

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 85 (1993)
Heft: 3-4

Artikel: Die natürliche Grundwasserneubildung
Autor: Gronowski, Terence / Lang, Herbert
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-939959>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 10.02.2026

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

Die natürliche Grundwasserneubildung in einem urban beeinflussten Einzugsgebiet im Voralpenraum

Terence Gronowski und Herbert Lang

Zusammenfassung

Die natürliche Grundwasserneubildung, d.h. diejenige Wassermenge, die über Niederschlag, Infiltration und Perkolation pro Zeiteinheit einem Grundwasserleiter auf verschiedenen Wegen zufließt, wurde im abgeschlossenen Einzugsgebiet des Dorfbachs von Gossau SG bestimmt. Die Berechnung erfolgte durch einen Bilanzansatz, der die Messung sämtlicher hydrometeorologischen Variablen wie Niederschlag, Verdunstung, Bodenfeuchte, oberirdischer Abfluss und Grundwasserspiegel erforderte. Die Resultate der Bilanz wurden mit den Ergebnissen eines einfachen dynamischen Grundwassermodells verglichen, das als Input nur die Grundwasserpegel und die nutzbare Porosität erfordert und eine unabhängige Bestimmung der gesamten Grundwasserneubildung erlaubt.

Bei der Berechnung der Grundwasserneubildung aus der Wasserbilanz wurde der systematische Fehler der Niederschlagsmessung berücksichtigt. Dieser variiert von Messpunkt zu Messpunkt je nach Windverhältnissen, Exposition und Gerätetyp. Die Verdunstung über Grasland ist mit gängigen Methoden gut bestimmbar. Die Berechnung der Verdunstung für andere Oberflächenarten wie Wald oder versiegelte Flächen erfordert Annahmen mit Unsicherheiten, die sich aber wegen des geringen Flächenanteils im Untersuchungsgebiet kaum auf die Gesamtverdunstung auswirken. Die Bestimmung der Grundwasserneubildung mit einem numerischen Grundwassermodell ist entscheidend von den schwer in regionalem Massstab zu bestimmenden hydrogeologischen Parametern abhängig. Die damit verbundenen Unsicherheiten machen diese Methode in räumlich begrenzten und grossen Grundwasserspiegelschwankungen aufweisenden Grundwasservorkommen meist weniger zuverlässig als die Bilanzmethode.

Die fünfjährige Bilanzierung ergab eine mittlere jährliche Grundwasserneubildung von 294 mm, bezogen auf das gesamte Gebiet von 22,7 km² (22,4% des Niederschlags von 1315 mm), bzw. 1666 mm auf den Talschotterkörper mit einer Fläche von 4 km² bezogen. Die Grundwasserneubildung teilt sich wie folgt auf: direkte Grundwasserneubildung durch Versickern von Niederschlägen über dem Grundwasserleiter im Talboden: 35% (581 mm), unterirdischer Randzufluss inklusive Bachinfiltration am Talrand: 54% (899 mm) und Bachinfiltration im oberen Teil des Talbodens 11% (186 mm). Mit einem Anteil von 20% (906 mm) am Gesamtabfluss hat der anthropogen bedingte Wasserfluss (Trinkwasser und Abwasseranteil) einen bedeutenden Anteil an der Wasserbilanz.

Einleitung

Die Sorge um sinkende Grundwasserpegel ist nicht neu, weshalb in den letzten Jahren der quantitative Grundwasserschutz weiter an Bedeutung gewonnen hat. Dies fand auch im neuen Gewässerschutzgesetz Berücksichtigung. Aus dem gleichen Grund werden im nahe gelegenen Forschungseinzugsgebiet Rietholzbach seit Jahren die Prozesse des Wasserhaushalts und der Abflussskomponenten untersucht. Aufgrund der Erfahrungen mit der Erfassung von hydrometeorologischen Variablen (Lang, Greb-

ner, 1984; Menzel 1991) wurde die vorliegende Arbeit in Zusammenarbeit mit dem Amt für Umweltschutz des Kt. St. Gallen am Geographischen Institut ETH, Abt. Hydrologie, durchgeführt (Gronowski, 1992).

