerisch bestimmten Werte sehr gut. Für praktische Zwecke ist daher eine direkte Verwendung der Niederschlagsdaten zur Errechnung der Gebietsmittel denkbar. Dieses Resultat zeigt auch, dass die Verteilung der Messstationen im Gebiet gut ist.

4.1.4. Vergleichende Gegenüberstellung der Niederschlagswerte der drei Flussgebiete

Die Beziehung zwischen den einzelnen Gebieten ist für die Jahreswerte erwartungsgemäss recht konstant. Mit einer Ausnahme erhält die Roth einerseits weniger Niederschlag als die Langete, andererseits mehr als die Oenz. 1973 erhielt die Roth einige Prozente mehr Niederschlag als die Langete. Die Korrelationsfaktoren betragen:

Roth / Langete $r = 0,991^{***}$

Roth / Oenz $r = 0,998^{***}$

Langete / Oenz $r = 0,985^{***}$

Theoretisch wäre es also möglich, den Gebietsniederschlag aller drei Flussgebiete von einem der drei herzuleiten. Bei bekanntem Gebietsniederschlag der Roth (interpoliert aus vier Stationen auf der Grundlage der fünfjährigen Verteilung 1969–1973) könnten mit Hilfe der gefundenen Regressionsgleichungen die Gebietsniederschläge von Langete und Oenz berechnet werden. Die Beobachtungsperiode von fünf Jahren genügt aber bei weitem nicht, um diesen theoretischen Ansatz in die Praxis umzusetzen.

Es fällt auf, dass das Gebietsmittel der Roth recht nahe dem Gesamtgebietsmittel der drei Flussgebiete liegt. Es besteht eine Beziehung zwischen dem Gebietsniederschlag und der mittleren Höhe der Einzugsgebiete. Allerdings erhält das Oenzgebiet gemessen an der Meereshöhe zu wenig Nieder-

schlag. Keine Beziehung im Sinne einer guten Korrelation besteht zwischen den einzelnen Stationenwerten und der Meereshöhe. Die bereits von LUETSCHG (1945) gefundene und von BINGGELI (1974) für das Langetengebiet bestätigte Tatsache, dass Niederschlag und Meereshöhe nur bedingt gekoppelt sind, erweist sich auch für die oberaargauischen Täler als richtig. Der Korrelationsfaktor für 20 Stationen beträgt lediglich 0,619**. Nur an den beiden grossen Abdachungen, jener des Napfs und jener des Jura-Südhangs ist eine deutliche Zunahme des Niederschlages feststellbar.

Für verschiedene Fragestellungen in den folgenden Kapiteln interessiert der Gebietsniederschlag der Teileinzugsgebiete (TEG). Aus Tabelle 11 sind die einzelnen Jahreswerte und die Periodenmittel ersichtlich. Die relativ grossen Unterschiede der einzelnen TEG der Roth sind durch die Kleinheit von R_1 und R_2 bedingt, da hier nur der Wert von St. Urban bestimmend ist. Wie ersichtlich, sind denn auch die beiden TEG auf den Wert des Gesamtgebietes kaum wirksam.

Im Langetetal erhält das oberste Teileinzugsgebiet L_1 wesentlich mehr Niederschlag als das mittlere Teileinzugsgebiet L_2 . Die fallende Tendenz mit abnehmender Höhe hält auch beim untersten Teileinzugsgebiet L_3 an. L_2 , das in Grösse und Charakter mit R_1 verglichen werden kann, erhält mit 1017 mm einen recht ähnlichen Wert zu den 1032 mm im TEG R_1 der Roth. Im Oenzgebiet ist O_2 bestimmend für den Wert des Gesamtgebietes.

Tabelle 11 Niederschlags-Gebietsmittel der Teileinzugsgebiete (TEG)

TEG	1969	1970	1971	1972	1973	arithm. Mittel 1969–73	Mittel NK* 1969–73
R_1	956	1293	918	857	1136	1032	1032
R_2	975	1275	975	925	1125	1055	1075
R_3	975	1275	945	894	1103	1038	1040
R_{1+2}	957	1293	919	858	1136	1033	1033
R_{1+2+3}	957	1292	921	860	1134	1033	1033
L_1	1023	1352	995	964	1132	1093	1094
L_2	940	1255	935	866	1096	1018	1017
L_3	975	1264	895	868	1087	1018	1025
L_{1+2}	983	1306	966	918	1115	1058	1058
L_{1+2+3}	982	1298	953	909	1110	1050	1051
O_1	949	1163	916	875	1123	1005	975
O_2	936	1198	901	829	1072	987	986
O_{1+2}	938	1192	903	837	1081	990	984

* planimetrisch ermittelt aus Isohyetenkarten

4.1.5. Die Niederschläge der Messperiode und das langjährige Niederschlagsgeschehen

Mit Ausnahme der etwas stärker berechneten Napf- und Jurahänge erhält der grösste Teil des Oberaargaus nach der Niederschlagskarte von UTTINGER (1949) rund 1100 mm Niederschlag. Nach der Planimetrierung der Uttinger-Karte durch WALSER (1957) beträgt die Niederschlagshöhe für das Teilgebiet zwischen Brügg und Brugg (ohne Emme) 1150 mm. Diesen gleichen Wert erhält BINGGELI (1974) für die zehnjährige Periode 1959–1968 der Langete (L_{1+2}). Für unsere Fünfjahresreihe 1969–1973 resultiert ein Gebietsmittel (Langete L_{1+2}) von 1060 mm. Wenn wir die zwei niederschlagsarmen Jahre 1971 und 1972 in dieser nur fünfjährigen Periode berücksichtigen, fügt sich dieser Wert gut in die Reihe der frühern Werte ein.

Als Vergleichsbasis steht uns das Langetegebiet zur Verfügung. Da zwischen den drei Einzugsgebieten im Oberaargau aber bezüglich der Gebietsmittel über die Jahre eine enge Beziehung besteht, können die für die Langete gefundenen Werte auf die Nachbargebiete übertragen werden. Niederschlagsreichstes Jahr war 1970 mit 1306 mm, niederschlagsärmstes Jahr 1972 mit 918 mm (Langete). Damit beträgt der Minimumwert unserer Untersuchungsperiode gleichviel wie jener der Dekadenreihe von BINGGELI (1974) (1962 = 920 mm). Das Maximum von 1530 mm des Jahres 1965 wird jedoch bei weitem nicht erreicht. Dies bestätigt die Feststellung, dass die untersuchte Periode 1969–1973 leicht auf der trockenen Seite der langjährigen Reihe liegt.

Die Schwankungen der Niederschlags-Gebietsmittel der Extremjahre betragen:

	Min.		Max.		Schwankungsziffer
Langete	918 mm	} 1972	1306 mm	} 1970	1,42
Roth	857 mm		1293 mm		1,51
Oenz	829 mm		1198 mm		1,45

Die Schwankungsziffern sind gleich jenen der von BINGGELI (1974) für seine Periode angegebenen. In den sehr trockenen Jahren fallen rund Zweidrittel bis Dreiviertel des Niederschlages der nassen Jahre.

4.2. Oberirdischer Abfluss

4.2.1. Messnetz und methodische Hinweise

Mit Ausnahme der beiden Abflussstationen des Eidgenössischen Amtes für Wasserwirtschaft an der Langete musste dieser Teil des hydrologischen Messnetzes von Grund her aufgebaut werden. Ohne die beiden A+W-Stationen stehen im Untersuchungsgebiet heute zehn Limnigraphen-Abflussstationen. Weitere fünfzehn Abflussstellen wurden hydrometrisch geeicht und punktförmig gemessen. Aufbau und Eichung der Abflussstationen sind sehr arbeitsintensiv, doch kann nicht übersehen werden, dass gerade das persönliche Handanlegen beim Bau solcher Stationen eine Beziehung zu dem zu erforschenden Objekt schafft, die am Bürotisch nie erworben wird. Eine Beziehung, die Fehler bei der Messung und Auswertung vermeiden hilft und wohl auch zu jenem Verständnis führen kann, das allein uns Einblick in die Gesetze der Natur verschafft. Als Schüler von Professor Gygax waren für uns seine Ansichten über Standortwahl und Bau von Limnigraphenstationen massgebend. Seine reiche Erfahrung auf diesem Gebiet kam uns sehr zustatten. Weiter hielten wir uns an die Richtlinien des A+W (WALSER [1967]).

Im Langetetal standen die beiden Stationen des A+W von Lotzwil (A030) und Huttwil/Häberensbad (A035) zur Verfügung. Die Messungen wurden vom A+W erhoben (Abb. 22).

An der Roth wurde 1968 eine Abflussstation in St. Urban (A10) aufgebaut (Abb. 23). Aus dem gleichen Grunde wie im Langetetal (hydrologische Geschlossenheit) musste auch diese Station von der Mündung flussaufwärts verlegt werden. Die ausgewählte Stelle bewährte sich auch ohne Verbauung der Gerinnesohle sehr gut. Das Abflussprofil blieb über die ganze Messperiode konstant. Der frühere Wässergraben, der nördlich der Abflussstation parallel zur Roth entlangläuft, führt permanent einen recht konstanten Betrag Rothwasser an der Messstation vorbei. Da aus Kostengründen der Aufbau einer weiteren Limnigraphenstation unmöglich war, versuchten wir, die Grössenordnung des Abflusses mittels wöchentlicher Abstichmessungen (Eichung durch Flügelmessungen) zu bestimmen. In dieser Messung ist auch der Abfluss des Steinibächlis aus dem Einzugsgebiet R_2 enthalten.

Die Abflussmessstation an der Oenz (A70) konnte direkt vor der Mündung in die Aare aufgestellt werden. Mit der Aare-Verlegung für das Kraftwerk Neu-Bannwil wurde 1965 auch die Oenz korrigiert. Der künstliche Lauf vermag im Normalbett das Wasser bis zu einem hohen Mittelwasserstand zu fassen. Trotz der künstlichen Verbauung ist diese Messstelle wegen des starken Algenwachstums (infolge grosser Eutrophierung des Wassers) hydrometrisch schwer erfassbar.

Den drei Hauptstationen von St. Urban, Lotzwil und Berken, die den Gesamtabfluss aus den einzelnen Einzugsgebieten messen, konnte sukzessive ein untergeordnetes Netz von Abflussstationen zugesellt werden:

Ende 1970 wurden drei Limnigraphenstationen in der Brunnmatt-Roggwil aufgebaut. Damit liessen sich die grossen Grundwasserabflüsse in den drei Quellbächen Brunnbach (A51), Mattenbach (A52) und Bergbach (A53) bestimmen. Zur gleichen Zeit konnten fünf Stationen im «Testgebiet Grunholz» zur Bestimmung der Irrigationsmengen in den dortigen Wassermatten errichtet werden.

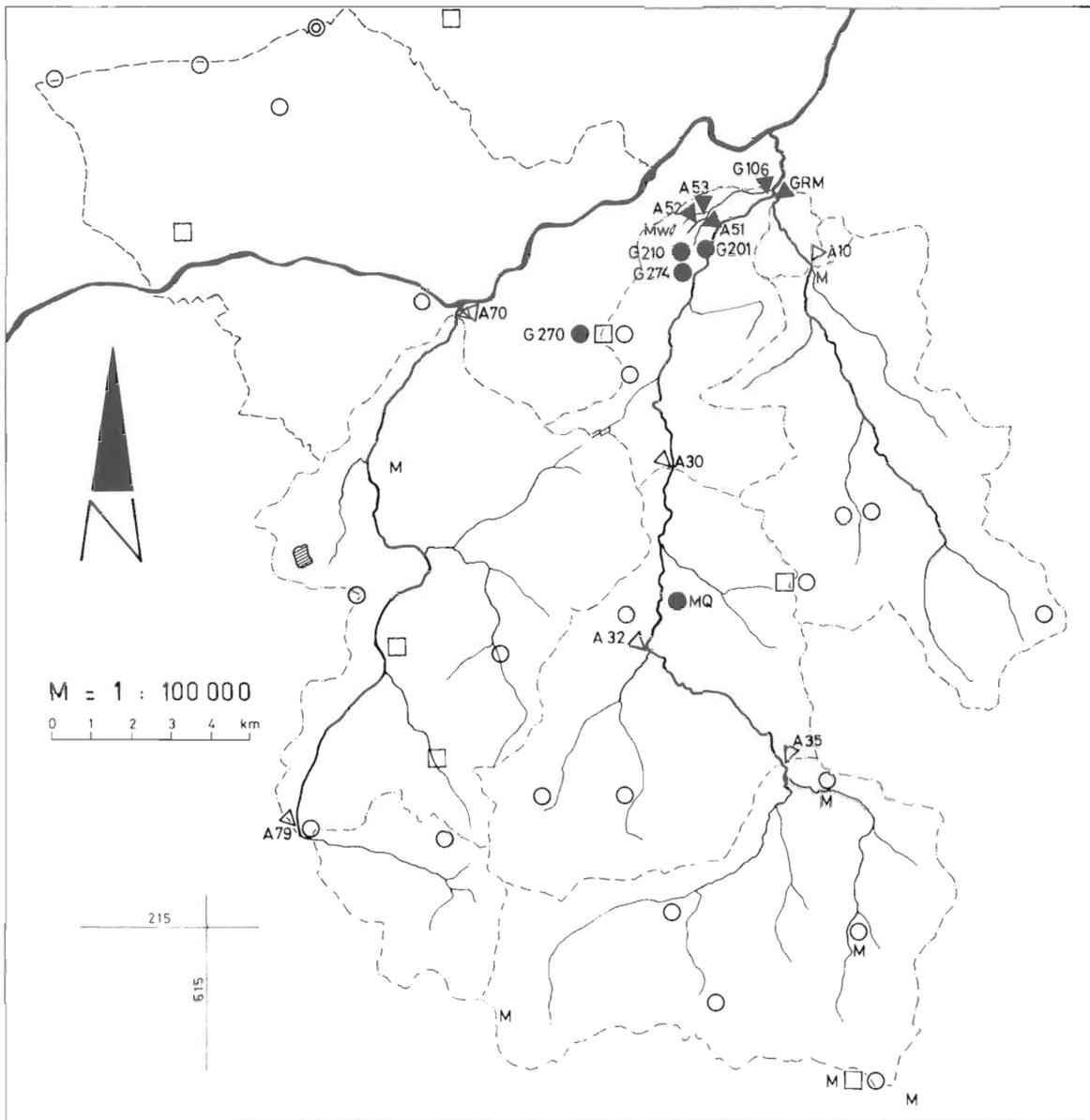


Abb. 22 Karte der Messstellen. Messstellverzeichnis der im Text aufgeführten Abfluss- und Grundwasser-Messstationen, Stand 1973.

- ▽ Messstationen für oberirdischen Abfluss (A₀)
- ▼ Messstationen für Grundwasser-Abfluss (A_u)
- Grundwasserpegel
- Mw Mumenthalerweiher
- MQ Madiswilerquellen
- ⊙ □ M Niederschlags-Messstationen



Abb. 23 Abflusstation Roth-St.Urban. Vorn die Messbrücke für die Flügelmessungen. In der Bildmitte die Kabine mit den Messgeräten, aufgesetzt auf dem Schwimmerschacht mit Pegelplatte.

Seit 1973 stehen zwei weitere Stationen in Wynigen (A79) und Weinstegen (A32) zur Verfügung. Mit dem Limnigraphen in Wynigen soll die Fremdwasser-Einflussmenge ins Oenztal gemessen werden. Die Station in Weinstegen an der Langete soll helfen, den Grad des Einflusses des Teileinzugsgebietes «Ursenbach» auf das Abflussregime im Haupttal abzuklären. Die Station im Häberenbad ist in unserem Sinne diesem untergeordneten Netze zuzurechnen. Im Verlaufe der Untersuchungen zeigte sich die dringende Forderung nach weiteren Stationen, um Probleme von Teileinzugsgebieten lösen zu können. Aus zeitlichen und finanziellen Gründen war ein weiterer Ausbau des Messnetzes nicht möglich.

Messgeräte. Die Stationen von Wynigen und Weinstegen sind mit OTT-Limnigraphen (vgl. OTT-Handbuch 20.250), alle übrigen mit STOPPANI-Geräten bestückt. Die Gangdauer beträgt durchwegs eine Woche, die Übersetzung 1:10.

Die Erfahrungen mit den OTT-R-16-Geräten sind noch zu kurz, um schlüssiges aussagen zu können, jedoch zeichnet sich ab, dass das enge Schwimmerrohr in stark verschmutzten oder schwebstoffreichen Gewässern (Beispiel Oenz) schnell verstopft. Zudem besteht eine erhöhte Vereisungsgefahr. Die STOPPANI-Geräte mit den von GYGAX übernommenen Kabinen und Schwimmerschächten haben sich gut bewährt. Bei zwar regelmässiger, aber geringer Wartung erbringen diese Stationen zuverlässige Resultate. Die Genauigkeit der Pegelaufzeichnung genügt für den Ausbaugrad unserer Abflussmessstationen.

Abflussmessungen. Von den verschiedenen Verfahren zur Bestimmung der Abflussmenge wurde fast ausschliesslich jenes der Geschwindigkeitsmessung mit dem hydrometrischen Flügel angewandt (Abb. 24). Messungen nach der Verdünnungsmethode (fluoreszierende Farbstoffe), mit Messkanälen und volumetrische Direktmessungen, hatten nur untergeordnete Bedeutung.



Abb. 24 Abflussmessung mit hydrometrischem Flügel, an einem als Messkanal ausgebauten Wässergraben. Sichtbar sind die Flügelstange, der Flügelbock und das Kabel (unter Messbrücke) zur Signalübermittlung. Der Messflügel selbst ist im Wasser.

Tabelle 12 Abflussmengen der Roth für 1973 und die Periode 1969–1973 (Tagesmittel in m³/s)

Einzugsgebiet: Fläche = 55,1 km ²				Mittlere Höhe = 591 m. ü. M.				Vergletscherung = 0,000%				
Tag	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.
1	0,333	0,366	0,850	0,550	0,766	0,576	0,807	0,648	0,661	0,648	0,725	0,531
2	0,325	0,357	0,750	0,542	0,600	0,565	0,779	0,836	0,686	0,588	0,712	0,448
3	0,333	0,401	0,700	0,542	0,588	0,554	0,850	1,630	0,542	0,576	1,278	0,438
4	0,333	0,383	0,700	0,542	0,565	0,576	0,725	1,003	0,520	0,565	0,925	0,429
5	0,357	0,401	0,900	0,542	0,565	0,612	0,686	0,807	0,499	0,565	0,850	0,429
6	0,357	0,383	0,750	0,542	0,544	0,766	0,648	0,752	0,499	0,588	0,836	0,419
7	0,357	0,383	0,680	0,542	0,544	1,102	0,624	0,766	0,499	0,612	0,836	0,410
8	0,349	0,383	1,200	0,542	0,544	0,972	0,612	0,940	0,499	0,636	0,807	0,410
9	0,349	0,383	1,390	0,531	0,544	0,925	0,661	0,910	0,478	1,136	0,807	0,429
10	0,341	0,383	1,223	0,520	1,241	0,822	0,766	0,836	0,468	0,725	0,793	0,686
11	0,349	0,544	1,068	0,520	0,850	0,712	1,003	1,102	0,458	0,612	0,793	0,520
12	0,357	0,972	0,940	0,510	0,712	0,661	1,371	0,950	0,478	0,648	0,766	0,468
13	0,349	2,528	0,880	0,510	1,136	0,636	1,610	0,850	0,686	0,600	0,725	0,458
14	0,366	5,403	0,836	0,499	0,972	0,600	1,333	0,750	0,531	0,600	0,712	0,468
15	0,357	3,445	0,779	0,520	0,766	0,588	1,102	0,712	0,489	0,661	0,725	0,468
16	0,357	1,508	0,739	0,565	0,612	0,588	1,036	0,661	0,468	0,686	0,712	0,661
17	0,357	4,000	0,699	0,565	0,565	0,661	0,895	0,648	0,458	1,278	0,712	0,565
18	0,366	2,475	0,673	0,542	0,542	0,725	0,822	0,648	0,448	0,850	0,648	0,510
19	0,383	1,036	0,648	0,520	0,520	1,036	1,003	0,600	0,429	0,699	0,576	0,478
20	0,383	1,315	0,636	0,520	0,499	1,223	1,170	0,600	0,565	0,650	0,531	0,468
21	0,366	1,390	0,636	0,520	0,499	1,352	1,019	0,686	0,766	1,068	0,489	0,565
22	0,478	12,100	0,624	0,544	1,206	1,548	0,880	0,612	0,636	2,173	0,478	0,478
23	0,712	19,000	0,612	0,542	1,206	1,638	0,793	0,612	6,552	1,468	0,468	0,531
24	0,438	3,202	0,588	0,542	0,910	1,758	0,766	0,588	4,946	3,202	0,438	0,636
25	0,401	1,758	0,588	0,542	0,766	1,802	0,739	0,565	1,352	2,900	0,448	0,520
26	0,383	1,429	0,588	0,542	0,673	1,548	0,712	0,542	0,910	2,968	0,458	0,478
27	0,383	1,241	0,588	0,520	0,612	1,448	0,686	0,542	0,752	1,429	0,458	0,478
28	0,478	1,136	0,588	0,542	0,554	1,315	0,712	0,531	0,712	1,052	0,520	0,458
29	0,448	1,036	0,588	0,520		1,085	0,766	0,565	0,739	0,895	0,478	0,531
30	0,392	0,972	0,570	0,531		0,972	0,673	0,531	0,686	0,822	0,468	0,612
31	0,374		0,560	0,766		0,880		0,520		0,725	0,661	
Monats-												
summe	11,911	70,313	23,571	16,777	20,101	30,246	26,249	22,943	28,412	32,625	20,833	14,980
Mittel-												
wert	0,384	2,344	0,760	0,541	0,718	0,976	0,875	0,740	0,947	1,052	0,672	0,499
Spende	6,973	42,537	13,799	9,822	13,029	17,707	15,880	13,432	17,188	19,100	12,197	9,062
Maximum												
(Spitze)	0,972	33,000	1,630	1,370	2,000	3,000	2,222	2,581	18,500	13,980	1,020	2,200
Tag	23.	22.	9.	31.	22.	25.	13.	3.	23.	24.	31.	16.
Mittlere Jahresabflussmenge = 0,874 m ³ /sec oder = 15,860 l/sec.km ²												
Periode 1969 bis 1973												
Monats-												
mittel	0,581	1,022	0,791	0,667	1,296	0,860	0,881	0,743	0,862	0,622	0,593	0,466
Spende	10,542	18,540	14,361	12,113	23,528	15,607	15,982	13,489	15,648	11,283	10,759	8,462
Maximum												
(Spitze)	2,300	33,000	12,100	4,700	2,425	6,100	4,789	8,002	18,500	13,980	10,240	2,272
Jahr	1969	1973	1969	1971	1970	1970	1970	1969	1973	1973	1970	1969
Minimum												
(Mittel)	0,325	0,349	0,458	0,366	0,401	0,329	0,401	0,392	0,401	0,281	0,295	0,333
Jahr	1972	1972	1971	1971	1972	1972	1972	1971	1971	1971	1971	1971
Durchschnittliche Jahresabflussmenge der 5 Jahre = 0,778 m ³ /sec oder = 14,119 l/sec.km ²												
Grösste mittlere Jahresabflussmenge der 5 Jahre = 1,039 M ³ /sec oder = 18,857 l/sec.km ² (1970)												
Kleinste mittlere Jahresabflussmenge der 5 Jahre = 0,532 m ³ /sec oder = 9,655 l/sec.km ² (1972)												
Dauer der Abflussmengen in m ³ /sec (jährliche vorhanden oder überschritten)												
	1973	Periode						1973	Periode			
an 9 Tagen	3,202	2,178						an 182 Tagen	0,624	0,606		
an 18 Tagen	1,638	1,476						an 228 Tagen	0,565	0,557		
an 55 Tagen	1,052	0,974						an 274 Tagen	0,520	0,509		
an 91 Tagen	0,836	0,805						an 329 Tagen	0,410	0,430		
an 137 Tagen	0,712	0,691						an 347 Tagen	0,366	0,399		

Die in der Limnigraphenstation aufgezeichneten Pegelstände wurden mit Hilfe von Flügelmessungen geeicht. Die einmal bestimmten Eichkurven wurden regelmässig auf ihre Genauigkeit hin überprüft und, wo nötig, neu konstruiert. In Theorie und Praxis folgten wir den von WALSER (1967) aufgezeichneten, auf hundertjähriger Erfahrung beruhenden Richtlinien zu dieser Methode der Wassermessung.