Die natürliche Grundwasserneubildung sei hier als diejenige Wassermenge definiert, die pro Zeiteinheit über natürliche Infiltration einem dynamischen Grundwasservorkommen zufließt (Freeze, 1967), sie ist ein Mass für die erneuerbaren Grundwasserressourcen eines Einzugsgebiets.

Die gesamte Einzugsgebietsfläche beträgt 22,7 km², wovon der zentral liegende Schotterkörper und Grundwasserleiter eine Fläche von 4 km² einnimmt (Bild 1). Die Talsohle ist einer stark zunehmenden Versiegelung durch Grossbauten ausgesetzt, was eine Verminderung der direkten Grundwasserneubildung zur Folge hat. Ein Ziel dieser Arbeit war es u.a., diesen anthropogenen Einfluss zu quantifizieren.

Methodik

Um eine Wasserbilanz berechnen zu können, war es notwendig, die Variablen Niederschlag, Verdunstung, Bodenfeuchte, Abfluss und Grundwasserpegel zu erfassen. Folgende Messmethoden und -geräte kamen zum Einsatz: **Niederschlag:** drei Belfort-Waagen, ein Niederschlagschreiber nach Hellmann sowie zwei bodenebene Totalisatoren zur Bestimmung des Niederschlagsmessfehlers. **Verdunstung:** Energiebilanz-Methode, Formel nach Penman. **Bodenfeuchte:** Neutronensonde. **Abfluss:** 9 Limnigraphenstationen und 12 Ablesepegel. **Grundwasserpegel:** 9 Limnigraphenstationen. Da sämtliches Grundwasser im unteren Teil des Einzugsgebiets in den Vorfluter exfiltriert, war eine Messung unterirdisch abfließender Grundwasserströme nicht nötig.

Die wichtigsten Erkenntnisse aus der Erfassung der verschiedenen Variablen sind folgende:

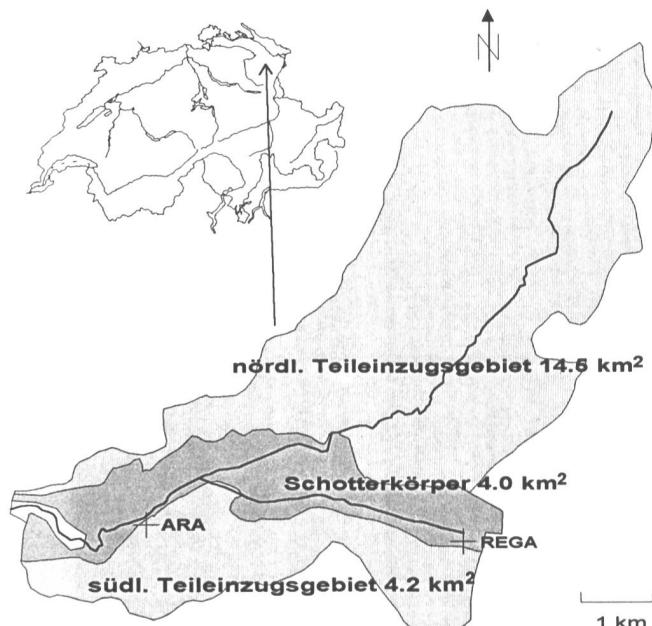


Bild 1. Das Untersuchungsgebiet Gossau SG liegt westlich der Stadt St. Gallen im ostschweizerischen Voralpengebiet. Morphologisch teilt sich das Einzugsgebiet in drei Einheiten: in je einen Süd- und einen Nordhang und die Talsohle, die den Grundwasserleiter beherbergt.

Niederschlag

Die bodenebenen Totalisatoren zeigen im Vergleich mit den Niederschlagsmessern auf Normalhöhe über ein Jahr betrachtet eine um ca. 10% höhere Niederschlagsmenge. Während der Wintermonate kann der mittlere Fehler 30 % betragen, da Schnee leicht über die Messöffnungen der Geräte auf Normalhöhe (1,5 m) hinweggeweht werden kann (Bild 2). Dieser systematische Niederschlagsmessfehler ist hauptsächlich durch den Wind bedingt (Sevruk, 1985), ist aber auch von anderen Faktoren wie z.B. Niederschlagsstruktur abhängig. Je nach Lage und Exposition der Messstelle hat der systematische Niederschlagsmessfehler eine andere Grösse. Die Beziehung des Messfehlers zu Wind- und Niederschlagsstrukturdaten ist durch eine grosse Streuung gekennzeichnet. Deshalb ist die Ableitung einer Korrektur nur für längere Perioden (Monate, Jahr) als Mittelwert möglich.

Verdunstung

Die Verdunstung über Grasland wurde mit der sog. Energiebilanzmethode unter Verwendung des Bowen-Verhältnisses (Bowen, 1926) während zweier Jahre gemessen. Die Monatswerte nach der Energiebilanzmethode stimmen sehr gut mit den Verdunstungswerten der Penman-Formel (Penman, 1948) überein, die mit Tageswerten der benachbarten SMA-ANETZ-Station St. Gallen berechnet wurden. Mit der Penman-Formel wurde auch die Verdunstung über die gesamte Bilanzierungsperiode von fünf Jahren berechnet. Die gute Übereinstimmung der potentiellen Verdunstungswerte der Penman-Formel mit der Lysimeter-Verdunstung bei ausreichendem Wasserangebot wurde zusätzlich mit Tageswerten der ANETZ-Station Basel-Binningen überprüft, da sich in deren Nähe ein Lysimeter befindet (Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz, 1989). Wie in Bild 3 dargestellt, stimmen die Monatswerte der Lysimeter-Verdunstung gut mit denjenigen der Penman-Formel überein. Die Verdunstung von anderen Oberflächentypen als Grasland wurde mit empirischen Ansätzen berechnet (Bild 4).

Bodenfeuchte

Die Bodenfeuchte wurde mit einer Neutronenonde gemessen (z. B. Bell, 1987). Obwohl die Feuchtigkeitswerte des Bodens auf kleinem Raum stark variieren, ist bei allen Messstandorten ein deutlicher saisonaler Feuchteverlauf feststellbar. Der Bodenfeuchtezustand ist sehr bedeutend bei der zeitlichen Positionierung von Bilanzierungsgrenzen, da das Feuchtedefizit bis 60 mm betragen kann (z. B. Herbst 1986: Bodenfeuchtedefizit 60 mm).

Abfluss

Die meisten Messstationen waren mit scharfkantigen Überfällen ausgestattet, zu denen eine sog. Überfallformel existiert, mit der die aufgezeichneten Pegeldaten in den Abfluss umgerechnet werden konnten. Die Eichung eines natürlichen Gerinneprofils mit der Salzverdünnungsmethode (Luder, Fritschi, 1990) erwies sich als aufwendig, da jede Messung nur einen einzigen Punkt auf der Pegelabflusskurve ergibt und viele Messungen bei verschiedenen Wasserständen notwendig sind. Um den Abfluss an Gerinnepunkten ohne Messeinrichtung abzuschätzen, wurde ebenfalls die Salzverdünnungsmethode eingesetzt.

Grundwasserspiegel

Die Daten der insgesamt neun Grundwasserpegel wurden nicht in die Bilanz einzogen, da als Bilanzierungs-