Über Anwendbarkeit und Genauigkeit der Abflussmessungen mittels Flügel unter verschiedenen Bedingungen liegen weitere Arbeiten vor: KAZMAN (1965), BUCHANEN und SOMERS (1969), BUERTSEV und BARYSHNIKOVA (1970), MUSZKALAY (1970), CARTER (1970). Letzterer gibt einen Fehler von ungefähr 1% an. KAZMAN (1972) geht bis auf 20% für Messungen unter schlechten Bedingungen in veränderlichen Profilen.

Wenn wir als Messfehler unserer Messungen für die Bereiche Nieder- bis Mittelwasser $\pm 2\%$ angeben, ist dieser wie folgt begründet:

- gut ausgebaute Messstellen mit höchstens geringen Profiländerungen
- regelmässige Nacheichung der Flügel
- grosse Zahl von Eichmessungen

Die Genauigkeit der Abflussermittlung mittels Flügel ist sicher besser als jene der Niederschlagsmessungen. Damit stellen die Abflussmessungen nicht den limitierenden Faktor in der hydrologischen Gesamtrechnung dar.

4.2.2. Die mittleren täglichen Abflüsse

Die Abflusstabellen geben Auskunft über die täglichen Abflussmengen, über die verschiedenen Mittel, über Maximum- und Minimumwerte und Abflussspenden der einzelnen Stationen in der Untersuchungsperiode. Als Beispiel ist die Jahrestabelle 1973 der Roth aufgeführt (Tabelle 12), die übrigen finden sich im Anhang.

Die mittleren Abflussmengen in dieser für Roth und Oenz erstmals gemessenen fünfjährigen Periode sind in Tabelle 13 wiedergegeben.

Tabelle 13 Abflussmengen für Roth, Langete, Oenz in der Periode 1969–1973

hydrol. Jahr (1. Okt.–30. Sept.)	Roth (m ³ /sec)	Langete- Lotzwil (m ³ /sec)	Langete- Häberenbad (m ³ /sec)	Oenz (m ³ /sec)
1969	0,880	2,325	1,379	1,797
1970	1,039	2,594	1,549	2,075
1971	0,564	1,653	1,024	1,115
1972	0,532	1,522	0,917	1,077
1973	0,874	2,057	1,293	1,533
1969–1973	0,778	2,030	1,232	1,519

Die Reihenfolge vom abflussreichsten zum abflussärmsten Jahr läuft durchwegs gleich: 1970 – 1969 – 1973 – 1971 – 1972. Die beiden Extremwerte liegen je rund einen Drittel über, resp. unter dem Pentadenmittel. Es sind dies also die gleichen Schwankungen wie bei Niederschlag.

Mit dem mittleren Abfluss von 0,778 m³/sec bringt die Roth nur gut einen Drittel der Langete (Lotzwil) und rund die Hälfte der Wassermengen der Oenz. Soweit verhalten sich die Flüsschen, gemessen an der Grösse ihrer Einzugsgebiete, «normal». Mit zunehmender Grösse des Einzugsgebietes steigt auch die Abflussmenge. Nun sind es aber nicht die absoluten Zahlen, die Aufschluss geben über die Abflusskraft der einzelnen Einzugsgebiete. Dafür müssen wir die spezifischen Abflüsse beiziehen.

4.2.3. Der spezifische Abfluss

Die Abflussspenden der einzelnen Stationen für die Pentadenperiode lauten:

Station	mittl. Höhe ü. M. (m)	Abfluss l/sec·km ²	Abfluss korrigiert * l/sec·km ²
Roth	591	14,1	14,6
Langete-Lotzwil	713	17,7	17,7
Langete-Häberensbad	766	20,6	20,6
Oenz	542	20,6	19,2

* Zu- und Ableitungen berücksichtigt

Die jährlichen Werte zeigen die Tabellen 14 und 15. Es ist auffallend, wie stark sich die Werte von Roth, Langete und Oenz unterscheiden. Eine unserer Aufgaben ist es, nach den Gründen dieser Verschiedenartigkeit zu suchen. Bei der Analyse müssen jedoch, neben andern, die hydrologischen Faktoren Niederschlag und Grundwasser miteinbezogen werden. Dies wird in Kapitel 4.5, «Bilanzen», erfolgen.

Tabelle 14 Mittlere jährliche Abflussgrössen für Roth, Langete und Oenz

Einzugsgebiet	hydrol. Jahre	1969	1970	1971	1972	1973	1969–73
Roth- St. Urban	Abflussmenge (m ³ /sec)	0,880	1,039	1,564	0,532	0,874	0,778
	Abflusshöhe (mm)	506	598	324	306	503	445
	Abflussspende (l·sec ⁻¹ ·km ²)	15,964	18,864	10,232	9,648	15,860	14,119
Langete- Lotzwil*	Abflussmenge (m ³ /sec)	2,325	2,594	1,653	1,522	2,057	2,030
	Abflusshöhe (mm)	641	715	456	420	567	560
	Abflussspende (l·sec ⁻¹ ·km ²)	20,214	22,553	14,376	13,238	17,884	17,650
Oenz- Berken	Abflussmenge (m ³ /sec)	1,797	2,075	1,115	1,077	1,533	1,519
	Abflusshöhe (mm)	771	890	479	462	658	625
	Abflussspende (l sec ⁻¹ ·km ²)	24,315	28,072	15,090	14,570	20,745	20,560

* Zu- und Ableitung von Trinkwasser nicht berücksichtigt

Tabell 15 Mittlere jährliche Abflussgrößen der Teileinzugsgebiete Langeten

Einzugsgebiete	hydro. Jahre	1969	1970	1971	1972	1973	1969–73
Langete	Abflussmenge (m ³ /sec)	1,379	1,549	1,024	0,917	1,293	1,232
bis Häberenbad	Abflusshöhe (mm)	726	816	541	483	681	649
	Abflussspende (l·sec ⁻¹ ·km ²)	23,016	25,864	17,099	15,304	21,592	20,572
Langete *	Abflussmenge (m ³ /sec)	0,946	1,045	0,629	0,605	0,764 **	0,794
zwischen Häberenbad und Lotzwil	Abflusshöhe (mm)	537	593	357	343	433	450
	Abflussspende (l·sec ⁻¹ ·km ²)	17,014	18,795	11,313	10,881	13,741	14,281

* Zu- und Ableitungen von Trinkwasser nicht berücksichtigt

** zum Teil extrapoliert

Eine Ursache der unterschiedlichen Abflussspenden können wir aber hier bereits abhandeln. In Kapitel 2 haben wir die Charakteristiken der einzelnen Einzugsgebiete kennengelernt. Dadurch, dass die Abflusstationen nicht alle an den gleichen Punkten der Einzugsgebiete aufgestellt sind, müssen sich Differenzen in den Abflüssen ergeben, die vielleicht in einem andern Glied der hydrologischen Bilanz wieder zum Vorschein kommen. Die Limnigraphen stehen:

Roth: im Unterlauf
 Langete-Lotzwil: Ende Mittellauf
 Oenz: Ende des Unterlaufes

Damit könnte der hohe Wert der Oenz gegenüber der Langete erklärt sein. Das Grundwasser ist im Oenztal bis zur Abflusstation Berken wahrscheinlich vollständig zurückgeflutet, während offenbar bei Lotzwil beträchtliche Mengen im Untergrund passieren. Für die Roth kann die gleiche Erklärung angeführt werden.

4.2.4. Der Abfluss der dreijährigen Periode 1971–1973

Die Grundwasser-Abflussmessungen im untersten Langetetal wurden erst im hydrologischen Jahr 1971 aufgenommen. Für diese Messstellen liegen je eine dreijährige Messperiode vor. Es stellt sich nun die Frage, wie weit diese Periode repräsentativ ist. Da 1971 und 1972 zu den niederschlagsarmen Jahren gehören und im hydrologischen Jahr 1973 die grossen Hochwasser vom 22./23. November 1972 liegen, ist die Abklärung dieser Frage wesentlich.

Zu diesem Zwecke wurden die Abflüsse von Langete-Lotzwil für die dreijährige Periode 1971–1973 berechnet. Die einzelnen Abflusstabellen finden sich im Anhang; jene des hydrologischen Jahres 1973 (Tabelle 16) enthält die Periodenwerte. Gegenüber dem Periodenabfluss 1969–1973 brachte die dreijährige Periode 1971–1973 in Langete-Lotzwil 17% weniger Wasser (Tabelle 17). Bei der Interpretation der Grundwasserabflüsse kann vorläufig mit diesem Wert von –17% gerechnet werden, der die Größenordnung des Betrages ausdrückt, die Grundwasserabflüsse gegenüber dem langjährigen Mittel zu klein sind.

Die errechneten Werte der Tabelle 17 zeigen, dass sich die Trockenheit von 1971 bei den Grundwasserbächen auch im folgenden Jahre noch auswirkt und zusammen mit dem trockenen Jahr 1972 nun

Tabelle 16 Abflusswerte Langeten-Lotzwil für 1973 und Periode 1971–1973 (Tagesmittel in m³/sec)

Einzugsgebiet: Fläche = 115,000 km ²				Mittlere Höhe = 713 m. ü. M.				Vergletscherung = 0,000%				
Tag	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.
1	0,910	1,220	2,500	1,730	1,830	1,590	2,810	1,980	1,540	1,540	1,780	1,180
2	0,880	1,220	2,370	1,640	1,640	1,640	2,750	2,310	1,640	1,540	1,930	1,100
3	0,880	1,170	2,370	1,640	1,540	1,640	2,750	4,060	1,360	1,450	1,830	1,100
4	0,950	1,130	2,370	1,640	1,450	1,680	2,430	2,750	1,360	1,400	1,780	1,100
5	0,950	1,170	2,690	1,640	1,450	1,730	2,150	2,370	1,360	1,360	1,590	1,020
6	0,950	1,130	2,500	1,640	1,450	1,930	1,880	2,370	1,310	1,680	1,500	1,020
7	0,910	1,130	2,370	1,640	1,500	2,620	1,830	2,260	1,270	1,730	1,540	1,020
8	0,880	1,130	2,750	1,640	1,540	2,150	1,780	2,430	1,310	1,540	1,450	1,020
9	0,910	1,130	3,160	1,640	1,500	2,100	1,830	2,370	1,310	1,590	1,450	1,020
10	0,910	1,130	2,950	1,640	2,560	1,930	1,830	2,100	1,270	1,450	1,360	1,540
11	0,910	1,600	2,620	1,640	1,830	1,830	1,880	2,810	1,270	1,450	1,310	1,180
12	0,880	2,030	2,370	1,640	1,680	1,780	2,100	2,370	1,220	1,450	1,270	1,100
13	0,880	3,470	2,260	1,590	2,040	1,730	2,370	2,100	1,730	1,400	1,270	1,100
14	1,000	6,260	2,210	1,640	1,930	1,680	2,560	1,880	1,400	1,360	1,220	1,060
15	1,090	7,840	2,150	1,640	1,680	1,640	2,680	1,780	1,270	1,450	1,220	0,980
16	1,130	3,990	2,100	1,680	1,640	1,640	3,020	1,680	1,270	1,450	1,220	1,270
17	1,090	5,950	2,100	1,640	1,590	1,730	3,020	1,640	1,220	2,310	1,220	1,180
18	1,080	6,170	2,040	1,590	1,540	1,880	2,880	1,640	1,180	1,730	1,140	1,100
19	1,130	3,720	1,990	1,590	1,540	2,100	3,020	1,590	1,180	1,500	1,140	1,020
20	1,130	3,980	1,930	1,590	1,540	2,260	3,020	1,540	1,590	1,400	1,180	1,020
21	1,130	4,340	1,930	1,540	1,540	2,620	2,750	1,730	1,930	1,830	1,100	1,140
22	1,490	22,500	1,830	1,540	2,750	3,160	2,500	1,590	1,680	2,880	1,020	1,020
23	2,530	22,400	1,830	1,540	2,560	3,640	2,370	1,640	11,800	2,200	1,020	1,180
24	1,650	7,000	1,830	1,540	2,040	4,060	2,260	1,500	10,400	3,320	1,020	1,360
25	1,400	4,720	1,830	1,540	1,830	4,340	2,310	1,450	3,800	3,670	1,180	1,100
26	1,300	3,990	1,830	1,540	1,780	4,250	2,150	1,450	2,620	5,560	1,100	1,100
27	1,260	3,470	1,830	1,680	1,680	4,150	2,150	1,450	2,150	3,020	1,100	1,060
28	1,600	3,090	1,780	1,830	1,640	4,530	2,200	1,540	1,930	2,310	1,270	1,020
29	1,600	2,820	1,780	1,590		3,890	2,260	1,540	1,830	2,040	1,270	1,140
30	1,400	2,690	1,730	1,730		3,320	2,100	1,450	1,640	1,880	1,100	1,270
31	1,300		1,730	2,150		2,880		1,400		1,730	1,400	

Monatssumme 36,120 133,490 67,730 50,950 49,290 78,120 71,640 60,770 66,840 61,220 40,980 33,520

Mittelwert 1,165 4,450 2,185 1,644 1,760 2,520 2,388 1,960 2,228 1,975 1,322 1,117
 Spende 10,132 38,693 18,999 14,292 15,307 21,913 20,765 17,046 19,374 17,172 11,495 9,716

Maximum (Spitze) 3,900 41,000 4,300 4,200 4,700 9,000 4,200 6,500 20,900 10,800 3,320 3,020
 Tag 23. 22. 11. 31. 22. 28. 16. 3. 23. 26. 2. 10.

Mittlere Jahresabflussmenge = 2,057 m³/sec oder = 17,884 l/sec-km²

Periode 1971 bis 1973

Monatsmittel 1,344 2,621 1,698 1,391 1,475 1,835 1,813 1,631 2,546 1,950 1,500 1,141
 Spende 11,685 22,793 14,768 12,091 12,824 15,954 15,762 14,186 22,139 16,953 13,043 9,923

Maximum (Spitze) 4,900 41,000 4,300 5,900 4,700 9,000 9,100 6,500 20,900 12,900 5,300 4,700
 Jahr 1971 1973 1973 1971 1973 1973 1972 1973 1973 1972 1971 1971

Minimum (Mittel) 0,880 1,120 1,190 1,000 1,000 0,960 1,100 1,150 1,180 1,300 1,020 0,880
 Jahr 1973 1972 1972 1972 1972 1972 1972 1971 1973 1971 1973 1972

Durchschnittliche Jahresabflussmenge der 3 Jahre = 1,686 m³/sec oder = 14,657 l/sec-km²

Grösste mittlere Jahresabflussmenge der 3 Jahre = 2,057 m³/sec oder = 17,884 l/sec-km² (1973)

Kleinste mittlere Jahresabflussmenge der 3 Jahre = 1,522 m³/sec oder = 13,235 l/sec-km² (1972)

Dauer der Abflussmengen in m³/sec (jährlich vorhanden oder überschritten)

	1973	Periode		1973	Periode
an 9 Tagen	5,950	4,287	an 182 Tagen	1,640	1,487
an 18 Tagen	4,060	3,203	an 228 Tagen	1,540	1,363
an 55 Tagen	2,620	2,207	an 274 Tagen	1,310	1,240
an 81 Tagen	2,150	1,867	an 329 Tagen	1,100	1,100
an 137 Tagen	1,830	1,633	an 347 Tagen	1,020	1,040

verstärkt zur Geltung kommt. Die Beziehung zwischen dem Oberflächenabfluss und dem Grundwasserabfluss ist jedoch nur locker. Besonders die Werte von 1973 zeigen, dass noch andere Einflüsse hineinspielen müssen.

Tabelle 17 Abfluss-Periodenwerte 1971–1973 im Vergleich zu 1969–1973

Einzugsgebiet	mittlerer täglicher Abfluss (m ³ /sec)			1971	%**	1972	%**	1973	%**
	1969–1973	1971–1973	%**						
Langete-Lotzwil	2,030*	1,686*	-17	1,653*	-19	1,522*	-25	2,057*	+ 1
Brunnbach	0,118	0,098*	-17	0,105	-11	0,060	-49	0,128	+ 8
Mattenbach	0,104	0,086*	-17	0,071	-32	0,056	-46	0,131	+ 26
Bergbach	0,237	0,197*	-17	0,212	-11	0,166	-30	0,212	- 11
Total	0,459	0,381*	-17	0,388	-18	0,282	-42	0,471	+ 8

* gemessene Werte (übrige berechnet)

** Differenz in % von 1971–1973 zu 1969–1973

Tabelle 18 Mittlere Abflüsse Langeten-Lotzwil in Pentaden seit 1924 (Kalenderjahre)

Jahr	mittlerer Abfluss (m ³ /sec)	Pentadenmittel (m ³ /sec)	Schwankungskoeffizient**	Jahr	mittlerer Abfluss (m ³ /sec)	Pentadenmittel (m ³ /sec)	Schwankungskoeffizient**
1924	2,09			1949	0,97		
1925	1,53			1950	1,47		
1926	1,96	1,992	0,99	1951	2,17	1,776	0,88
1927	2,61			1952	2,52		
1928	1,77			1953	1,70		
1929	1,47			1954	2,18		
1930	2,70			1955	2,36		
1931	2,76	2,072	1,02	1956	2,12	2,204	1,09
1932	2,01			1957	1,97		
1933	1,42			1958	2,39		
1934	1,29			1959	1,71		
1935	2,25			1960	2,06		
1936	2,97	2,266	1,12	1961	1,94	1,854	0,92
1937	2,66			1962	1,91		
1938	2,16			1963	1,65		
1939	3,01			1964	1,37		
1940	2,55			1965	2,71		
1941	2,27	2,058	1,02	1966	2,89	2,312	1,14
1942	1,43			1967	2,07		
1943	1,03			1968	2,52		
1944	1,87			1969*	2,325		
1945	1,81			1970*	2,594		
1946	1,93	1,654	0,82	1971*	1,653	2,030	1,00
1947	1,07			1972*	1,522		
1948	1,59			1973*	2,057		

* hydrologische Jahre

** definiert als $\frac{\text{mittlere Pentadenabflüsse}}{\text{mittlere Periodenabflüsse}}$

4.2.5. Die Pentadenabflüsse im langjährigen Abflussgeschehen

Während Roth und Oenz erstmals gemessen wurden, liegt für die Langete eine langjährige Messperiode (seit 1924) von Lotzwil vor. Die Station Häberenbad wird vom A+W seit 1966 betrieben. Es wird somit möglich sein, die Abflusswerte der Roth und Oenz in einen grösseren Rahmen zu stellen.

Das langjährige Mittel der Langete-Lotzwil beträgt $2,02 \text{ m}^3/\text{sec}$ (1924–1972). Mit $2,03 \text{ m}^3/\text{sec}$ beträgt das Pentadenmittel 1969–1973 fast genau gleich viel. Für die weiteren Betrachtungen wird es wertvoll sein, die Periodenwerte als repräsentativ für das mittlere Abflussgeschehen bezeichnen zu können.