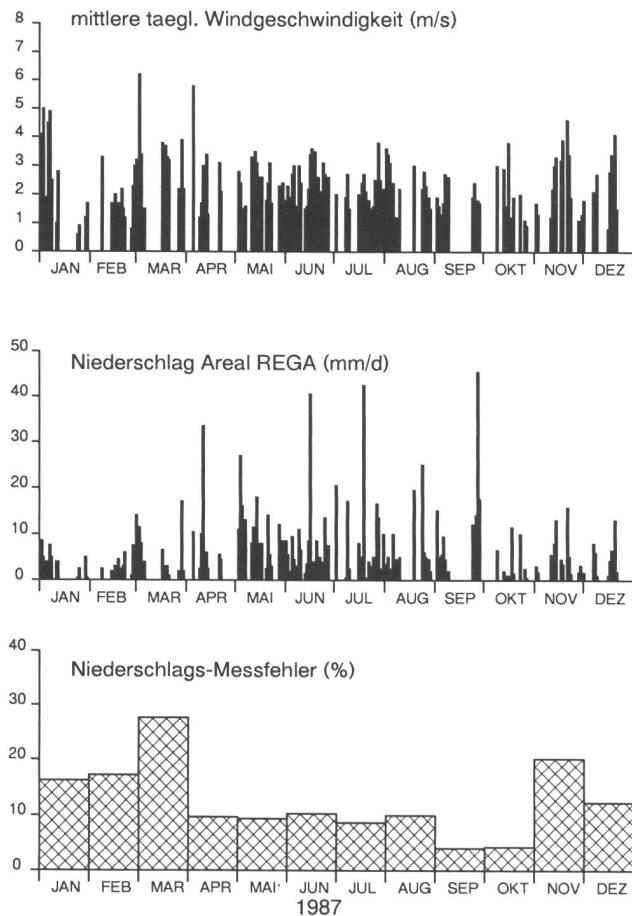


Bild 2. Windgeschwindigkeit, Niederschlagshöhe und monatliche prozentuale Differenz zwischen bodenebenem Totalisator und einem Niederschlagsmessgerät auf Normalhöhe am Beispiel des Jahres 1987. Der Einfluss der Windgeschwindigkeit und der täglichen Niederschlagshöhe (N-Intensität) auf den Fehler ist im März besonders gut erkennbar: Bei grosser Windgeschwindigkeit und kleiner Niederschlagsintensität (Schneefall) ist der Fehler besonders gross.

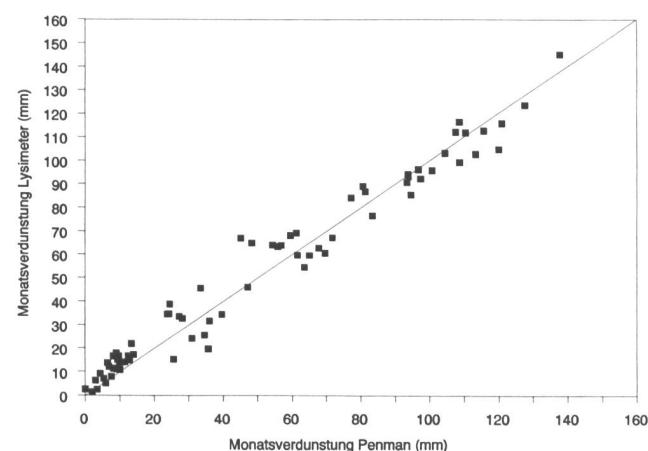


Bild 3. Vergleich von Monatssummen der Verdunstung nach Penman mit der Verdunstung des Lysimeters von Basel-Binningen für die Jahre 1981 bis 1986. Die Verdunstung nach Penman wurde mit Daten der benachbarten SMA-ANETZ-Station auf der Basis von Tageswerten berechnet.