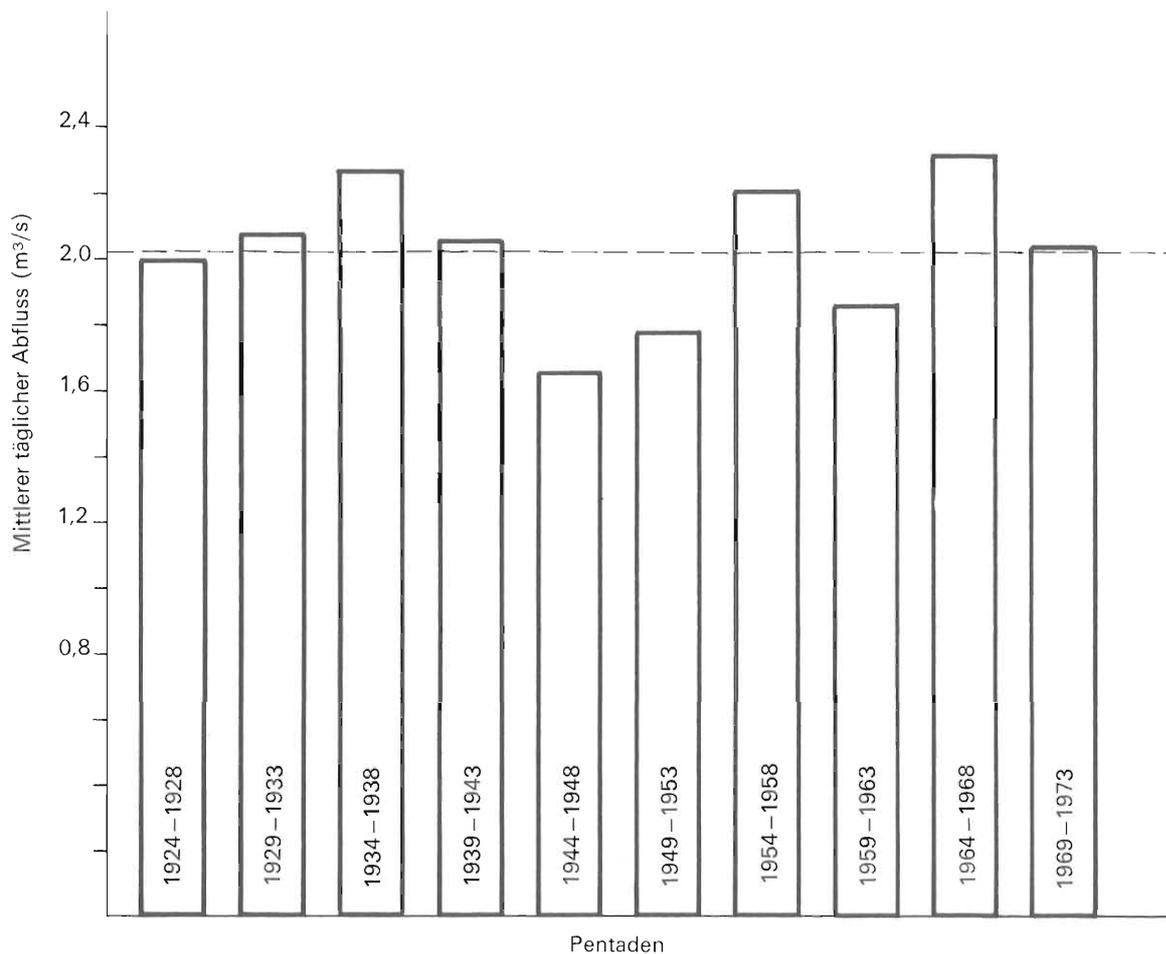


Abb. 25 Langjähriger Abfluss der Langeten-Lotzwil in Pentaden (1924–1973)
— — — — langjähriges Mittel

Eine Analyse der Langetewerte ergibt für die einzelnen Pentaden von 1973 rückwärts bis 1924 die in Tabelle 18 errechneten Werte. Mit dem «idealen» Schwankungskoeffizienten von 1,00 (3. Komma-stelle gerundet) steht die untersuchte Periode sehr gut da. Die maximale Abweichung nach oben beträgt 1,14 (= 13,8%), jene nach unten 0,88 (= -18,5%). Den sechs Überschreitungen des Mittelwertes stehen vier Unterschreitungen gegenüber (Abb. 25). Die Trockenpentaden fallen etwas akzentuierter aus als die «nassen». Die abflussreichste Pentade liegt 1964–1968 unmittelbar vor der hier untersuchten. Darin liegt das von BINGGELI (1968) beschriebene niederschlagsreichste Jahr des bisherigen Jahrhundertteils. Dieses 1965 ist aber nicht auch das abflussreichste Jahr. Es wird übertroffen von 1931 mit 2,76 m³/sec und 1966 mit 2,89 m³/sec. Das hydrologische Jahr 1970 kommt mit einem mittleren Abfluss von 2,59 m³/sec den Maximalwerten des Jahrhunderts recht nahe. Dies gilt für die Minimalwerte nicht in gleichem Masse. Der Wert des hydrologischen Jahres 1972 mit 1,52 m³/sec wurde seit 1924 neunmal unterschritten. Allerdings bedarf diese Tatsache einer Einschränkung, da die Minimalabflüsse in den Jahren vor 1950 durch starke Wässerungen im mittleren Langetetal teilweise empfindlich gedrückt wurden. Der 1972er Wert wurde seit 1951 nur noch einmal, nämlich 1964, unterschritten. Wenn wir dazu wissen, dass 1954 in den Steinlenmatten bei Madiswil die Wässerungen endgültig eingestellt wurden, wird die oben gemachte Aussage bestärkt. Damit kann auch bezüglich der Jahres-Minimal- und -Maximalabflüsse von einer recht guten Repräsentativität gesprochen werden.

4.3. Unterirdischer Abfluss

Mehr als die Spiegelverhältnisse interessiert für unsere Fragestellung die Menge des Grundwassers. Während in den früheren regionalen Arbeiten der Faktor Grundwasser in der Wasserbilanz noch weitgehend geschätzt werden musste, können wir heute diesen Teil weitgehend mit gemessenen Werten belegen. Im Rothtal fehlen allerdings die entsprechenden Messstellen. Von geologischen Fachkreisen wird aber der Untergrund im Talquerschnitt auf der Höhe der Abfluss-Messstelle als höchstens gering grundwasserführend bezeichnet. Dieser Annahme steht der geringe spezifische Abfluss (vgl. Kap. 4.5.2.) entgegen. Die Schlussfolgerungen werden in diesem Kapitel gezogen. Im Oenztal fallen die Einzelmessungen von Grundwasserquellen und Aufstössen dahin. Da hier die Abfluss-Messstation am Ende des Unterlaufes steht (vgl. Kap. 4.2.), werden die vorgefluteten Grundwasser direkt miterfasst.

Ein ausserordentlich günstiger Fall für die Erfassung der Grundwassermengen liegt im untersten Langetetal vor. Wie schon der Name sagt, treten in den Brunnmatten die Grundwasser der Langenthaler-Schotter (grösstenteils) zu Tage. In drei Bächen gesammelt, Brunnbach, Mattenbach und Bergbach, fliesst das «junge» Wasser der Langeten und Murg zu. Der etwas isolierte Teil der Niederterrassen-Schotter im Raume Kaltenherberge/Roggwil, den wir hier als «Roggwiler-Terrasse» bezeichnen, entwässert ebenfalls in die Brunnmatt und in nördlicher Richtung in den untern Brunnbach und die Langeten.

Die Gründe des Austrittes des Grundwassers:

1. Mit der Entfernung vom ehemaligen Gletscherrand und, was die über den fluvioglazialen Schottern liegenden fluvialen Langetenschotter betrifft, gegen die Aussenseite des Schuttfächers der Langeten, nimmt der Gehalt an Feinmaterial im Schwemmschutt zu. Entsprechend verringert sich der Grundwasserstrom.
2. Die Schottermassen wurden durch Flusserosion zerschnitten, teils bis fast auf den Molasseuntergrund, dabei wurden grundwasserführende Schichten angeschnitten und an den Terrassenabhängen traten Quellhorizonte zutage. Dies ist insbesondere um den Mumenthaler Weiher herum der Fall und an Hängen zwischen Kaltenherberge, Textilwerk Gugelmann, P454 Grunholz und der Rothbrücke bei Chülperg nördlich von Roggwil.
3. Die Mächtigkeit des Schotterkörpers nimmt allgemein gegen NE zu ab; die Molassesohle (Sandsteine und Mergel des Aquitan) weist ein geringeres Gefälle auf als die Geländeoberfläche (2,5% entgegen von 9,0%). Die Zahlen beziehen sich auf die Strecke vom Pumpwerk Hard/Langenthal (464,5 m ü. M.; Molasse in –25,3 m) bis Brunnmatten/Roggwil bei Zusammenfluss von Brunnbach und Bergbach (434 m ü. M.; Molasse in nur –3,5 m Tiefe!). Beiderorts können die Werte auf Reihen von Sondierbohrungen abgestützt werden.
Das Tälchen des Brunnbachs nördlich der Kaltenherberge weist auch im Molasseuntergrund eine leichte Rinne auf, die als Sammelader von Grundwasser spielt. Die Mehrzahl der Quellen stösst darin auf, an den Terrassenrändern und im Talgrund.

Für die wesentlichsten Messstellen, die Grundwasserbäche, liegt eine dreijährige Messperiode vor. Das gleiche gilt für die zwei wichtigsten Quellen (= Fassungen) am nördlichen Terrassenrand in der Mänge. Für die übrigen vielen kleinen Quellen und diffusen Austritte (vgl. Abb. 26) liegen periodische Messungen vor. Über eine Korrelation mit den vollständigen Messungen kann die Grössenordnung der Gesamtmenge zuverlässig angegeben werden. Schliesslich sind noch die künstlichen Entnahmen zu berücksichtigen.

Stichprobenmessungen haben ein paralleles Schüttungsverhalten der kleineren noch messbaren Quellen zur Hauptquelle G106 ergeben. Die über zwei Jahre durchgeführten Messungen des Gesamtabflusses im Brunnbach (GBb) zeigten ein fast konstantes Verhältnis der Abflussmengen nach der Beziehung

$$A_{G106} = 12,3 A_{GBb}.$$



Abb. 26 Diffuser Grundwasseraustritt aus den Schottern am Terrassenrand. Während diese Stellen im Sommer nur dem geübten Auge sichtbar sind, können sie im Winter durch Eisbildung leicht erkennbar werden. Die starken Eiskuppen entstehen dadurch, dass das relativ warme Grundwasser auch bei tiefen Lufttemperaturen noch nachfliessen kann.

Die Grundwasserabflüsse des Brunn-, Matten- und Bergbaches sind mit Methoden der Oberflächengewässer-Messung ermittelt worden. Die mittleren täglichen Abflussdaten sind in Tabellen im Anhang ersichtlich. Die mittleren jährlichen Abflussmengen in m^3/sec gibt die Tabelle 20 wieder. Die Beziehung zu den Oberflächenabflüssen wurde bereits im Kapitel 4.2., «Oberirdischer Abfluss», besprochen. Der Grundwasserabfluss beträgt im Mittel der drei Jahre etwas über 20% (22,6%) gegenüber dem Oberflächenabfluss in Lotzwil. Die prozentualen Anteile sind erstaunlich konstant. Dies heisst mit andern Worten, dass eine gewisse Abhängigkeit zwischen den zwei Grössen besteht. Allerdings sind die Verhältnisse in der Natur etwas komplizierter, da im Grundwasserabfluss zeitweise auch Oberflächenwasser enthalten ist. Dabei kann es sich um Niederschläge handeln, die im Einzugsgebiet der drei Grundwasserbäche fallen und direkt zum Abfluss kommen, oder um Überschusswasser (nicht versickertes Wasser) aus den Wässerungen, bzw. Hochwasserabfluss. Für das Überschusswasser dient der Brunnbach als Sammler des Langetewassers und der Mattenbach als Sammler des zur Wässerung verwendeten und oberflächlich wieder abfliessenden Brunnbachwassers. Hydrometrisch ist dieses Problem praktisch nicht zu lösen, weil Meteorwasser, Überwasser und Hochwasser nicht getrennt werden können.

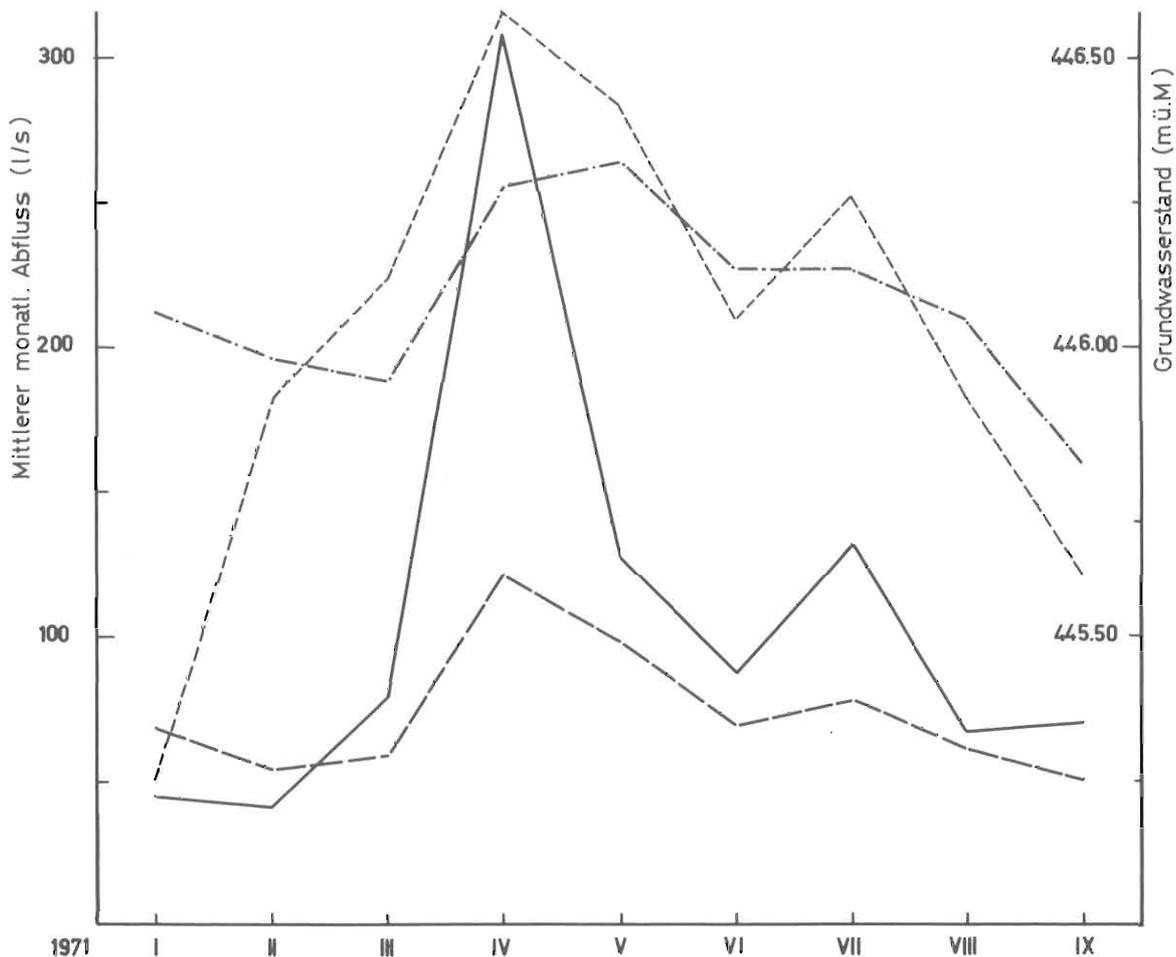


Abb. 27 Mittlere Grundwasserabflüsse und Grundwasserstand in der Brunnmatt 1971

- Brunnbach
- Mattenbach
- . - . - . - Bergbach
- Grundwasserstand G 210

Die hier vorgelegten Zahlen von Mattenbach und Bergbach sind jedoch sicher fast reine Grundwasserwerte. Der durchlässige Boden des Einzugsgebietes lässt das gesamte Niederschlagswasser einsickern. Nur gerade jener Teil des Niederschlages, der auf die offenen Wasserflächen fällt, gelangt direkt zum Abfluss. Die Anteile des kurzfristigen (interflow) und des langfristigen (baseflow) Grundwassers brauchen hier nicht getrennt zu werden.

Der Brunnbach führt bei Hochwasser der Langete kurzfristig grosse Mengen Oberflächenwasser. Sein Regime unterscheidet sich denn auch beträchtlich von jenen der Bruderbäche; es ist ein Zwischenstadium zwischen Grundwasser- und Oberflächenwasser-Abflüssen.

Die Lage der drei Bäche in Bezug auf den künstlichen Einfluss der Wässerung, resp. Hochwasser, kommt in Abbildung 27 zum Ausdruck. Der Brunnbach ist der eigentliche und direkteste Sammler des Wässerungsgrundwassers. Der Mattenbach liegt bereits in der Abschwächungszone. Gemäss seinem am weitesten nach NW gelegenen Einzugsgebiet bekommt der Bergbach den Wässerungseinfluss nur sehr abgeschwächt und verzögert zu spüren. Das Aprilmaximum des Grundwasser-

standes (G 210), das Brunn- und Mattenbach im Abfluss ebenfalls zeigen, ist beim Bergbach um einen Monat verzögert. Die Juli-Wässerungs-Grundwasserspitze vermag eben noch die natürliche Absenkung auszugleichen.

Neben den Grundwasserbächen der Brunnmatt liegt für die Hauptquelle (GRM) des nördlichen Terrassenrandes eine vollständige Messreihe vor. Die täglichen mittleren Abflussmengen, die Monats-, Jahres- und Periodenmittel sind in der Tabelle 20 und im Anhang zusammengestellt. Die Abbildung 28 zeigt die Ganglinie des Quellertrages in l/min und den Zusammenhang mit dem Grundwasserstand im Grunholz. GRM folgt G 201 in leichter Phasenverschiebung deutlich. Es ist ohne weiteres ersichtlich, dass auch bei der Fassung Roggwil (GRM) die Wässerungen einen starken Einfluss haben.

Die ausgetretenen Grundwassermengen der Periode 1971–1973 sind in der Tabelle 21 zusammengestellt. Da der Gesamtbetrag von 0,847 m³/sec der dreijährigen Periode nach den bisherigen Betrachtungen für die fünfjährige Periode nicht repräsentativ ist, muss über die gefundenen Beziehungen ein gültiger Wert gefunden werden. Zu diesem Zwecke wurde für Langete-Lotzwil auch das dreijährige Periodenmittel errechnet (vgl. Kap. 4.2.4.). Gegenüber dem fünfjährigen Abfluss 1969–1973 brachte die dreijährige Periode in Langete-Lotzwil 17% weniger Wasser (Tabelle 17). Die Zahlen der Tabelle 19 zeigen weiter, dass der Anteil des Grundwasserabflusses in der Brunnmatt zu jenen der Langete-Lotzwil recht konstant ist, im Mittel 22,6%. Der Anteil des Brunnmattabflusses am Gesamtabfluss beträgt rund ⅓.

Der Ertrag der Hauptquelle des nördlichen Terrassenrandes (GRM) ist durch den Wässerungseinfluss konstanter über längere Zeitabschnitte. Die Einbusse der kürzeren Periode zu 1969–1973 beträgt nur 5%.

Der gefundene Gesamtertrag von 0,847 m³/sec für 1971–1973 muss deshalb um rund 10% erhöht werden. Somit können wir mit einem mittleren Grundwasserabfluss von ~0,93 m³/sec für L₃ für die vergangene Pentade rechnen.

Tabelle 19 Grundwasserabfluss Brunnmatt und oberirdischer Abfluss Langete-Lotzwil

Mittlerer Abfluss (m ³ /sec) pro Jahr	1969	1970	1971	1972	1973	1971–73
Langete-Lotzwil	2,325	2,594	1,653	1,522	2,057	1,686
Grundwasser-Gesamtabfluss Brunnbach, Mattenbach, Bergbach	0,525 *	0,586 *	0,388	0,282	0,471	0,381
Grundwasserabfluss in % der Ober- flächenabfluss Langete-Lotzwil			23,5	18,5	22,9	22,6

* aus mittlerem Prozentwert errechnet

Tabelle 20 Mittlere tägliche Grundwasser-Abflussmengen der Quelfassung Mange-Roggwil 1971 (GRM), Tagesmittel in m³/min

Tag	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.
1	4,680	4,420	5,700	4,770	4,940	4,420	5,160	5,630	5,050	5,260	5,440	4,580
2	4,760	4,410	5,680	4,740	4,970	4,400	5,100	5,580	5,020	5,250	5,370	4,520
3	4,780	4,400	5,650	4,740	4,980	4,380	5,140	5,570	4,980	5,240	5,320	4,500
4	4,820	4,380	5,660	4,780	4,980	4,370	5,160	5,550	4,970	5,210	5,330	4,650
5	4,860	4,370	5,550	4,850	4,960	4,340	5,260	5,510	4,950	5,170	5,280	4,970
6	4,750	4,350	5,000	4,900	4,880	4,330	5,400	5,450	4,910	5,150	5,200	5,250
7	4,720	4,310	5,440	4,950	4,850	4,320	5,640	5,420	4,910	5,130	5,150	5,620
8	4,660	4,340	5,300	4,980	4,810	4,300	5,950	5,350	5,200	5,100	5,160	5,820
9	4,640	4,350	5,270	4,980	4,780	4,300	6,200	5,280	5,180	5,040	5,120	5,860
10	4,620	4,390	5,230	5,020	4,750	4,300	6,300	5,280	5,150	4,980	5,060	5,760
11	4,590	4,480	5,180	5,050	4,700	4,320	6,280	5,330	5,170	4,990	5,020	5,740
12	4,570	5,400	5,150	5,010	4,680	4,320	6,200	5,490	5,300	5,050	5,010	5,780
13	4,560	4,550	5,120	4,980	4,640	4,310	6,180	5,570	5,450	5,100	4,980	5,680
14	4,540	4,600	5,060	4,940	4,610	4,310	6,140	5,600	5,400	5,200	4,940	5,600
15	4,520	4,730	5,030	4,940	4,600	4,320	6,060	5,580	5,430	5,220	4,880	5,480
16	4,490	4,710	5,040	4,860	4,580	4,350	6,000	5,540	5,430	5,240	4,820	5,360
17	4,470	4,700	5,070	4,800	4,560	4,340	6,000	5,460	5,400	5,250	4,800	5,280
18	4,470	4,660	5,090	4,770	4,570	4,360	6,060	5,400	5,380	5,350	4,770	5,200
19	4,460	4,670	5,090	4,720	4,580	4,440	6,070	5,850	5,400	5,380	4,740	5,120
20	4,500	4,770	5,070	4,700	4,560	4,480	6,110	5,280	5,450	5,360	4,770	5,040
21	4,580	4,840	5,060	4,690	4,530	4,540	6,180	5,250	5,380	5,350	4,760	5,000
22	4,540	4,950	5,040	4,620	4,510	4,600	6,150	5,210	5,320	5,280	4,720	4,970
23	4,520	4,910	5,020	4,600	4,500	4,680	6,040	5,210	5,310	5,250	4,730	4,960
24	4,560	4,820	4,980	4,630	4,480	4,710	5,980	5,210	5,290	5,220	4,670	4,950
25	4,540	4,820	4,960	4,650	4,470	4,710	5,800	5,200	5,260	5,270	4,640	4,870
26	4,500	4,880	4,940	4,680	4,450	4,900	5,670	5,200	5,240	5,400	4,650	4,840
27	4,480	5,050	4,910	4,720	4,440	5,100	5,670	5,180	5,240	5,500	4,780	4,780
28	4,460	5,230	4,870	4,840	4,430	5,200	5,770	5,160	5,220	5,600	4,760	4,840
29	4,450	5,380	4,850	4,840		5,300	5,730	5,140	5,210	5,610	4,690	4,860
30	4,450	5,550	4,830	4,850		5,280	5,700	5,110	5,230	5,580	4,640	4,880
31	4,440		4,800	4,890		5,250		5,080		5,500	4,610	
Monats- summe	141,980	141,420	159,640	149,460	130,790	141,280	175,100	166,170	156,830	163,230	152,810	154,760
Mittel- wert	4,580	4,714	5,150	4,821	4,671	4,557	5,837	5,360	5,228	5,265	4,929	5,159
Mittlere Jahresabflussmenge = 5,023 m ³ /min												

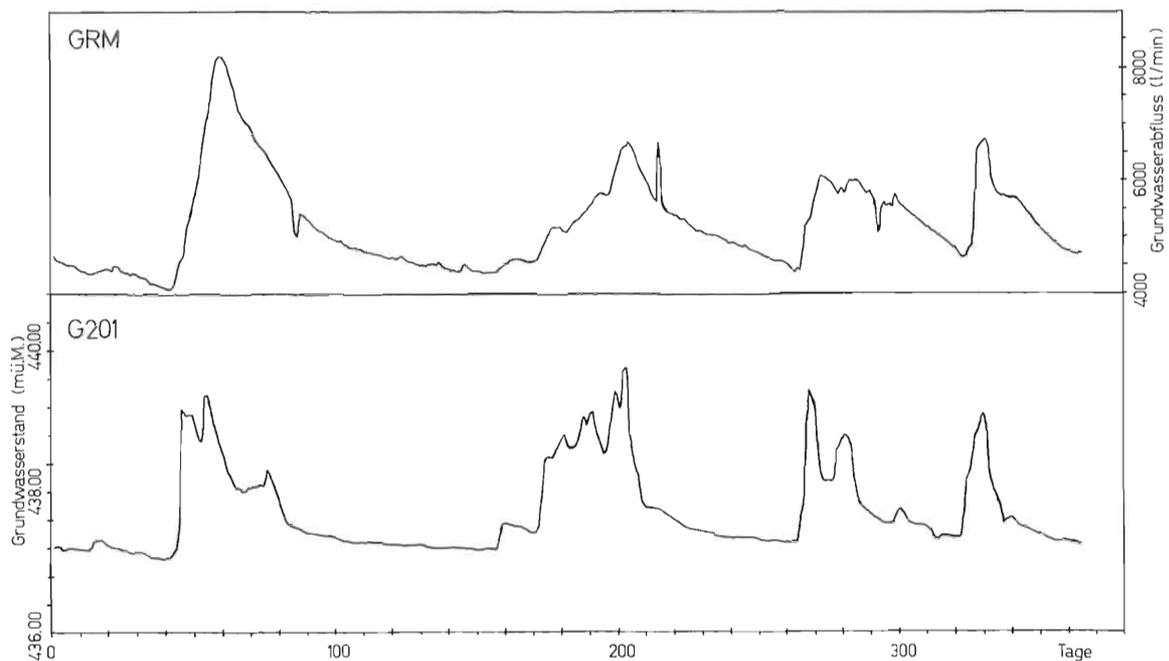


Abb. 28 Ganglinien des Grundwasserabflusses (GRM) und des Grundwasserstandes (G 201), Tagesmittel 1973.

Der weitgehend parallele Verlauf der Ganglinien zeigt die Abhängigkeit des Grundwasserabflusses vom Grundwasserstand, der stark durch Wässerungsversickerungen beeinflusst ist.

Tabelle 21 Mittlere Grundwassererträge im Teileinzugsgebiet L₃ der Langeten 1971–1973

	Abflussmengen (m ³ /sec)	
Brunnmatt		
Bergbach	0,197	
Mattenbach	0,086	
Brunnbach	0,098	0,381
Quellertrag G 110	0,013	
Quellertrag G 102	0,016	
diffuse Austritte	0,005	0,034
		<u>0,415</u>
Mange westl. Langete		
Quellertrag Q9 = La Gb – La RM	0,100	
Pumpmenge G 101	0,008	
Gesamtertrag der Quellen und Fassungen inkl. Drainagen	0,095	0,203
Mange-Fryberg		
Quellertrag Fassung Mange	0,083	
Quellertrag alte Fassung Roggwil	0,015	
Quellertrag Fassung Murgenthal	0,007	
Quellertrag Q 13	0,010	
diffuse Austritte	0,020	0,135
		<u>0,753</u>
Grundwasserabfluss im Untergrund		
1000 m × 1,0 m × 0,0002 m/sec · 0,25		0,094
Gesamter Grundwasserertrag		<u>0,847</u>

4.4. Verdunstung

In der hydrologischen Gleichung $\text{Niederschlag} = \text{Abfluss} + \text{Verdunstung}$ stellt die Verdunstung das am schwierigsten bestimmbare Glied dar. Es muss denn auch aus den Grössen Niederschlag und Abfluss errechnet werden.

Den Hydrologen interessiert in erster Linie die Grösse der Landesverdunstung V_L . Diese setzt sich zusammen aus Evaporation, Interception und Transpiration. Logischerweise müssten nun die einzelnen Faktoren experimentell bestimmt werden. Die Summe wäre dann gleich der Landesverdunstung. Bis heute ist es jedoch nicht gelungen, auf experimentellem Wege die Landesverdunstung von ähnlich grossen Einzugsgebieten direkt zu bestimmen. Selbst mittels Lysimetermessungen haben solche Messungen bisher nicht zum Ziel geführt.

Nach der Literatur (LUETSCHG 1944, BINGGELI 1961, KELLER 1961, WALSER 1964) hält sich die Landesverdunstung in unseren Breiten in recht engem Rahmen. Für unsere Fragestellung, Landesverdunstung als Glied der hydrologischen Gleichung, können wir uns an die detaillierten Arbeiten von BINGGELI (1974) zu diesem Thema im Langetetal halten. Er gibt für die zehnjährige Messperiode 1959–1968 den Wert von 445 mm/a (= rund 40% Niederschlag) Verdunstungshöhe an. Die mittlere Höhe des Einzugsgebietes beträgt 713 m ü.M. Da die Nachbargebiete Roth und Oenz ähnlichen Charakter aufweisen, dürfte dieser Wert auch dort gültig sein. Der unterschiedlichen Höhendifferenz kann nach der Regression von BINGGELI (1974) Rechnung getragen werden.

Der mittlere Niederschlag der zehnjährigen Periode 1959–1968 (Kalenderjahre) beträgt 1150 mm gegenüber 1058 mm der Periode 1969–1973. Die mittlere Abflussmenge von Langeten-Lotzwil betrug 1959–1968 (Kalenderjahre) 2,08 m³/sec, 1969–1973 2,03 m³/sec. Niederschlag und Abfluss sind etwas höher als in der neusten Periode. Entsprechend der Abhängigkeit der Verdunstung vom Niederschlag ist auch die Verdunstung höher zu veranschlagen. Die entsprechend reduzierten Verdunstungshöhen betragen:

Langete bis Lotzwil	$V_L = 435$ mm
Roth	$V_L = 430$ mm
Oenz	$V_L = 435$ mm

Zum Problemkreis Verdunstung bringt JUFER (1974) einen Beitrag. Ob seine auf gemessenen Werten basierenden Verdunstungsgrössen die bisherigen Ansichten stützen oder in Frage stellen, kann noch kaum entschieden werden. In seiner Arbeit zur Verdunstung in den Wässermatten kommt er auf einen Verdunstungswert $V_{\text{pot}} = 601$ mm. Wie der Index sagt, handelt es sich um die potentielle Verdunstung, die gegenüber der aktuellen auf das Gesamtgebiet bezogen, zu hoch liegt. JUFER gibt als mögliche Spanne 150 mm an. Nach seinen Ausführungen dürfte das Jahr 1973 zudem, infolge günstiger klimatischer Bedingungen, überdurchschnittlich verdunstungsintensiv gewesen sein. Damit erhält der über die Regression von BINGGELI (1974) berechnete Wert eine gewisse Stützung von der experimentellen Seite her.

In unserer Arbeit interessiert uns speziell auch die Frage des Einflusses der Wässermatten auf den Wasserhaushalt. Bei der flächenhaften Überflutung der Matten ist man geneigt, für diese Teile der Einzugsgebiete eine grössere Verdunstung anzunehmen. JUFER (1974) weist in seiner Arbeit zu diesem Thema nach, dass die aktuellen Verdunstungswerte in den Matten eher tiefer liegen als in unbewässerten Flächen.

4.5. Hydrologische Bilanzen

4.5.1. Allgemeines

Um die mengemässigen Beziehungen des Wasserhaushaltes von Einzugsgebieten darzustellen, steht die Wasserhaushalts-Gleichung (hydrologische Bilanz) zur Verfügung:

$$N = A_o + A_u + V \pm R$$

N = Niederschlag

A_o = Oberflächenabfluss

A_u = unterirdischer Abfluss (Grundwasser)

V = Verdunstung

R = Vorratsänderung (Rücklagen und Aufbrauch)

Bei Fremdwirkungen ist diese Grundgleichung mit den nötigen Faktoren zu erweitern.

Die Vorratsänderung (R) kann in den hier behandelten Einzugsgebieten in Form von Schneedecken (+), Schneeschmelze (–), Grundwasser oder Bodenfeuchte bestehen. Da wir mit dem hydrologischen Jahr, beginnend am 1. Oktober, arbeiten, kommt für (R) nur Grundwasser und Bodenfeuchte in Frage.

Für die Bodenfeuchte liegen keine Werte vor. Da die Grundwasserstände zu Beginn und Ende der Untersuchungsperiode durchschnittlich in der gleichen Höhe liegen, kann (R), auf die ganze Periode bezogen, vernachlässigt werden.

Mit diesem Kapitel kommen wir zu einem der beiden Hauptziele dieser Arbeit. Während in den vorangehenden Kapiteln die Einzelheiten der Gleichungsglieder zusammengetragen wurden, können diese hier nun zur Synthese zusammengefügt werden. Für die Einzugsgebiete der Roth und Oenz werden erstmals hydrologische Bilanzen vorgelegt. Für die Teileinzugsgebiete der Langete wurden die Bilanzen für die Untersuchungsperiode erstellt. Sie erfolgen als nahtloser Übergang zu den von BINGGELI (1974) für die vorangehenden zehn Jahre erstellten Wasserhaushalts-Rechnungen.

4.5.2. Hydrologische Bilanz des Rothtals (R₁+R₂)

Für die fünfjährige Periode 1969–1973 wurden folgende hydrologische Grössen ermittelt:

Niederschlag (N)	1032 mm	aus Niederschlagskarte
Abfluss (A _o)	448 mm	aus Abflussmessungen
Verdunstung (V)	430 mm	nach BINGGELI (1974)

Nach der Grundgleichung Niederschlag = Abfluss + Verdunstung entsteht ein Manko von $\Delta = 154$ mm. Die Gleichung muss offenbar erweitert werden. Da die Grössen Niederschlag und Abfluss gut gesichert sind (= gemessen), muss V überprüft werden. Dafür haben wir aber keine Möglichkeit, weil sich die Landesverdunstung nicht messen lässt. Es gibt aber kaum Gründe, den gut belegten V-Wert von BINGGELI (1974), errechnet im Langetetal, für dieses Nachbargebiet von grosser Ähnlichkeit, in Zweifel zu ziehen. Die klimatischen Verhältnisse sind als praktisch identisch zu bezeichnen. Bodenbedeckung und Vegetation als weitere wichtige Parameter zur Gebietsverdunstung sind weitgehend ähnlich. Eine Differenz ergibt sich in der mittleren Höhe über Meer (Langete = 713 m, Roth = 592 m). BINGGELI hat diese Abhängigkeit der Verdunstung von der

Meereshöhe untersucht und kommt dabei in starke Nähe der Regressionsgerade von LUETSCHG (1945). Entsprechend der Höhendifferenz musste daher die Verdunstung im Rothtal auf 430 mm erhöht werden.

$$N = A + V + \Delta$$

$$1032 = 448 + 430 + 154 \text{ mm}$$

Im Kapitel Abfluss haben wir dargelegt, dass ein geringer Teil des Oberflächenwassers unregistriert abfließt. Stichprobenmessungen ergaben einen mittleren Abflussbetrag von 2 mm, bezogen auf das gesamte Einzugsgebiet. Die korrigierte Abflusshöhe beträgt somit 450 mm.

$$1032 = 450 + 430 + 152 \text{ mm}$$

Damit bleibt noch eine Differenz von 152 mm, die über die bis jetzt vorhandenen Gleichungsglieder nicht zu erklären ist. Für eine Erklärung bleiben zwei Möglichkeiten offen. Entweder fließt ein Teil des Rothwassers im Untergrund als Grundwasser ab oder geht als Verlustwasser verloren, weil das Roth-Einzugsgebiet hydrologisch nicht geschlossen ist. Beiden Erklärungen stehen Hindernisse im Wege.

Nach Ansicht der geologischen Fachkreise (TSCHACHTELI 1949) fließen im Talquerschnitt auf der Höhe der Limnigraphenstation keine nennenswerte Grundwassermengen ab (vgl. Kap. 4.3.). Die Aufschlüsse an den Talhängen bestätigen dieses Bild. Im Bachbett selbst ist die anstehende Molasse im Raume des Querschnittes meist aufgeschlossen und die Roth wirkt als Vorfluter. Allerdings fehlen die Aufschlüsse im Talboden selbst. Hier könnte durch eine alte verdeckte Rinne eine grössere Menge Grundwasser abfließen. Der Verlustwasserhypothese steht entgegen, dass in den zahlreichen Begehungen keine Indizien für Wasserverluste in Nachbargebieten gefunden wurden. Der Verfasser hat insbesondere die Wasserscheiden und die obersten Teile der benachbarten Einzugsgebiete daraufhin kartiert.

In beiden Fällen, Grundwasser und Verlustwasser, gibt es plausible Gegengründe, jedoch keine positiven oder negativen Beweise. Die Frage, ob die fehlenden Wassermengen als Grundwasser abfließen oder im Nachbargebiete verloren gehen, muss offen gelassen werden. Somit bleiben zwei Bilanzgleichungs-Alternativen:

$$N = A + V + \text{GW oder Verlustwasser}$$

$$1032 = 450 + 430 + 152 \text{ mm}$$

4.5.3. Hydrologische Bilanzen im Langetetal

4.5.3.1. Einzugsgebiet bis Häbererbad (L_1)

Die hydrologischen Grössen lauten:

$$N_1 = 1094 \text{ mm}$$

$$A_{o1} = 647 \text{ mm}$$

$$V_1 = 425 \text{ mm} \quad \text{nach BINGGELI (1974) reduziert}$$

$$\underline{\Delta_1 = 22 \text{ mm}} = \text{Grundwasser oder Verlustwasser}$$

Für die Differenzen gelten grundsätzlich die gleichen Erklärungsmöglichkeiten wie bei der Roth. Solange keine anderslautenden Indizes oder Beweise vorliegen, möchten wir die Ansicht der weitgehenden hydrologischen Geschlossenheit des Teileinzugsgebietes gegen das mittlere Langetetal bestehen lassen (JAECKLI 1967). Dies um so mehr als mit nur 22 mm Grundwasserhöhe eine geringe Differenz vorliegt, die auch im Messfehler liegen könnte.

4.5.3.2. Einzugsgebiet bis Lotzwil (L_1+L_2)

Bilanzwerte:

$$N_{1+2} = 1058 \text{ mm}$$

$$A_{o1+2} = 560 \text{ mm}$$

$$V_{1+2} = 435 \text{ mm}$$

$$\underline{\Delta_{1+2} = 63 \text{ mm}} = \text{Grundwasser (} A_{u1+2} \text{)}$$

Auch hier stellt sich wieder die Frage nach der Zuweisung des Δ . In diesem Falle jedoch kann die Geschlossenheit des Gebietes als gesichert gelten, so dass Δ eindeutig dem Grundwasser zugewiesen werden kann.

4.5.3.3. Einzugsgebiet Häberenberg bis Lotzwil (L_2)

Es ist nun interessant zu untersuchen, wie die gefundenen Resultate von L_1 und (L_1+L_2) mit jenen dieses Teileinzugsgebietes übereinstimmen.

Bei der Station Häberenberg erhält L_2 im Langeteabfluss von L_1 gewissermassen einen Fremdwasserzufluss. Die hydrologische Bilanz stellt sich daher, aufgelöst nach A_{u2} , zu

$$A_{u2} = N_2 + A_{o1} - A_{o(1+2)} - V_2 + QM - A_{u1}$$

$$A_{u2} = 1017 + 699 - 1151 - 440 + 15 - 24 \text{ mm}$$

$$\underline{A_{u2} = 116 \text{ mm}} (= 0,204 \text{ m}^3/\text{sec})$$

$$\left. \begin{array}{l} A_{u1} \\ A_{u2} \\ A_{u1+2} \end{array} \right\} \text{unterirdischer Abfluss (GW) aus den Langeten-Teileinzugsgebieten } L_1, L_2, L_1+L_2$$

$$A_{o1} = \text{Zufluss Oberflächenwasser aus } L_1$$

$$QM = \text{Grundwasserverlust durch Ableitung aus dem Einzugsgebiet durch Madiswiler Fassungen}$$

Der Betrag A_{u2} ist damit mehr als doppelt so gross wie für das Gesamtgebiet (A_{u1+2}). Dies bedingt einen Fremdwasserzutritt in L_2 oder den Verlust von Oberflächenwasser ins Grundwasser. Wir haben bereits dargelegt, dass wir das untere Einzugsgebiet bei Häberenberg als hydrologisch geschlossen erachten. Der «Verlust» von Oberflächenwasser ins Grundwasser wird mit den Infiltrationen in den Wässermatten erklärt (vgl. Kap. 7).

Diese Interpretation stimmt nicht überein mit der Ansicht, dass im Talquerschnitt von Lotzwil nur geringe Grundwassermengen ins Langenthaler Feld übertreten (RUTSCH 1964).

4.5.3.4. Einzugsgebiet Lotzwil bis Murg (L_3)

Dieser unterste Abschnitt des Langetetales ist hydrologisch bedeutungsvoll. Hier liegen die weiten Schotterfelder mit ihrer grossen Grundwasserspeicherung und hier gelangt das Grundwasser zum Abfluss in die Oberflächengewässer. Dieses Gebiet war denn auch Gegenstand einiger älterer Untersuchungen (HUG 1918 und 1945, GYGAX + HUEGLI 1946, CADISCH 1964).

Die hydrologische Geschlossenheit des Teileinzugsgebietes L_3 ist nicht gesichert. Die Trockentalrinne vom Oenztal her ist im Querschnitt des Dennli-Langenthal nur mit einer Stichbohrung erbohrt. GYGAX und HUEGLI (1946) kamen zum Schluss, dass kein Grundwasser vom Oenztal her zufliesst. BINGGELI (1974) nimmt einen Zufluss von 70 mm an. Nach den Bilanzwerten der Oenz und den WSP-Beobachtungen neigen wir heute zur Ansicht der älteren Autoren. Hingegen dürfte das Grundwassergebiet gegen Westen durch die Moränen bei Bützberg geschlossen sein.

Die Wasserhaushaltsbeziehungen sind kompliziert durch interne Austauschvorgänge. Unter der Voraussetzung, dass der oberirdische Zufluss (A_{o2}) ohne Verluste L_3 durchfließt, erhalten wir folgenden Wasserhaushaltsgleichung für L_3 :

$$A_{u3} = N_3 + A_{u2} - (V + A_{o3 \text{ dir}} + A_{ARA})$$

$$A_{u3} = 1025 + 250 - (445 + 270 + 90) \text{ mm}$$

$$A_{u3} = 470 \text{ mm}$$

Erläuterung: vgl. Abbildung 29

Im Querschnitt von Lotzwil erhält L_3 einen Grundwasserzufluss (A_{u2}) von 250 mm. Der Niederschlag (N_3) beträgt 1025 mm. Der vom gefallenem Niederschlag nicht verdunstete Anteil sickert grösstenteils ein. Allfällige Hochwasserabflüsse durch die Kanalisation werden beim Limnigraphen «Brunnbach» registriert. Der ungemessene oberirdische Abfluss im Gerinne aus L_3 (A_{dir}) beträgt geschätzt, unter Berücksichtigung der guten Durchlässigkeit des Untergrundes, 270 mm. Als Verdunstung (V_3) wurde (reduziert nach BINGGELI 1974) 445 mm eingesetzt. Der in den Grundwasser-messungen nicht enthaltene Anteil des ARA-Abwassers (A_{ARA}) beträgt 90 mm (ohne Anteil Madiswiler Wasser).

Da der gemessene Grundwasserabfluss A_{o3} umgerechnet auf die Fläche des Einzugsgebietes (25,8 km²) 1177 mm entspricht, muss das Grundwasser zusätzlich durch internen Austausch gespeisen werden. Es sind dies verschiedene Formen der Infiltration:

- direkte Infiltrationen aus dem Bachbett (I_{dir})
- Wässerungsinfiltrationen (I_w)
- Hochwasserinfiltrationen (I_{Hw})

Gesamthaft betragen sie nach der aufgeführten Bilanz 707 mm oder 0,578 m³/sec im Mittel der Periode 1969–1973 (vgl. Kap. 6).

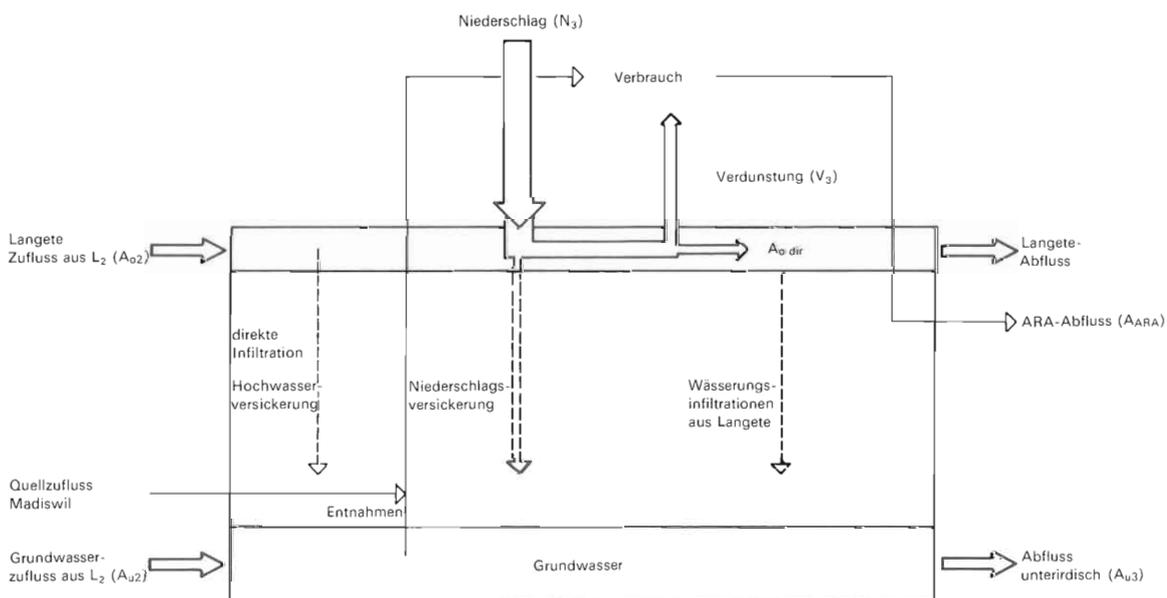


Abb. 29 Schema zum Wasserhaushalt im Einzugsgebiet L_3

4.5.4. Hydrologische Bilanz des Oenztals (O₂)

Bilanzwerte:

$$N = 986 \text{ mm}$$

$$A = 625 \text{ mm}$$

$$V = 440 \text{ mm}$$

$$\Delta = -79 \text{ mm}$$

Dieser Wert muss noch geringfügig korrigiert werden, da im Abfluss (A) noch einen Anteil Fremdwasser aus O₁ von 19 mm enthält (vgl. Kap. 4.2), so dass für O₂ eine Differenz $\Delta = -60$ mm resultiert.

Im Gegensatz zu den behandelten Nachbargebieten zeigt die Oenz ein inverses Bilanzgesicht. Die Summe von Gebietsverdunstung und Abfluss übertrifft die Niederschlagshöhe. Als Erklärung steht die hydrologische Offenheit des Einzugsgebietes im Vordergrund. Nach der Quartärgeologie zu urteilen, kann für das Gebiet Aeschisee/Oberönz eine hydrologische Verbindung angenommen werden, über den Raum Röthenbach/Inkwil bestehen in dieser Hinsicht kaum Angaben. Auch hier sind Fremdwasserzutritte im Untergrund leicht denkbar. Da zudem die Oenz von Wanzwil flussabwärts bis Graben die Funktion eines Vorfluters hat, ist anzunehmen, dass der Abfluss (A) bei der Station Berken dem Total des ober- und unterirdischen Abflusses entspricht. Aus dieser Sicht fällt es uns daher nicht schwer, den übergrossen Abfluss der Oenz in Berken zu erklären. Der übernommene und auch in den Nachbargebieten eingesetzte V-Wert erhält durch das Resultat der Oenz eine weitere Stütze. Während in den Flussgebieten der Roth und Langete die Verdunstung innerhalb der Bilanz nur zu klein sein kann, erscheint sie bei der Oenz zu gross.

5. Wässerungen und Wasserhaushalt

Da nur im Langetental genügend Information vorliegt, wird der Frage der Beziehungen zwischen den Bewässerungen und dem Wasserhaushalt am Beispiel der Einzugsgebiete im Langetental nachgegangen. Zur Abrundung des Bildes soll kurz auf die Verhältnisse in den Nachbargebieten Roth und Oenz eingegangen werden.

Im Einzugsgebiet der Roth sind Wässerungen durch Beobachtungen belegt. Trotzdem ist eine Bezifferung der Einflüsse schwierig. In der hydrologischen Bilanz der fünfjährigen Beobachtungsperiode 1969–1973 erscheint ein Grundwasserabfluss bzw. ein Verlustwasseranteil von 152 mm. Falls diese 152 mm oder $0,266 \text{ m}^3/\text{sec}$ im Grundwasser abfließen, wird ein Teil aus Wässerungsinfiltrationen bestehen. Der geringe spezifische Oberflächenabfluss von $14,1 \text{ l/sec} \cdot \text{km}^2$ der Roth gegenüber den Nachbargebieten weist auf Verlust von Oberflächenwasser ins Grundwasser hin. Bezeichnenderweise beträgt der spezifische Abfluss des Einzugsgebietes L_2 zwischen Huttwil und Lotzwil mit $14,3 \text{ l/sec/km}^2$ den gleichen Wert auf. Da im Langetental dieser Mechanismus mit seinem Einfluss auf das Grundwasser belegt werden kann, darf diese Erklärung auch für die Roth herangezogen werden.

Im Oenzgebiet funktionierten die Wässerungen in der Beobachtungsperiode bereits nicht mehr. Eine Ausnahme bildeten kleinere Wässerungen am Unterlauf unterhalb Wanzwil, doch sind diese Wässerungsinfiltrationen wegen der schnell wieder eintretenden Vorflut nicht grundwasserwirksam und beeinflussen die Gesamtbilanz nicht. Allerdings haben die Oenz-Wässermatten auch über ihren Auflassungszeitpunkt hinaus noch Wirkung. Die noch vorhandenen Gräben des Bewässerungssystems nehmen bei Hochwasser bedeutende Wassermengen auf und verteilen sie in den unterliegenden Wiesen und Äckern. So kann bei Hochwasserereignissen der Grundwasserspiegel ähnlich reagieren wie in typischen Wässermattengebieten.

Im Langetental ergeben sich in den drei Teileinzugsgebieten recht verschiedene Bilanzen, deren Zusammenhang mit den Auswirkungen des Bewässerungssystems teilweise erklärt werden kann.

Im obersten Einzugsgebiet der Langeten L_1 sind keine Wässermatten mehr zu finden. Die Bilanz ist mit dem Niederschlag auf der einen Seite und dem oberirdischen Abfluss und der Verdunstung auf der andern Seite ungefähr im Gleichgewicht.

Im mittleren Einzugsgebiet L_2 ergibt sich nach der Bilanz ein Grundwasseranteil von 116 mm. Dieser Grundwasseranteil fließt im Querschnitt von Lotzwil in den Talschottern ins unterste Einzugsgebiet L_3 über. Wir haben damit in L_2 den gleichen Fall wie im Rothtal. Der Grundwasseranteil kann jedoch gemessen werden. Der spezifische Oberflächenabfluss von L_2 ist mit $14,3 \text{ l/sec} \cdot \text{km}^2$ wesentlich geringer als in L_1 mit $20,6 \text{ l/sec} \cdot \text{km}^2$. Der gesamte spezifische Abfluss von L_2 ($A_o + A_u$) beträgt $18,0 \text{ l/sec} \cdot \text{km}^2$ und liegt damit in der Nähe jenes von L_1 . Daraus lässt sich der Schluss ziehen, dass innerhalb der hydrologischen Bilanz von L_2 eine Verschiebung vom A_o zum A_u stattfindet.

Diese Verschiebung kann als direkte Versickerung aus dem Bachbett oder als indirekte Versickerung über die Wässermatten erfolgen. Nach unseren Untersuchungen im untersten Langetenabschnitt ist die direkte Versickerung aus der Langeten nur gering. Die 116 mm setzen sich also vorwiegend aus Wässerungsversickerungen und Niederschlagsversickerungen zusammen. Diese beiden Anteile zu trennen ist kaum möglich, da Austauscherscheinungen zwischen Oberflächengewässern und Aquifer stattfinden.

Im Einzugsgebiet L₃ kann die hydrologische Bilanz nach den Wässerungsinfiltrationen (I_w) aufgelöst und damit diese Grösse rechnerisch bestimmt werden:

$$\begin{aligned} I_w &= A_{u3} + V_3 + A_{o \text{ dir}} + A_{ARA} - (N_3 + A_{u2}) \\ I_w &= 1177 + 445 + 200 + 90 - (1025 + 250) \text{ mm} \\ I_w &= \underline{707 \text{ mm}} \text{ oder } 0,578 \text{ m}^3/\text{sec} \end{aligned}$$

Der Wert von $I_w = 707 \text{ mm}$ setzt sich zusammen aus den Wässerungsinfiltrationen in den Wässer-matten, den Hochwasserversickerungen und den direkten Infiltrationen aus dem Bachbett. Die Untersuchungen über den Verlust von Langetenwasser ins Grundwasser haben gezeigt, dass bei Normal- und Niedrigwasser keine messbaren direkten Infiltrationen vorliegen. Auch der Tracer-versuch von 1971 (LEIBUNDGUT 1971) gab ein negatives Bild. Hingegen ergaben hydrometrische Differenzmessungen, dass bei grösseren Hochwassern die abgedichtete Bachsohle aufgerissen wird und grössere Verluste auftreten. Mit der Abnahme der Abflussmengen gehen auch die Infiltrationen schnell zurück, deren Dauer in der Regel weniger als einen Monat beträgt. Die mittlere direkte Ver-sickerung aus dem Bachbett im Abschnitt Lotzwil–Roggwil liegt bei etwa 25–31 l/sec oder maximal 1:25 gegenüber den Wässerungsinfiltrationen. Dieser Betrag wurde nach den Differenzen-Abfluss-messungen auf der Teststrecke Grunholz–Roggwil errechnet.

Die Hochwasserversickerungen betragen in der Periode 1971–1973 etwa 1 Mio m³ oder 0,034 m³/sec oder 42 mm umgerechnet auf das ganze Einzugsgebiet. Da beim November-Hochwasser 1972 grosse Wassermassen auch ausserhalb des eigentlichen Versickerungsgebietes im Hardwald ver-sickert sind, rechnen wir vorsichtig mit 80 mm Hochwasser-Versickerungsanteil am Grundwasser.

Damit ergibt sich für die direkte Infiltration aus dem Bachbett plus den Hochwasserversickerungen ein Betrag von rund 120 mm. Die reine Wässerungs-Infiltrationsgrösse liegt damit bei rund 587 mm Grundwasserabflusshöhe.

6. Zur Grundwasserwirksamkeit der Wässermatten

Nachdem aus der hydrologischen Bilanz die Hypothese der bedeutenden Grundwasserspeisung durch Wässerungs-Infiltrationen abgeleitet wurde, gilt es, diesen Ansatz experimentell zu erhärten und letztlich zu beweisen.

Die Einflüsse der Wässerungen auf den Grundwasserspiegel sind deutlich und können qualitativ unschwer mit einigen Fallstudien belegt werden. Die detaillierte quantitative Erfassung ist mit dem heute noch weitverbreiteten Bewässerungssystem im Langetental sehr schwierig. Die Mengemessungen sind im hydrologischen Testgebiet Grunholz-Roggwil im Gange, stehen aber für diese Arbeit noch nicht zur Verfügung.

Eine unbedingte Voraussetzung zu einer starken Grundwasserwirksamkeit von Wässerungen ist die Sickerleistung des Untergrundes. Messungen in grossflächigen Versuchen in situ ergaben durchschnittliche Sickerleistungen von $2-6 \text{ m/m}^2 \cdot \text{d}$. Da die mittleren horizontalen Fliessgeschwindigkeiten noch höher sind, können auch sehr grosse Sickerwassermengen katastrophalen Ausmasses (Überschwemmungen) im Grundwasserleiter ohne weiteres abgeführt werden.

6.1. Langfristige Grundwasserbewegungen

Da die Auflassung der Wässermatten im Langetental sich über Jahrzehnte erstreckt, muss auch die Abnahme der Grundwasserspeisung durch Wässermatten langfristig untersucht werden. Während dafür zur Errechnung von Bilanzwerten nur zu kurze Zeiträume zur Verfügung stehen, sind einzelne Messstellen seit über zwanzig Jahren erfasst und ermöglichen so einen guten Einblick in die Langzeitverhältnisse. Im Roth- und Oenztal fehlen langjährige Beobachtungen gänzlich.

In der Fassung Hard-Langenthal (G270) kann der Grundwasserspiegel bis 1947 zurückverfolgt werden. Die Grundwasserstände sind in Abbildung 30 in Funktion der Zeit in absoluter Höhe eingetragen. Bei einer recht grossen Streuung der einzelnen Jahreswerte (u.a. Hochwasserversickerungen im Hardwald) ist ein sinkender Trend unverkennbar. Die eingezeichnete Regressionsgerade entspricht der mittleren Absenkung, welche im Zeitraum 1947–1973 etwas mehr als durchschnittlich 9 cm pro Jahr beträgt oder rund 2,4 m gesamthaft.

Die Abbildung 31 gibt einen Überblick anhand dreier Beobachtungspunkte über den Zeitraum 1920–1968 in Gegenüberstellung zum Niederschlag (BINGGELI 1974). Der Mumenthaler Weiher spiegelte früher den freien Grundwasserspiegel in einer mittleren Höhe von 449 m ü. M. wieder. Seit Beginn des letzten Weltkrieges sank nun dieser Wasserspiegel ständig, um dann bis 1970 zeitweise unter die Sohle des Weihers, d.h. unter 447 m ü. M. zu fallen. Auch die Grundwasseraufstösse in Madiswil und die Hardfassung weisen die gleiche sinkende Tendenz auf. Die Niederschlagsmengen jedoch sind, bei grösseren Streuungen der Einzeljahre, gleich geblieben.

Ein augenfälliges Mahnmal stellt der Oberlauf des Brunnbaches im Raume Kaltenherberge dar. Während der Brunnbach früher, wie sein Name sagt, als Quellbach funktionierte und das austretende Grundwasser sammelte und abführte, hat sich seine ursprüngliche Funktion ins Gegenteil verkehrt. Die Abbildung 32 zeigt, wie der Grundwasserspiegel bei Normalwasserstand rund 1 m unter der Bachsohle liegt und nur bei Überschwemmungs- oder Wässerungsversickerungen darüber steigt. Der Brunnbach ist in diesem Abschnitt zum Sickerbach geworden. Von den rund 50 früheren Grundwasseraufstössen sind heute 30 trockengefallen.

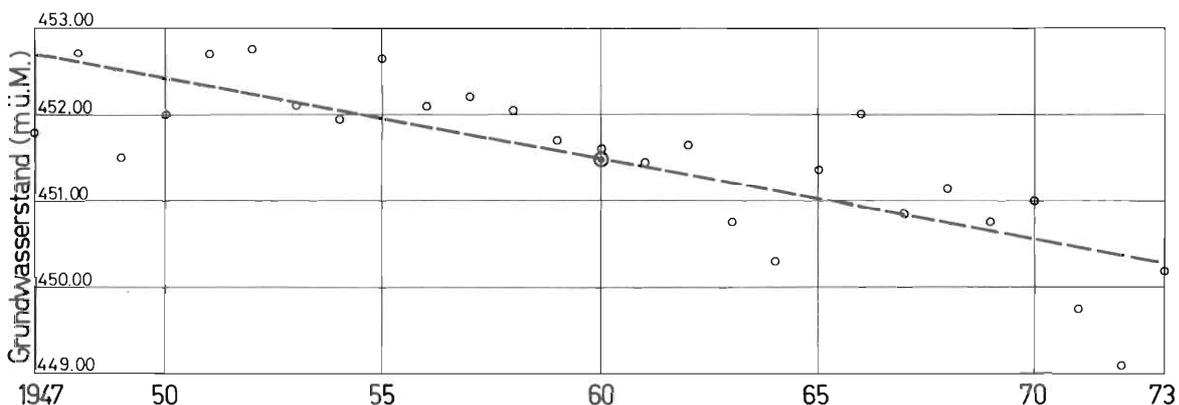


Abb. 30 Grundwasserstand und Trend 1947–1973 in der Fassung Hard (G 270)

- mittlere jährliche Grundwasserstände
- mittlerer Grundwasserstand 1947–1973
- - - Trendlinie der durchschnittlichen Absenkung

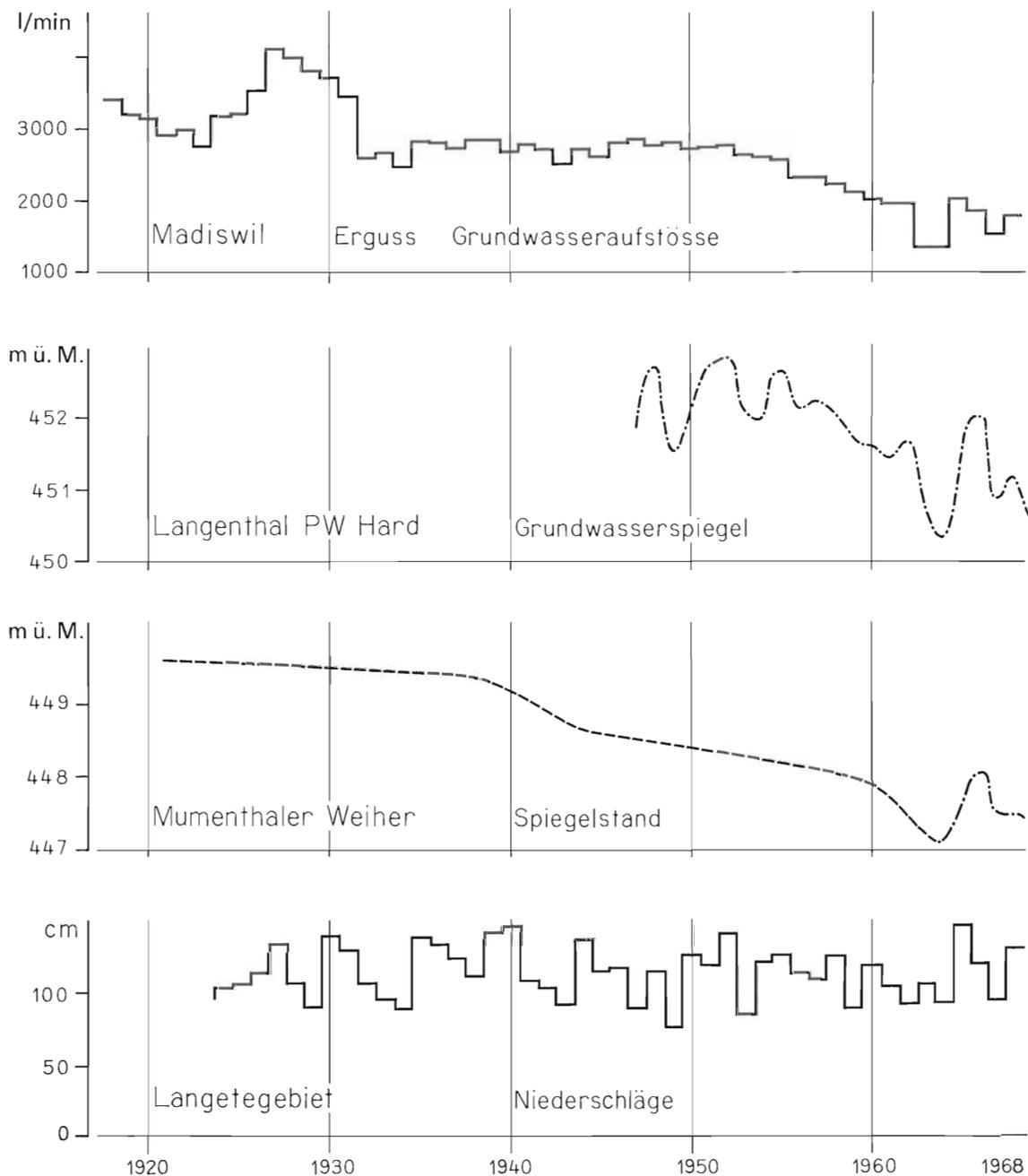


Abb. 31 Grundwasserstände und Niederschlag seit 1920. Absenkung des Grundwasserspiegels bei gleichbleibenden Niederschlagsmengen. Aus BINIGELI 1974.

In Abbildung 33 sind die mittleren monatlichen Grundwasserstände von zwei zweijährigen Messreihen aus dem Raume Kaltenherberge von 1957/1958 bzw. 1970/1971 dargestellt. Während die zeitliche Verteilung gleich geblieben ist, beträgt die Absenkung ebenfalls rund einen Meter.

Zusammenfassend zeigt sich damit eine gleichartige Grundwasserabsenkung über das ganze Grundwassergebiet im mittleren und unteren Langetental. Wie der Vergleich der früheren Resultate mit den heutigen Werten zeigt, entspricht der Rückgang einem verminderten Quellertrag in den Brunnmatten von 40–50%. Dieser hohe Betrag gilt nicht für den Quellertrag der Hauptquelle der Fassung Roggwil in der Menge. Der Rückgang dieser Quellschüttung liegt bei 5%.

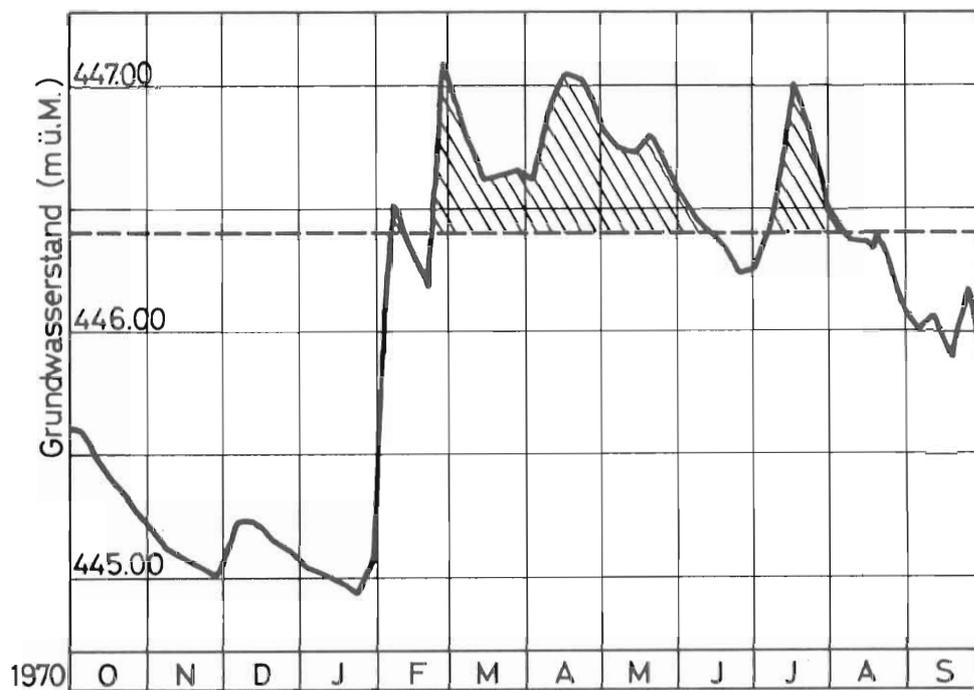


Abb. 32 Vom Quellbach zum Sickerbach. Zeitweilige Umkehr der Quellbachfunktion des Brunnbaches in die eines Sickerlaufes infolge Grundwasserabsenkung
 - - - Niveau Bachsohle, schraffiert: Phasen von Grundwasserabfluss im Brunnbach

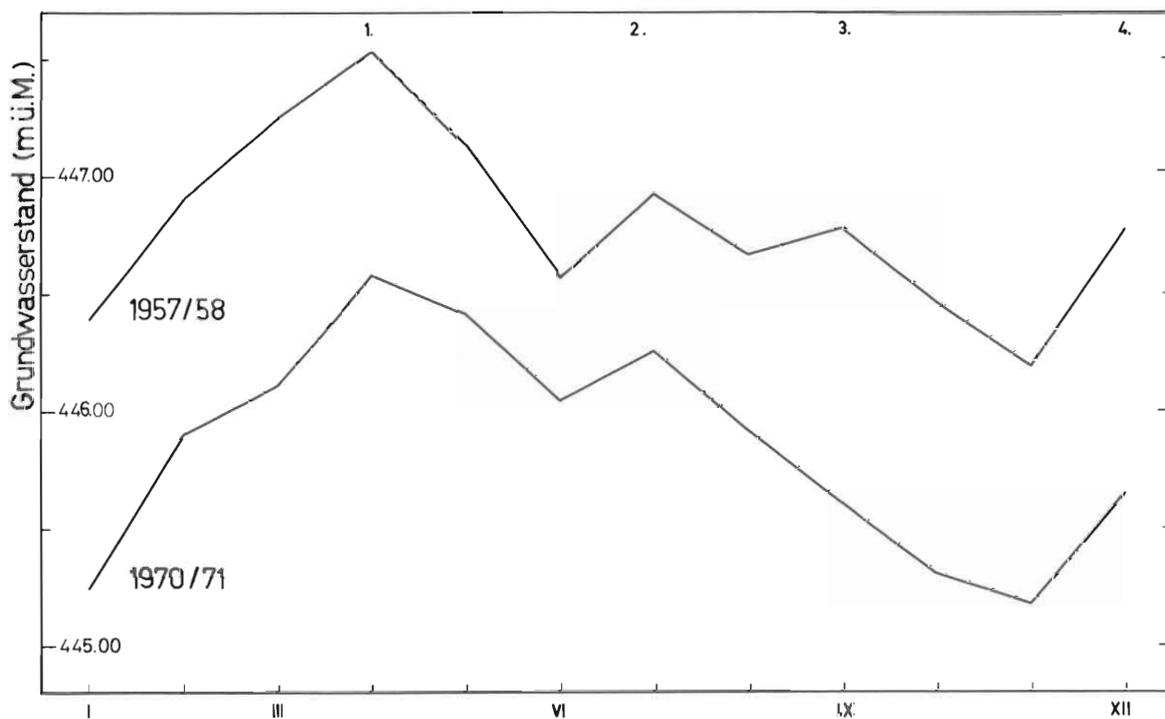


Abb. 33 Ganglinien des Grundwasserstandes bei G210. Monatsmittel der Jahre 1957/58 und 1970/71. Die Grundwassersenkung beträgt rund 1 m.
 1., 2., 3., 4. Wässerungsperioden

6.2. Wässerungen und Grundwasserstand

Sind im vorangehenden Kapitel die negativen Auswirkungen der Verminderung von Wässermatten-Sickerflächen auf das Grundwasser besprochen worden, sollen nun anhand einiger Fallstudien die positiven Auswirkungen von Wässerungen auf das Grundwasser gezeigt werden. Der Einfluss der Wässerungsversickerungen auf den Grundwasserspiegel lässt sich sowohl in Einzelereignissen als auch in den Mittelwerten verfolgen.

Die Abbildung 34 zeigt das Resultat einer Messreihe in der Trockenperiode Ende 1971 in den unteren Langenthaler Matten. Neben der gesamthaft steigenden Tendenz der Ganglinie ist auch eine direkte Abhängigkeit von den Wässerungen unverkennbar. Verglichen mit den Grundwasser-Ganglinien von Messstellen ausserhalb der Wässerungsbereiche (hier ausgedrückt als natürlicher Grundwasserspiegel) zeigt diese eine gegenläufige Bewegung. Die mittlere Differenz zwischen natürlichem und angerichertem Grundwasserspiegel beträgt 1,39 m. In der 35tägigen Beobachtungsperiode sind rund 800000 m³ Wässerswasser versickert, die im Raume Brunnmatt als Grundwasser wieder zutage getreten sind.

Die Möglichkeit, durch Wässerungen die Grundwasserergiebigkeit zu steigern, haben einzelne, mit der Natur oder dem Wasser verbundenen Leute auch in der Vergangenheit schon gekannt und genutzt. Die Nutzung beruhte auf der praktischen Erfahrung. So war bekannt, dass die Schüttungen von Grundwasser-Quellfassungen in den Gemeinden Ursenbach, Madiswil, Lotzwil, Langenthal und Roggwil durch Wässerungen beeinflusst werden konnten. Ebenso steigt der Quellertrag der Grundwasseraufstösse in den Brunnmatten nach Wässerungen in den unteren Langenthaler Matten.

Die Abbildung 35 zeigt den typischen Ganglinienverlauf eines Grundwasservorkommens in rezenten Wässermattengebieten: zahlreiche rasche und starke Grundwasseranstiege, die hier als sehr schmale Peaks hervortreten.

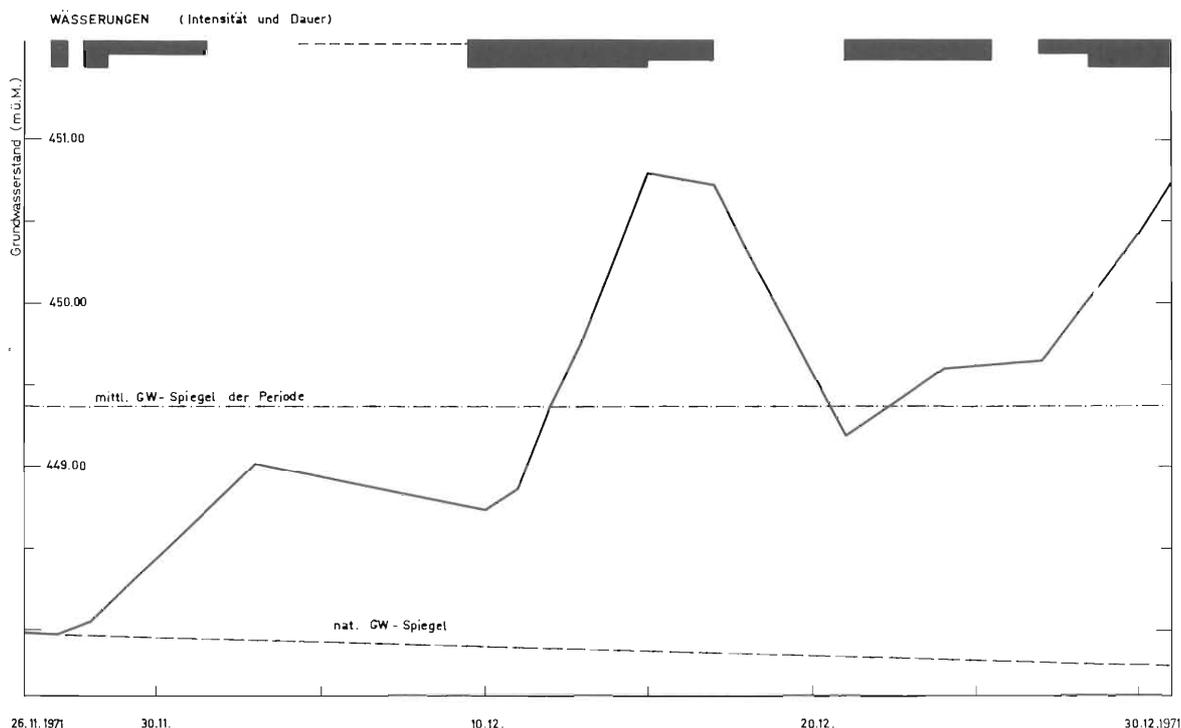


Abb. 34 Wässerung und Grundwasserstand. Messstelle G 274 in den unteren Langenthaler Matten. Der Grundwasserstand wird durch die Wässerungen beeinflusst.

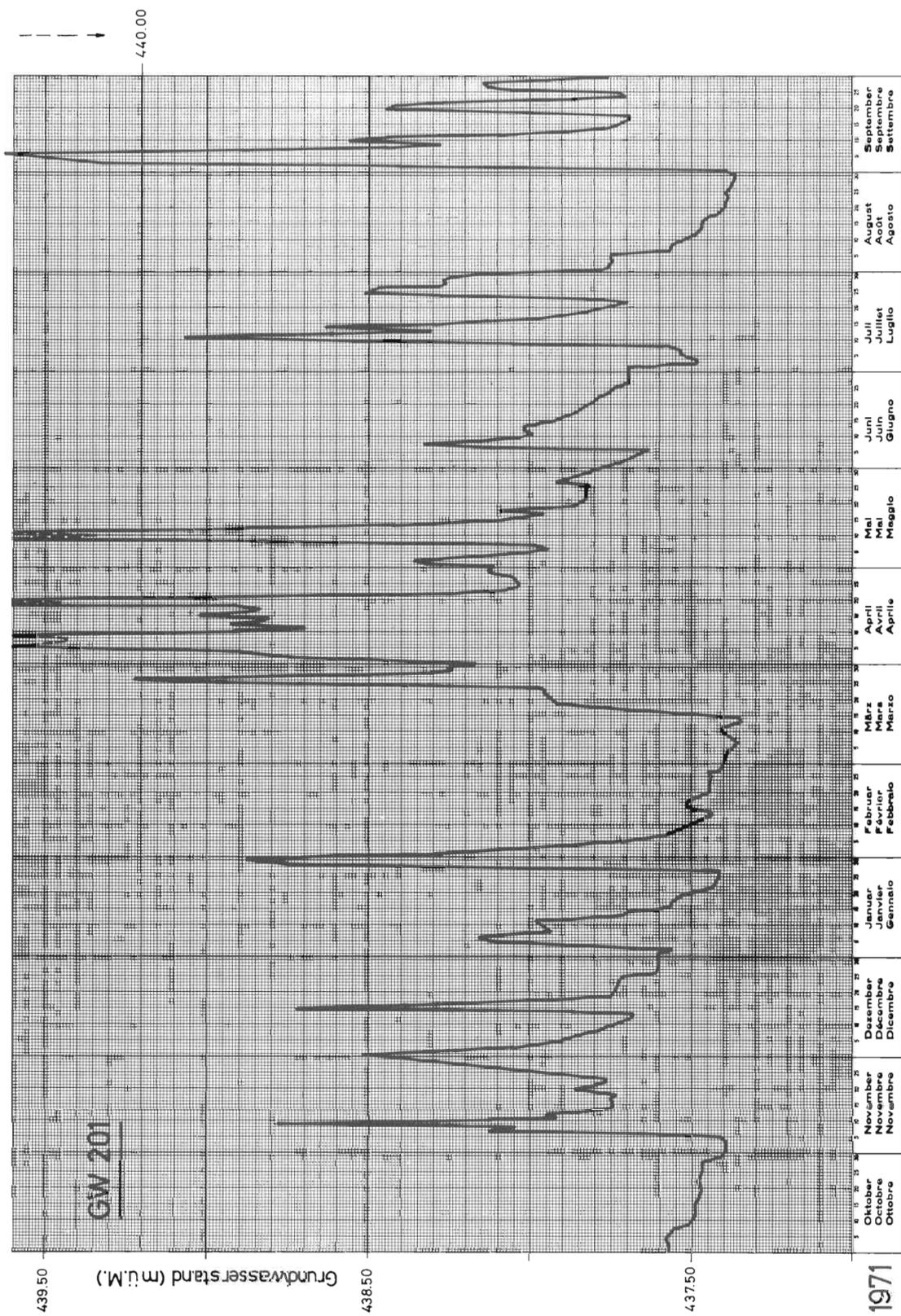


Abb. 35 Typische Ganglinie des Grundwasserspiegels in Wassermattengebieten (Tagesmittel). GW201: Messstelle.

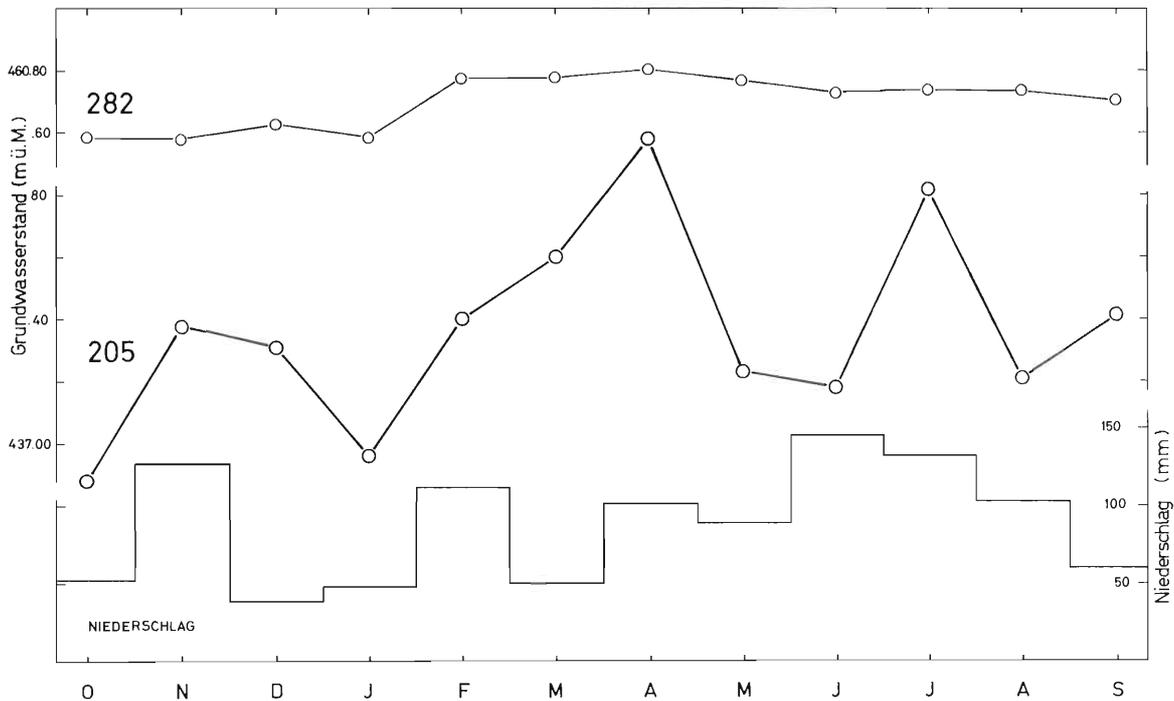


Abb. 36 Vergleichende Darstellung von Grundwasser-Ganglinien aus unbewässertem (282) und bewässertem (205) Gebiet zusammen mit dem Niederschlag (Monatsmittel 1970–73).

Die in Abbildung 36 aufgezeichnete Ganglinie ist charakteristisch für den Grundwasserverlauf in den Wässermattengebieten. Sowohl das Studium historischer Quellen wie rezente Untersuchungen zeigen, dass die Grundwasseranstiege mit den traditionellen Bewässerungsperioden der Landwirtschaft im Frühling, nach dem Heuet, nach dem Emdet und im Herbst/Frühwinter zusammenfallen (BIERI 1949). Diese Anstiege können nur teilweise mit den natürlichen Effekten Niederschlag und Verdunstung erklärt werden; nur die Frühjahrsspitze fällt zusätzlich mit dem natürlichen Jahreshochstand zusammen. Als Beispiel sind in Abbildung die Ganglinien der Beobachtungsstellen 205 (Testgebiet) und 282 (ausserhalb Wässermatten) zusammen mit den monatlichen Niederschlagssummen einander gegenübergestellt. Die Mittel aus der vierjährigen Beobachtungsperiode geben etwas geglättete Werte; in Trockenjahren können die Werte viel stärker schwanken. Bei Niedrigwasserständen im Grundwasser wirkt sich aber die Grundwasseranreicherung verhältnismässig stärker aus.

7. Die Auflassung der Wässermatten und ihre hydrologischen Folgen

Während die Grundwasserabsenkung gemeinhin mit der Versiegelung der Landschaft, den Drainagen und Kanalisationen sowie den gesteigerten Entnahmen erklärt wird, konnte hier dem mit der Natur verbundenen Beobachter nicht verborgen bleiben, dass die Änderung in der Bewirtschaftung der Wässermatten, der bedeutenden Variablen der Grundwasserspeisung, mitbeteiligt sein müsse. Die Gründe dieser Bewirtschaftungsänderung, die zur Auflassung der Wässermatten führt, werden im folgenden erklärt. Die Überführung grosser Matten-Versickerungsflächen in Ackerland und Siedlung hat nach unserer Auffassung zum starken Grundwasserrückgang, wie er in Kapitel 8.1 dargestellt ist, beigetragen. Mit Hilfe von Kartierungen der Wässermattenflächen wird versucht, eine Beziehung zwischen bewässerter Fläche einst und jetzt und der Grundwasserabsenkung herzustellen.

In der Literatur finden sich nur wenige Arbeiten zum gleichen Thema aus vergleichbaren Gebieten des Schweizerischen Mittellandes. WEBER (1970) beschreibt die Bewässerungssysteme des Durach- und Glattales. In beiden Tälern ist die Auflassung aus ähnlichen Gründen erfolgt wie im Oberaargau. Im Durachtal geschah dies vor rund 80 Jahren, im Glattal in neuerer Zeit. Es findet sich in dieser Arbeit keinerlei Hinweis auf die Grundwasserwirksamkeit der Bewässerungen. Im Suhretal hingegen bringt SCHMASSMANN (1970) die Absenkung des Grundwassers ab 1942 mit dem damals begonnenen Umbrechen des Mattenlandes zu Ackerland in Verbindung.



Abb. 37 Ursprüngliche Verteilung des Kulturlandes. Im Vordergrund die Heuwiesen der Wässermatten. Sobald der Hangwinkel ändert, wechselt auch der Anbau. Im Mittelgrund Ackerland und Forstwirtschaft. Aufnahme in den Schwäbedmatten.

Kulturlandschaftliche Wandlungen

Um die Bedeutung der Wässerinnen für die Landwirtschaft erkennen zu können, müssen wir in der Geschichte noch einmal zurückgehen. Der Bau des Bewässerungssystems durch die Mönche von St. Urban im 13. Jahrhundert war von grosser Bedeutung für die damalige Landwirtschaft. Die Wässerungsmöglichkeit befreite den Mattenbesitzer weitgehend von der Willkür des Wetters. Aus unserer Zeit wissen wir, dass selbst in den Trockenjahren 1947 und 1949 die Matten grün blieben. Nur an erhöhten Stellen zeigten sich da und dort gelbe Stellen.

Der zweite und wesentlichste Vorteil ist die mit der Wässerung verbundene Düngewirkung. Wir haben uns die vom Menschen unberührte Naturlandschaft als unfruchtbare Stein- und Wasserwüste vorzustellen. Deshalb ist die Düngung sogar als ursprünglicher Grund zur Wässerung anzunehmen. Ohne die fruchtbare Auflage von Schlamm und Sand aus der Langete wäre eine intensive landwirtschaftliche Nutzung nicht möglich geworden.

Gewässert wird vornehmlich im Frühling, im Sommer nach dem Einbringen von Heu und Emd und im Spätherbst (vgl. Kap. 3 und Abb. 33).

In der alten Dreizelgenwirtschaft war die Viehhaltung in der Grösse abhängig vom verfügbaren Winterfutter. Schon die ältesten Urkunden des Oberaargaus (ZOLLINGER 1906) unterscheiden «prata et pascua»: Wiesen und Weiden. Je höher der Ertrag der Wiesen an Heu und Emd, desto mehr Vieh konnte gehalten werden. Durch vermehrte Viehhaltung konnte zudem die Mistproduktion gesteigert werden. Damit konnte das Ackerland intensiver gedüngt werden. Der Ausbau der Wässerung durch die Mönche war deshalb ein grosser landwirtschaftlicher Fortschritt.



Abb. 38 Ableitung des Langeten-Hochwassers durch die Strassen Langenthals. Entlang der Häuserreihen sind die erhöhten Trottoirs sichtbar. Die Wassertiefe in der Strasse beträgt etwa 70 cm.



Abb. 39 Schleusenanlage im Steinachergraben. Verfallene Britschen werden heute oft nicht mehr ersetzt – Symbol der abnehmenden Bedeutung der Wässermatten für die Landwirtschaft.

Aus den Arbeiten von BINGGELI ist zu entnehmen, dass bei Normalwasserstand die Langeten pro m^3 rund 30 g Schwebstoff mit sich führt. Bei Hochwasser steigt der Schwebanteil auf 500 bis 1000 g per m^3 an. Dieser Schweb wird nun bei Wässerung über den Matten verschwemmt. Es findet damit eine Kolmatierung statt. Die Humusschicht über den Schottern ist durchschnittlich etwa 60 cm mächtig. Neben den mineralischen Stoffen aus dem verwitterten Boden enthält der Schweb auch abgeschwemmte Nährstoffe und Humusbestandteile. Bis zum Aufkommen der Kunstdünger waren diese Wasserinhaltsstoffe ein schier unschätzbare Vorteil der Matten.

Die Verteilung des Kulturlandes war bis vor wenigen Jahren eine recht einfache. Die überschwemmungsgefährdeten Flächen, soweit nicht überbaut, waren weitgehend identisch mit den Matten. Hier, auf den gut durchlässigen Schottern, lag das Grasland. An den Hängen und Terrassen waren die Äcker angelegt (Abb. 37). Es ist dies ein schönes Beispiel dafür, wie mit der Veränderung der Naturgrundlagen, in diesem Falle der Hangneigung, auch die Kulturlandschaft verändert wird. Von der Fruchtbarkeit her wäre das Anlegen von Äckern im Mattenland auch früher möglich gewesen. Aber die Vorteile der Wässerung hätten dann nicht ausgenützt werden können. Vor allem aber scheuten und scheuen die Bauern die berüchtigten Langeten-Hochwasser (Abb. 38), die den Boden, wo er nicht von einer starken Grasnarbe geschützt ist, wegspülen. Das Hochwasser vom 3. September 1969 zeigte dies deutlich. Zwischen Eriswil und Huttwil spülten die Hochwässer flächenhaft und bis 50 cm tief grosse Teile des aufgebrochenen Bodens weg. Die Grasflächen dagegen erhielten nur eine Auflage Schweb und Sand.



Abb. 40 Weideland-Wässermatten. Das Abweiden des letzten Grases im Herbst verbessert die Qualität des Futters. Aufnahme «Unteri Matten».

In der modernen Landwirtschaft sind die segensführenden Graben und Dämmchen zum Hindernis geworden: Der Bauer hat Mühe, im Mattenland seine mechanischen Hilfsmittel, wie beispielsweise Motormäher und Ladewagen, einzusetzen. Wassergräben und Britschen verlangen Unterhalt, sollen sie funktionstüchtig bleiben (Abb. 39). Die Unterhaltsarbeiten lassen sich nicht maschinell ausführen; Handarbeit aber ist heute teuer. Nach Aussagen des Wässerbannwartes werden die Britschen oft nur noch schnell am zweitletzten Tage des Bachabschlages mit alten Laden ausgebessert. So tauchen auch hier früher unbekannte Nachteile auf.

Diese Zeichen sind als deutlicher Hinweis zur Aufgabe der Wässermatten zu verstehen. Die Auflassung der Wässermatten von Oberönz vor einigen Jahren sind ein Beispiel dafür. Mangelndes Interesse führte zu Vernachlässigung der Einrichtungen. Mit dem Zerfall der letzten Anlagen wurde dort auch die Wässerung aufgegeben.

Auch als Weidland haben die Wässermatten an Bedeutung eingebüsst (Abb. 40). Bis zur letzten Jahrhundertwende besaßen die Langenthaler Bauern in den Matten im Herbst Weiderecht. Nach dessen Aufhebung stand die Möglichkeit zum Weidegang nur noch den Wässermatten-Besitzern zu. Diese Nutzungsart geht jedoch mehr und mehr zurück. Nach eigenen Beobachtungen haben in den Matten zwischen Langenthal und Roggwil in den vergangenen Jahren nur noch zwei Betriebe ihre Kühe auf Mattenland ausgetrieben. Allerdings scheint sich in der Landwirtschaft eine Wende anzubahnen. So hat im Grunholz-Roggwil ein Landwirt während zwei Herbstperioden versuchsweise Jungvieh weiden lassen und dabei sehr gute Erfahrungen gemacht. Die «alte Weisheit», wonach der Weidegang die Qualität des Wässermattenfutters verbessert, hat sich bestätigt.

Formal gesehen sind die Matten sicher ein Grasland. Funktional werden sie aber mehr und mehr zum Ackerland. Der Bauer muss heute wählen zwischen der ursprünglichen Nutzung, einer Umwandlung zu Ackerland (Abb. 41) oder sogar dem Verkauf als Bauland. Die starke Nachfrage nach Bauland und damit das starke Ansteigen des Bodenpreises in den letzten Jahren sind zu einer schweren Gefährdung der Matten, besonders an den Peripherien der Agglomerationen, geworden. Auch hier lässt sich die Entwicklung durch die Jahrhunderte verfolgen: Zur Zeit des Baues des ganzen Wässerungssystems durch die Mönche wurde der Talboden als Wohngebiet gemieden. Nur gewerbliche Betriebe, wie u.a. Mühlen, fanden sich damals entlang der Wasserläufe. Das Wasser war in erster Linie noch Feind des Menschen. Die ältesten Dorfteile Langenthals zum Beispiel wurden in den Terrasse- und Hanglagen der umliegenden Hügelzüge angelegt. Erst im 17. Jahrhundert wagten die Langenthaler den Bau des Dorfkerns entlang der Langete. Heute sind nun, besonders von Industrie-, Gewerbe- und Handelsbetrieben die flachen Baugelände des Talgrundes aus verkehrstechnischen Gründen in erster Linie gesucht. Stetig schieben sich die Siedlungsränder in den letzten Jahren in die Matten hinaus.

Im Langetental sind in den letzten Jahrzehnten erhebliche strukturelle Veränderungen in der Bewirtschaftung der Talböden eingetreten. Neben den hier zur Diskussion stehenden Kartierungen ist noch die «Hydrographische Karte des untern Langetentales» von BINGGELI (1974) zu nennen. Diese sehr schöne vierfarbige Karte enthält auch Angaben über bestehende und aufgelassene Wässermatten; sie erfasst Zustandsänderungen bis ins Jahr 1800 zurück.

Für das Bewässerungssystem im Langetental erfolgten bisher zwei Inventaraufnahmen in den Jahren 1970 und 1973 (BINGGELI + LEIBUNDGUT 1974). Zusammen mit den ursprünglich vor-



Abb. 41 Nutzungsänderungen in ehemaligen Wässermattengebieten. Die ursprüngliche Wässermatten- und heutige Ackerlandschaft wird zunehmend überbaut.

handenen Wässermattenflächen sind diese Areale in BINGGELI 1974 (Abbildungen 104 bis 107) dargestellt. Die 1973 noch vorhandenen Flächen zwischen Rohrbach und Roggwil betragen rund 27% der ursprünglich vorhandenen Flächen. Selbst in der kurzen Zeitspanne 1970–1973 zeigt sich der Trend zur Auflassung.

Um den Gang der Auflassung in seinen Einzelheiten zu verfolgen, wurden als genau erfassbares Gebiet die «Unteren Langenthaler Matten» für den Zeitraum 1950 bis heute detailliert kartiert. Im Jahre 1950 wurde diese ganze, rund 100 ha grosse Fläche noch bewässert. Mit Hilfe von Luftbildern wurde der Zustand 1964 rekonstruiert. Ab 1970 wurde dieser Perimeter jährlich kartiert (Abb. 42 bis 45).

Die Tabelle 22 zeigt die Zahlenverhältnisse. Hatten wir vor 1950 in diesen Matten noch durchwegs Grasland, so waren es im Jahre 1964 drei Äcker mit einem Anteil von 1,2% der Gesamtfläche. Bis 1970 (Stand jeweils Ende hydrologisches Jahr) war der Anteil der Ackerfläche bereits auf 15% angewachsen, jener des überbauten Gebietes auf 2,4%. Rund 17 ha wurden nicht mehr bewässert. 1971 war der Zuwachs gering. In den folgenden zwei Jahren wuchs aber die Ackerfläche wieder um je rund 5%. Das Flächendiagramm (Abb. 46) vermittelt einen Eindruck über Ausmass und Fortschreiten dieses Umbruches in den unteren Langenthaler Matten. Die Abnahme-/Zunahmekurven laufen gesamthaft mit exponentiellem Charakter, ausgenommen jener der Überbauung. Hier ist deutlich der bremsende Einfluss des provisorischen Raumplanungsgesetzes zu sehen. Das für die alte Mattenlandschaft erschreckende Bild bedarf einer Einschränkung (Abb. 48).

Der starke Zuwachs des Anteils «nicht mehr bewässert» ist wahrscheinlich in den 17% von 1970 auch schon teilweise enthalten. Damals konnten einzelne Mattenareale nicht eindeutig als «nicht mehr bewässert» klassifiziert werden. Seither haben in zwei Fällen Neubauten klare Verhältnisse geschaffen, für die übrigen Teile wurden die Britschen an der Langeten und die Gräben als Hilfsmittel beigezogen. Einige Britschen sind jetzt derart verlottert (oder auch zugenagelt), dass sie für Bewässerungen nicht mehr in Frage kommen. Für den Abschnitt Langenthal–Grunholz ist ein Kataster der noch gebrauchten, resp. der Britschen «ausser Funktion» erstellt worden. Von den total 38 Britschen sind 23 bereits ausser Funktion. Diese Zahl von 60% zugegangener Britschen stimmt recht gut überein mit den 42% aufgelassenem Mattenland, wenn man berücksichtigt, dass die beiden Hauptgräben I. Ordnung noch gebraucht werden.

Bei der Analysierung der Grundwasser-Ganglinien und -Erträge im Laufe der Zeit, wie sie in Kapitel 5 und 6 vorgenommen wurde und der experimentellen Untersuchung an einzelnen Messstellen lässt sich ein Zusammenhang Wässerungen–Grundwasser belegen (Abb. 37). Für einzelne Messstellen oder Grundwassergebiete wie der Quelfassung Madiswil oder dem Raum Löli–Brunnmatten

Tabelle 22 Kulturlandschaftswandel in den unteren Langenthaler Matten. Der Umbruch vom ursprünglich bewässerten Mattland zu andern Nutzungsformen

Nutzungsart	Anteil in %					
	1950	1964	1970	1971	1972	1973
Mattenland bewässert	100	93,8	65,6	58,0	57,3	48,0
Mattenland, nicht mehr bewässert	0*	5,0*	17,0	20,5	16,7	19,6
Ackerland/Gartenbau	0	1,2	15,0	16,9	20,6	25,9
überbaut (oder unmittelbar zur Überbauung vorgesehen)	0	0	2,4	4,6	5,4	6,5

* Schätzungen, die nicht mehr genau überprüft werden können

Abb. 42

DIE AUFLASSUNG DER WÄSSERMATTEN

1 : 10 000

Stand : 1970

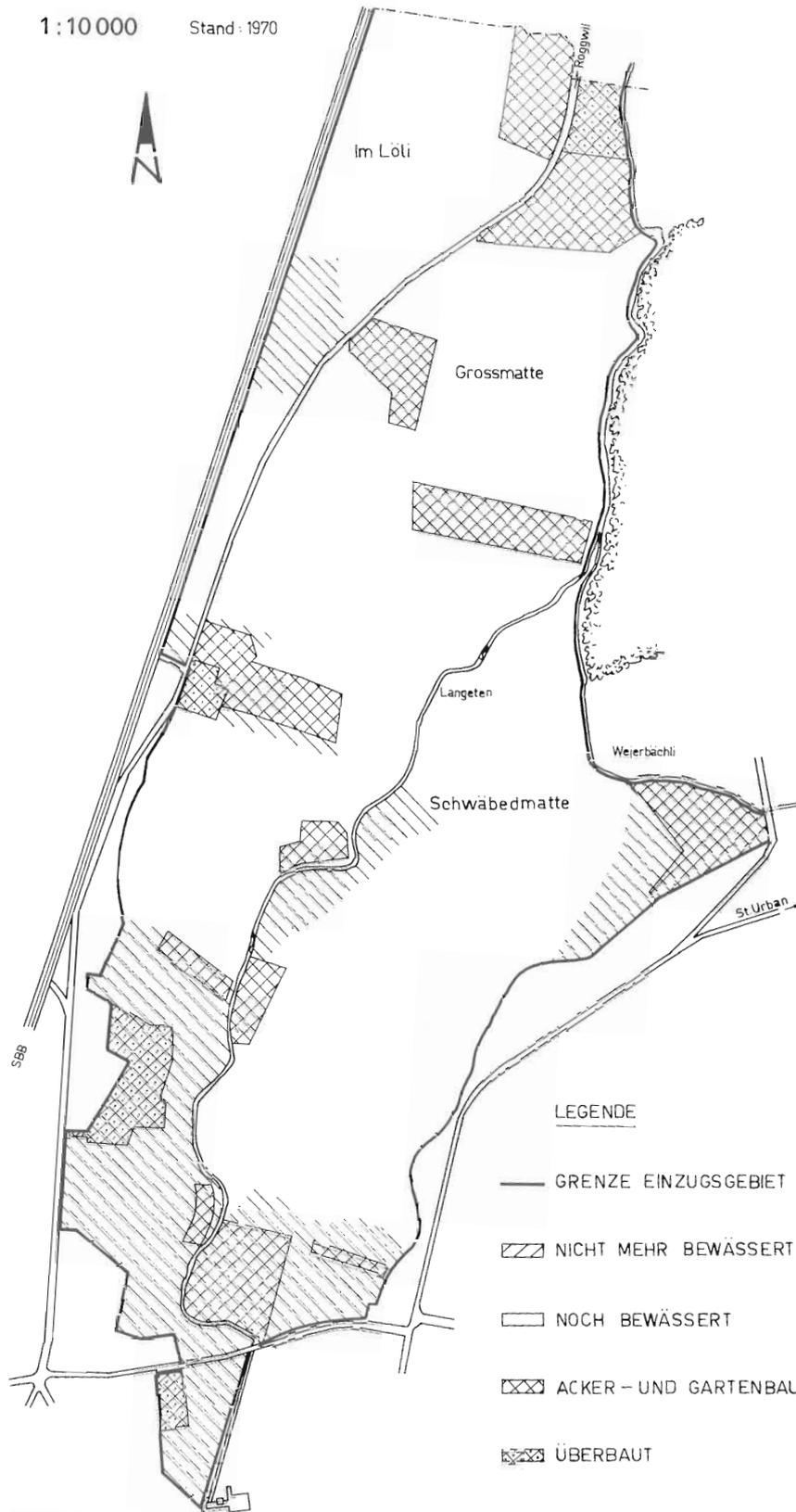


Abb. 42

Abb. 43

DIE AUFLASSUNG DER WÄSSERMATTEN

1:10 000 Stand: 1971

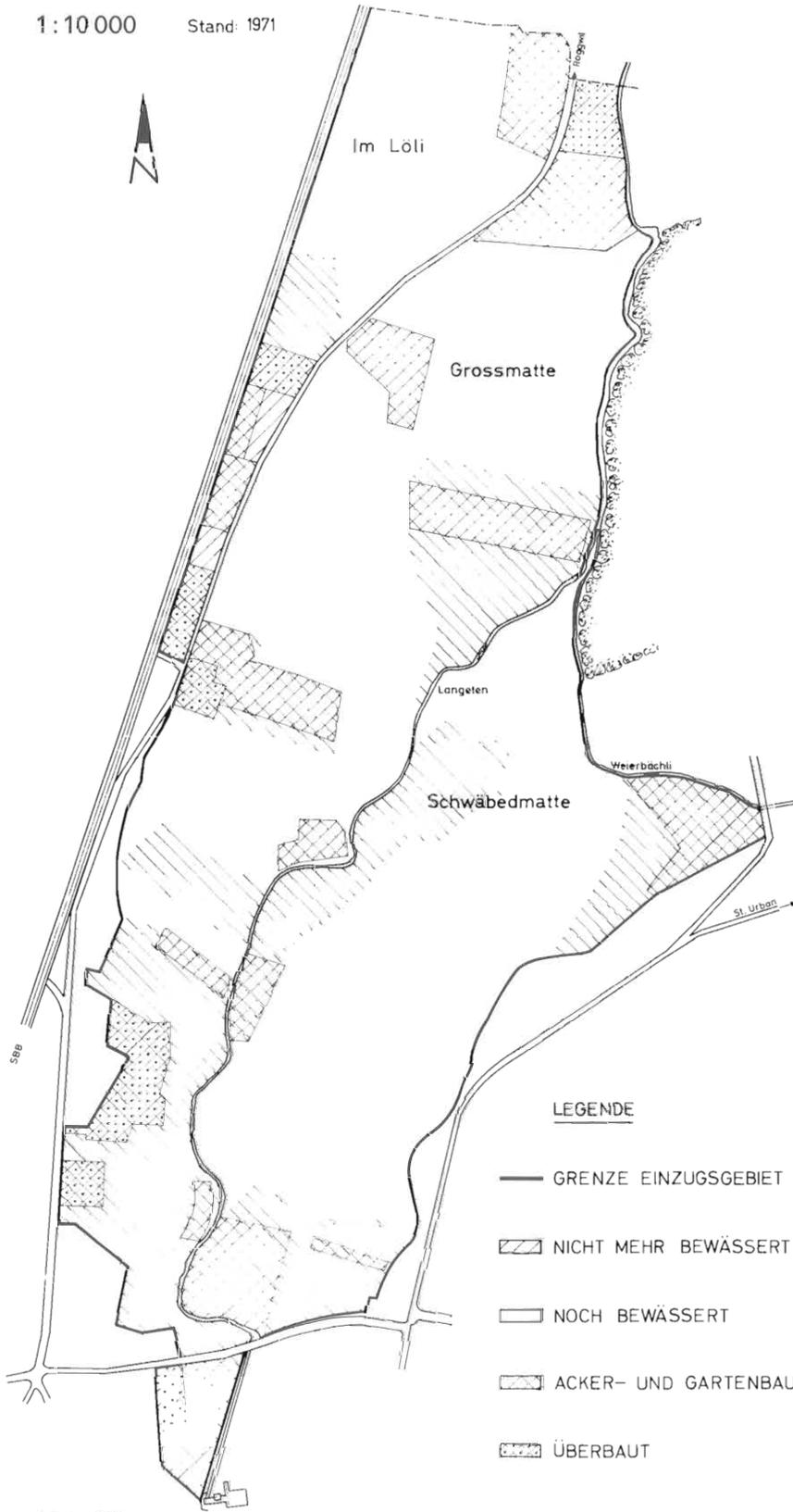


Abb. 43

DIE AUFLASSUNG DER WÄSSERMATTEN

1:10 000 Stand: 1972

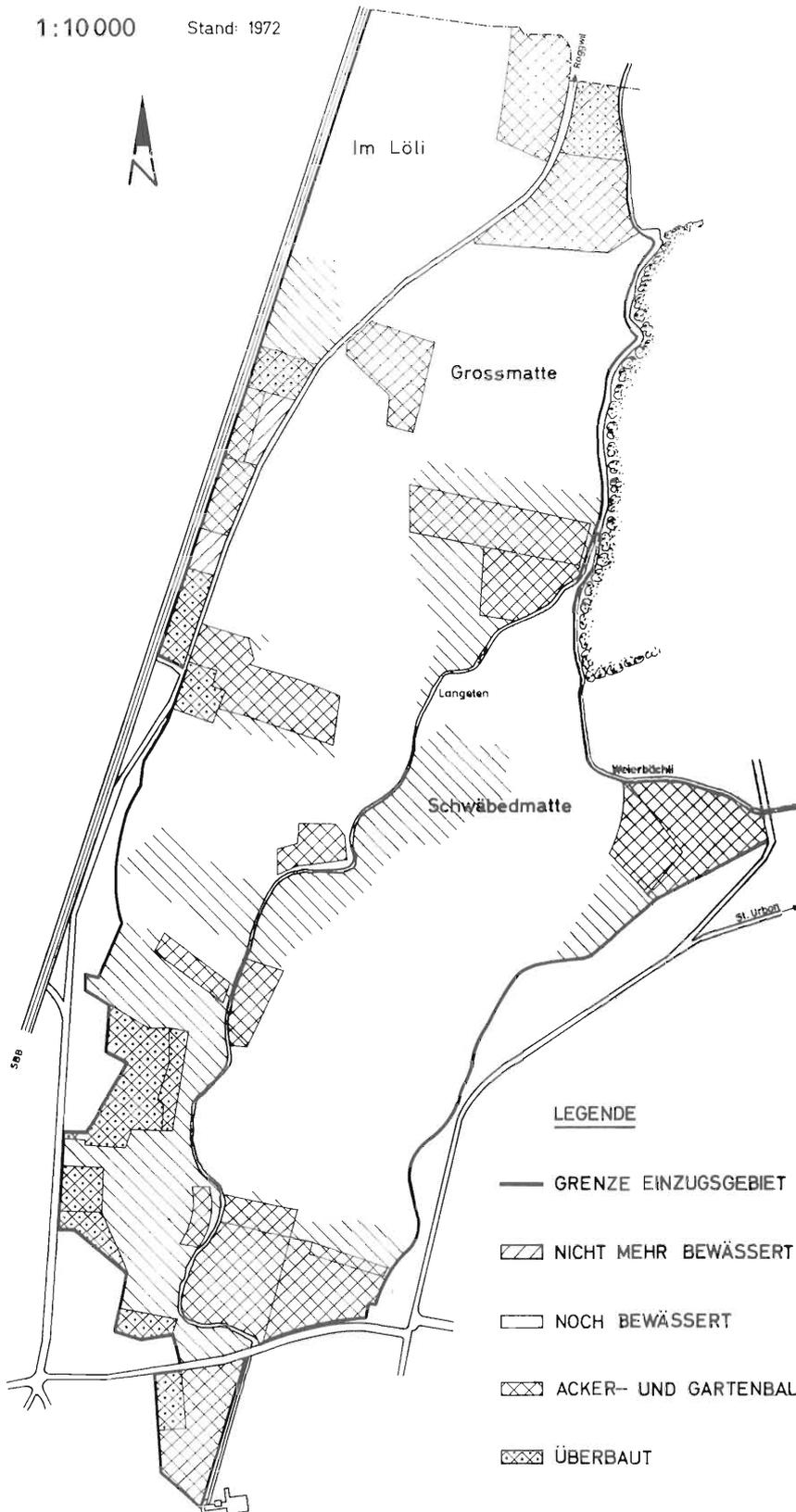


Abb. 44

DIE AUFLASSUNG DER WÄSSERMATTEN

1:10 000 Stand: 1973

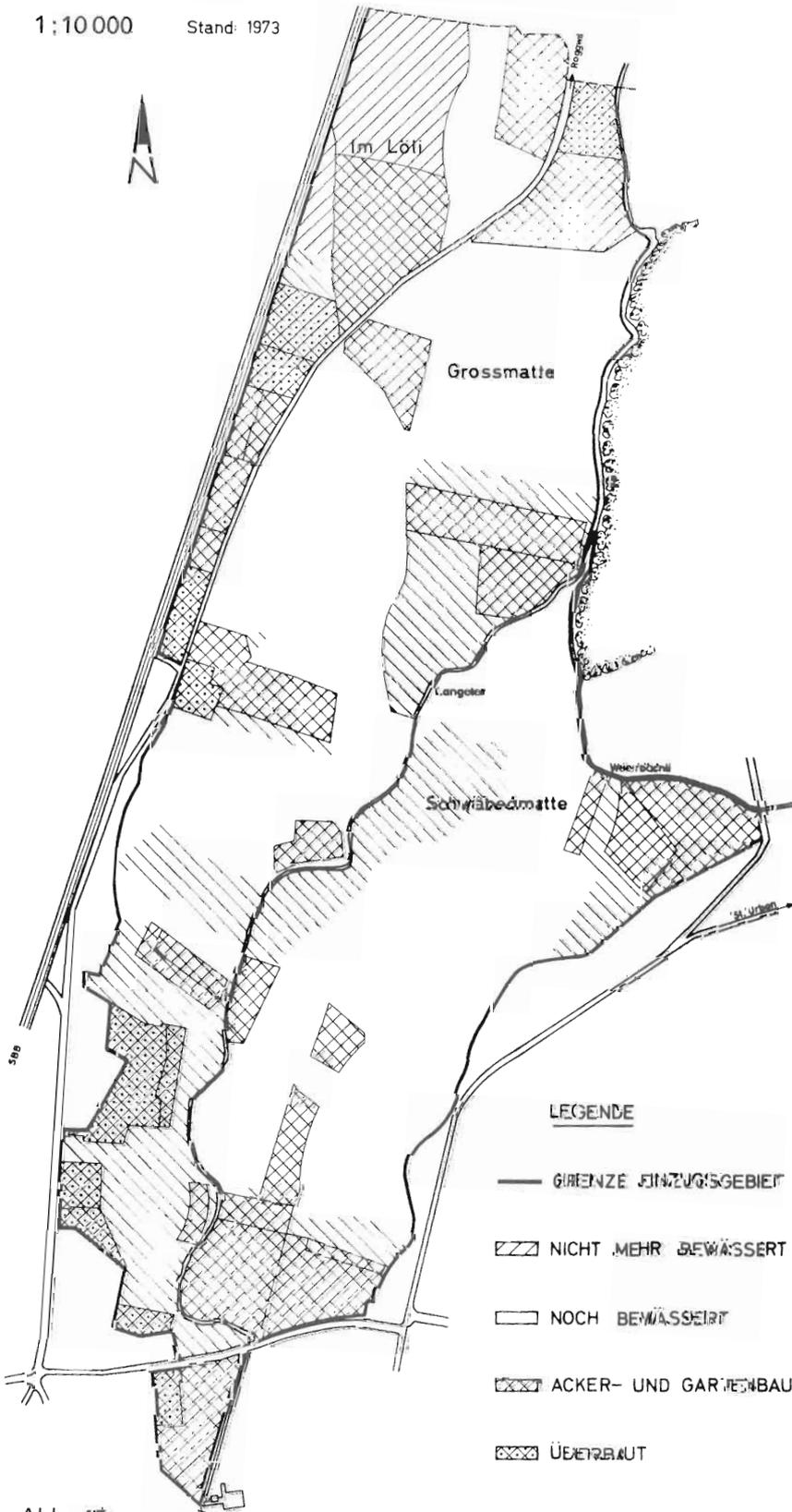


Abb. 45

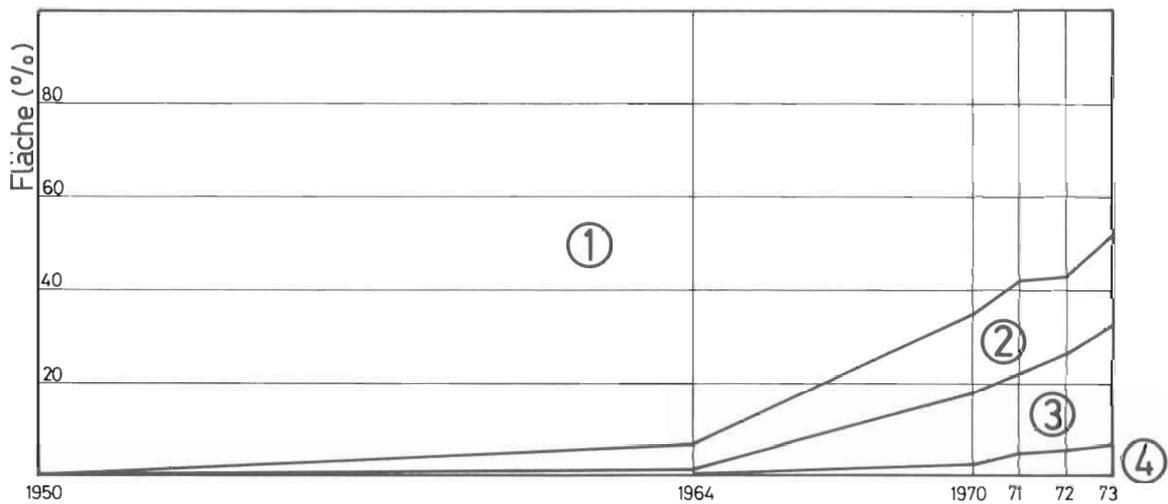


Abb. 46 Kulturlandschaftswandel in den unteren Langenthaler Matten. Die jahrhundertealten Wässermatten werden zugunsten anderer Nutzungsformen aufgelassen. Gesamtfläche 100 ha

- ① Wässermatten
- ② nicht mehr bewässertes Mattenland
- ③ Ackerland
- ④ Siedlung

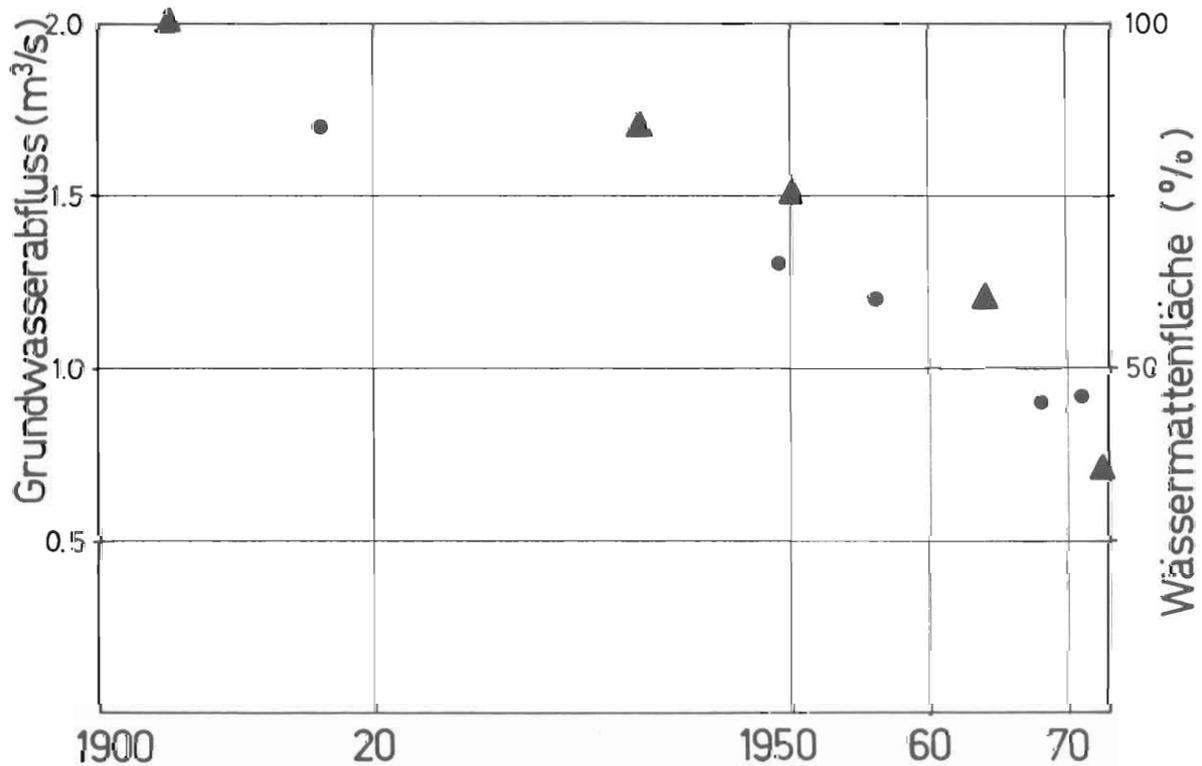


Abb. 47 Beziehung zwischen Grundwasserabfluss und abnehmender Wässermattenfläche im Zeitraum 1900–1970

- Grundwasserabfluss
- ▲ Wässermattenfläche

lässt sich die Abhängigkeit des Grundwasserstandes eindeutig mit den abgeschlossenen oder verminderten Wässerungen in Zusammenhang bringen. Auf das Gesamtgebiet bezogen, kann mit Hilfe der in den Kartierungen gefundenen Flächenvermindierungen an Wässermatten sowie den Grundwassermengen eine Beziehung zwischen der Grundwasserspeisung durch Wässermatten und Grundwasserertrag hergestellt werden.

Die Wässerungsinfiltrationen sind abhängig einmal von der bewässerten Flächengrösse, zum andern von den Wässergewohnheiten. Darunter verstehen wir die zeitliche Verteilung und die Intensität der Wässerungen. Während die Intensität abgenommen hat, ist die zeitliche Verteilung sehr ähnlich geblieben. Dies ist verständlich, weil es sich hier um eine in Jahrhunderten gewachsene Tradition handelt. Somit müsste sich eine Veränderung der Bewässerungsflächen auf die Grundwassermengen auswirken.

Im Diagramm Abbildung 47 ist anhand der wenigen verfügbaren Daten aus der Vergangenheit die Beziehung zwischen der Grundwasser-Abflussmenge (A_u) und der Wässermattenfläche konstruiert. Auch wenn sich die beiden Geraden nicht vollständig decken, kann der Grundwasserschwund weitgehend mit der Verminderung der Wässermattenflächen erklärt werden. Die weiteren hydrologisch wesentlichen Grössen Niederschlag, Verdunstung und die Sickerflächen bezogen auf das Gesamtgebiet haben sich nicht oder nur geringfügig geändert, so dass sie zur Erklärung des starken Grundwasserrückganges nicht herangezogen werden können.

Dem Grundwasserschwund kann also ein im Ausmass vergleichbarer Abgang der bewässerten Flächen ursächlich zugrunde gelegt werden.

Da von der Landwirtschaft her ein Trend zur Auflassung der Wässermatten besteht, muss mit einer weiteren Verringerung der Grundwasseranreicherungs-Wirkung gerechnet werden. Zusätzlich muss angenommen werden, dass nach der bevorstehenden Korrektur der Langeten (Bannung der Hochwassergefahr) die letzten Matten unter den Pflug genommen werden. Dass eine solche totale Auflassung der Wässermatten eine tiefgreifende Veränderung der Grundwasserverhältnisse zur Folge haben müsste, haben die bisherigen Resultate gezeigt.

8. Literaturverzeichnis

- Bellin K. (1970)* : Die Auswertung von Abflussmessungen in Wasserläufen mit wechselnden Abfluss-Bedingungen. Symp. Hydrometrie, Koblenz.
- Bieri W. (1949)* : Die Wässermatten von Langenthal. Naturf. Gesellschaft Bern, Neue Folge, 6. Bd.
- Binggeli V. (1961)* : Zur Morphologie und Hydrologie der Valle del Lucomagno. Beitr. zur Geologie der Schweiz, – Hydrologie, Nr. 12, Bern.
- Binggeli V. (1962)* : Über Begriff und Begrenzung der Landschaft Oberaargau. Jahrbuch des Oberaargaus, Herzogenbuchsee.
- Binggeli V. (1965)* : Die geschützten Naturdenkmäler des Oberaargaus. Jahrbuch des Oberaargaus, Herzogenbuchsee.
- Binggeli V. (1967)* : Die Brunnhöhle von Obersteckholz. Jahrbuch des Oberaargaus, Herzogenbuchsee.
- Binggeli V. (1968)* : Niederschlag und Abfluss im Langetegebiet im nassen Jahre 1965. Jahrbuch des Oberaargaus, Herzogenbuchsee.
- Binggeli V. (1970)* : Die Hochwasser der Langete 1950–1968. Langenthaler Heimatblätter, Langenthal.
- Binggeli V. (1971)* : Hydrologischer Bericht zu den Korrekptions-Projektions-Plänen 1971 der Langeten, Langenthal.
- Binggeli V. (1974)* : Hochwasser- und Grundwasserschutz im Langetetal. Schweiz. Bauzeitung, Zürich.
- Binggeli V. (1974)* : Beiträge zur Hydrologie des Schweizerischen Alpenvorlandes. Beitr. zur Geologie der Schweiz, Hydrologie, Nr. 22, Zürich.
- Binggeli V. und Leibundgut Ch. (1973)* : Hydrologischer Bericht über die Fassung Madiswil der Wasserversorgung Langenthal, Langenthal.
- Bize J., Bourguet L., Lemoine J. (1972)* : L'alimentation artificielle des nappes souterraines. Paris.
- Bloch T. (1972)* : Beiträge zur Hydrologie des unteren Emmentals. Diss. Universität Bern, Bern.
- Brunner B. (1968)* : Beiträge zum Grundwasserhaushalt im solothurnischen Wasseramt (Diss.). Solothurn.
- Buchanan T.J., Somers W.P. (1969)* : Discharge Measurements at Gaging Stations. US Government Printing Office, Washington.
- Budmiger G. (1967)* : Die Quellstollen in der mittelländischen Molasse. Funktion, Konstruktion und historische Bedeutung. Jahrbuch des Oberaargaus, Herzogenbuchsee.
- Burtsev P.N., Baryshnikova M.N. (1970)* : Anwendungsmöglichkeit hydrometrischer Flügel. Symp. Hydrometrie, Koblenz.
- Carter R.W. (1970)* : Genauigkeit von Flügelmessungen. US Geological Survey, Washington DC.
- Chow V.T. (1964)* : Handbook of Applied Hydrology. New York.
- Dukic D. (1972)* : Les régimes Fluviaux en Yougoslavie. Freib. Geogr. Hefte, Freiburg i. Br.
- Dynowska J. (1972)* : Types of River Regimes in Poland. Freib. Geogr. Hefte, Freiburg i. Br.
- Erni A. und Kelterborn P. (1948)* : Ölgeologische Untersuchungen im Molassegebiet südlich Wangen a. A.–Aarburg. Beitr. zur Geologie der Schweiz, Geotechn. Serie, Bern.
- Flatt K. (1969)* : Die Errichtung der bernischen Landeshoheit über den Oberaargau. Jahrbuch des Oberaargaus, Herzogenbuchsee.
- Fiori F. (1969)* : Statistik und Diagramm. Das geographische Seminar (praktische Arbeitsweisen). Braunschweig.
- Grimm F. (1968)* : Das Abflussverhalten in Europa – Typen und regionale Gliederung. Wissensch. Veröffentl. des deutschen Institutes für Länderkunde, Leipzig.
- Gygax F. (1948)* : Niederschlag und Abfluss im Einzugsgebiet der Magliasina. Beiträge zur Geologie der Schweiz – Hydrologie, Bellinzona.
- Gygax F. und Hügi Th. (1946)* : Geologische Untersuchungen für die Wasserversorgung Langenthal. Vervielfältigung der Gemeinde Langenthal.
- Haupt H.F. (1972)* : Improved Instrumentation for Measuring Melted Precipitation on Windswept Topography. WMO/ OMM No. 326, Genf.
- Hofius K. (1971)* : Das Temperatur-Verhalten eines Fließgewässers dargestellt am Beispiel der Elz. Freib. Geogr. Hefte, Freiburg i. Br.
- Hug J. (1918)* : Die Grundwasser-Vorkommnisse der Schweiz. Annalen schweiz. Landeshydrographie III, Bern.
- Indermühle R. (1970)* : Botanische Beschreibung der Wässermatten bei Langenthal. Bot. Inst. der Universität Bern, Bern.
- Jufer U. (1974)* : Die Verdunstung in den Wässermatten. Dipl.-Arbeit, Geogr. Institut der Universität Bern, Bern.
- Kasser P. (1954)* : Le repartition des précipitations des deux cotés d'une arête. Rom.
- Kazmann R.G. (1972)* : Modern Hydrology. New York.
- Keller G. (1969)* : Angewandte Hydrogeologie. Hamburg.
- Keller R. (1961)* : Gewässer und Wasserhaushalt des Festlandes. Berlin.
- Keller R., Seifried A. und Skirnier S. (1972)* : Methoden zur Klassifikation von Abfluss-Regimen. Freib. Geogr. Hefte, Freiburg i. Br.
- Kopp J. (1935)* : Zur Geologie von Langenthal. Langenthaler Heimatblätter, Langenthal.
- Leibundgut Ch. (1962)* : Wildtiere unseres Waldes. Jahrbuch des Oberaargaus, Herzogenbuchsee.
- Leibundgut Ch. (1970)* : Die Wässermatten des Oberaargaus. Jahrbuch des Oberaargaus, Herzogenbuchsee.
- Leibundgut Ch. (1971)* : Färbversuch Grunholz I. Geogr. Inst. der Universität Bern, unveröffentlicht.

- Leibundgut Ch. (1973)* : Über die Anwendung von fluoreszierenden Markierfarbstoffen in der Hydrologie. Geogr. Inst. der Universität Bern, Bern.
- Leibundgut Ch. (1974)* : Fluoreszierende Markierfarbstoffe in der Hydrologie. Mitteilungen der Naturf. Gesellschaft des Kantons Bern, Bern.
- Leibundgut Ch. (1974)* : Halbnatürliche Grundwasseranreicherung. Schweiz. Bauzeitung, Zürich.
- Linder A. (1964)* : Statistische Methoden für Naturwissenschaftler und Ingenieure. Basel.
- Luetsch O. (1944)* : Zur Hydrologie der Landschaft Davos. Beitr. zur Geologie der Schweiz. Hydrologie, Zürich.
- Meyer J. R. (1961)* : Kleine Geschichte Langenthals. Langenthal.
- Muszkalay L. (1970)* : Beziehung zwischen Pulsation und Genauigkeit von Flügelmessungen. Symp. Hydrometrie, Koblenz.
- MZA* : Ergebnisse der täglichen Niederschlagsmessungen 2. Quartal 1972 (Beispiel). Diverse Jahrgänge.
- Natermann E. (1951)* : Die Linie des langfristigen Grundwassers und die Trockenwetterabflusslinie. In: Die Wasserwirtschaft, München.
- Ott* : Handbuch zu Limnigraph R-16, Nr. 20.250. Kempten.
- Pardé M. (1954)* : Beziehungen zwischen Niederschlag und Abfluss bei grossen Sommerhochwassern. Geogr. Inst., Bonn.
- Pirani M., Fischer J. (1957)* : Graphische Darstellung in Wissenschaft und Technik. Berlin.
- Richard F. (1964)* : Untersuchungen über Wassergehaltsschwankungen im sauren, unvollkommen durchlässigen Rissmoränenboden «Aspi» bei Langenthal. Schweiz. Zentralanstalt für das Forstwesen, Zürich.
- Riggs H. C. (1973)* : Regional Analyses of Streamflow Characteristics. US Geological Survey, Washington DC.
- Rutsch R. (1964)* : Grundwassererschliessung in Lotzwil. Gutachten, unveröffentlicht.
- Sachs L. (1970)* : Statistische Methoden. Berlin.
- Salzmann R.* : Untersuchungen über den Pflanzenbestand und die Ertragsfähigkeit oberaargauischer Wässermatten an der Langeten. Berichte der Schweiz. Botanischen Gesellschaft, Bd. 53 A.
- Schmassmann H. J. (1958)* : Grundwasser-Erschliessung für das Werk Brunnmatt. Langenthal.
- Schmassmann H. J. (1972)* : Künstliche Grundwasseranreicherung. Gas – Wasser – Abwasser, Nr. 5, Zürich.
- Schneider J. (1954)* : Ein Beitrag zur Kenntnis des Arrhenatheretum elatioris in pflanzensoziologischer Betrachtungsweise. Botanisches Institut Bern.
- Searcy J. K., Hardison C. H. (1960)* : Double-Mass Curves. Geological Survey Water-Supply, Paper 1541-B, Washington.
- Seifried A. (1972)* : Canadian River Regime. Freib. Geogr. Hefte, Freiburg i. Br.
- Sevrük B. (1973)* : Einfluss des wachsenden Waldes auf die Niederschlagsmessung im Einzugsgebiet der Baye de Montreux. Wetter und Leben, Zürich.
- Sevrük B. (1973)* : Erfahrungen mit Totalisatoren mit schiefen, geneigten und bodenebenen Auffangflächen im Einzugsgebiet der Baye de Montreux. Veröffentl. der MZA, Nr. 30, Zürich.
- Sevrük B. (1973)* : Einfluss der Temperatur auf die Messung des Niederschlages mit Totalisatoren. Veröffentl. der MZA, Nr. 30, Zürich.
- Storr D., Ferguson H. L. (1972)* : The Distribution of Precipitation in some Mountainous Canadian Watersheds. WMO/ OMM No. 326, Genf.
- Thurner A. (1967)* : Hydrogeologie. Wien.
- Tschachteli B. (1949)* : Grundwasser-Vorkommen in den Flussgebieten der Roth und Murg. Wasserrechtsamt des Kantons Bern, Luzern.
- Tschachteli B. (1954)* : Wasserversorgung Werk Brunnmatt. Gugelmann & Co., Luzern.
- Uttinger H. (1949)* : Die Niederschlagsmengen in der Schweiz 1901–1940. Zürich.
- Walser E. (1957)* : Niederschlags- und Abflussverhältnisse im Einzugsgebiet der Aare. Wasser- und Energiewirtschaft, Nr. 7–9, Zürich.
- Walser E. (1966)* : Die schweizerischen hydrologischen Testgebiete. Wasser- und Energiewirtschaft, Nr. 8/9. Zürich.
- Walser E. (1967)* : Anleitung für die Feldarbeiten bei der Wassermessung mit hydrometrischen Flügeln. Eidg. Amt für Wasserwirtschaft, Bern.
- Weber P. (1971)* : Alte und neue Formen der Wiesenbewässerung am Beispiel des Durachtales und des unteren Glattals. Diss. Universität Zürich, Zürich.
- Widmer H. P. (1965)* : Die Wiese und die künstliche Grundwasseranreicherung in der Langen Erle. Chem. Rundschau, Nr. 4, Basel.
- Widmer H. P. (1970)* : Die Grundwasser-Temperaturen in der Langen Erle in Abhängigkeit der infiltrierten Rheinwassermenge. Gas- und Wasserwerk Basel, Basel.
- Wilhelm F. (1966)* : Hydrologie, Glaziologie. Braunschweig.
- Zimmermann H. W. (1971)* : Die Eiszeit im westlichen zentralen Mittelland. Jahrbuch des Oberaargaus, Herzogenbuchsee.
- Zollinger K. (1906)* : Das Wasserrecht der Langeten, Bern. Hydrographisches Jahrbuch der Schweiz, Eidg. Amt für Wasserwirtschaft, Bern, diverse Jahrgänge. Wasserversorgungen in der Schweiz. Statistische Erhebungen 1970. Schweiz. Verein für Gas- und Wasserfachmänner, Zürich, 1971. Geologische Generalkarte der Schweiz, Blatt Basel–Bern, Bern, 1942.

Dokumentation :

- Richterlich bewilligtes Verbot der Wässerkorporation Roggwil vom 7. April 1894.
- Reglement betreffend die Bewässerung sowie die zur Bewässerung dienenden Anlagen auf den Grossmatten zu Madiswil. Madiswil, 8. März 1896.
- Wässerverordnungen und Instruktion für die Mattenbesitzer am Oenzbach. Herzogenbuchsee, Weinmonat 1840.
- Regulativ und Wässereinteilung für den Wässermann. Herzogenbuchsee, 1. August 1821.

9. Anhang

Aus Platzgründen ist es unmöglich, die grosse Anzahl der Messdaten vollständig in dieser Arbeit wiederzugeben. Der Anhang ist im Archiv der Bibliothek des Geographischen Institutes der Universität Bern greifbar. Er umfasst: Tabellen der Tages- und Monatsniederschläge, Abflusstabellen der Oberflächen- und Grundwasserabflüsse (Information entsprechend dem Hydrographischen Jahrbuch der Schweiz), Dauerkurven der Oberflächen- und Grundwasserabflüsse, Ganglinien der Grundwasserstände, Tabellen der Grundwasser-Pegelstände.