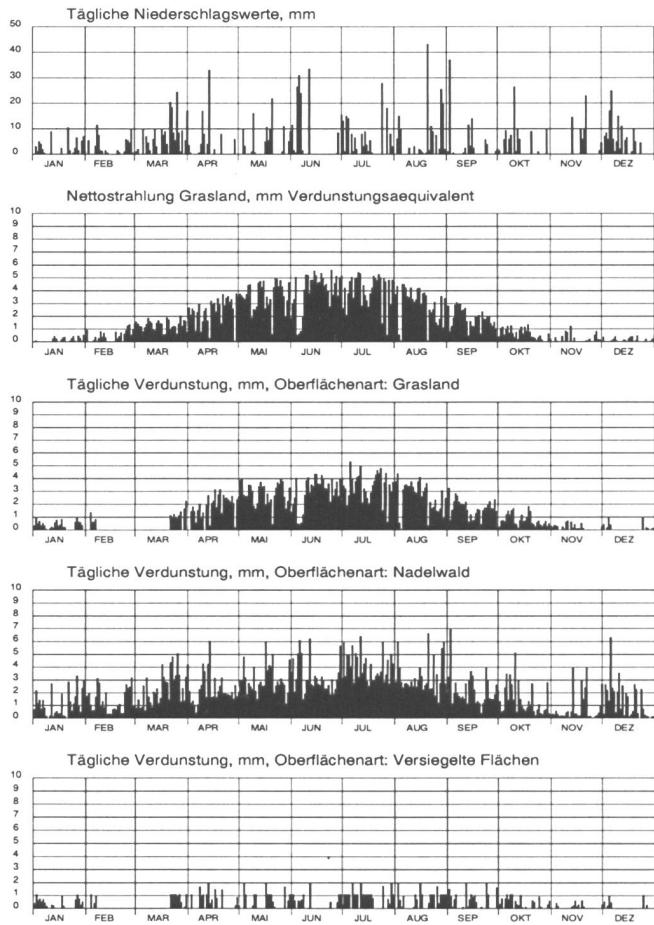


Bild 4. Niederschlag, Nettostrahlung (Strahlungsbilanz) und Verdunstung über verschiedenen Oberflächenarten, Jahr 1988. Die Graslandverdunstung hat einen ähnlichen Verlauf wie die Nettostrahlung, die Nadelwaldverdunstung ist stark von der Interzeption beeinflusst. Die Verdunstung auf versiegelten Flächen ist vor allem vom Niederschlagsverlauf abhängig.

Zeitspanne das Kalenderjahr verwendet wurde. Der Grundwasserspeicher ist am Jahresende meist voll, wodurch die jährliche Speicheränderung vernachlässigbar klein ist. Die gemessenen Grundwasserspiegel wurden zur unabhängigen Prüfung der Resultate der Wasserbilanz verwendet.

Die ermittelten Daten (Messperiode 1984 bis 1988) wurden in Jahresbilanzen gefasst, zudem wurde eine mittlere

Tabelle 1. Bilanzen des Gesamtgebiets und der Teilgebiete.

Bilanz in mm	P (mm)	ET (mm)	Q (mm)	P - (ET-Q) (mm)	unterird. Abfluss (mm)	Import- Export (mm)
Gesamt	1315	552	744	19	0	-19
Nordteil	1339	577	575	187	154	-33
Talsohle	1257	433	243 ⁽¹⁾	581	0	-581 ⁽²⁾
Südteil	1297	582	376	339	326	-13

¹ Bestehend aus Niederschlagswasser in der Trenn- (RT) und Mischkanalisation, der oberirdische Abfluss auf nicht versiegelten Flächen der Talsohle wurde vernachlässigt.

Bilanz über die gesamte Messperiode von fünf Jahren berechnet. Die Restglieder der Jahresbilanzen (Gesamtzufluss abzüglich -abfluss) haben für verschiedene Jahre andere Vorzeichen und bewegen sich zwischen -84,5 l/s bzw. -117 mm (1985) und +56,1 l/s bzw. +78 mm (1988), für die gesamte Messperiode ist das Restglied wesentlich kleiner und beträgt nur +1,5 l/s bzw. +2 mm.

Die Grundwasserneubildung wurde zusätzlich noch unabhängig von der Bilanz mit einem einfachen Grundwassermodell berechnet: Die Anstiege des Grundwasserspiegels wurden in ein Aquifervolumen umgerechnet, was unter Berücksichtigung der effektiven Porosität einer minimalen Grundwasserneubildung entspricht. Um einen mittleren Wert der Neubildung zu erhalten, wurde eine mittlere Drainage zum minimalen Wert addiert. Diese ständig wirksame Drainage wurde aus Grundwasserspiegelrückgängen bei Trockenwetter geschätzt.

Resultate

Die mittlere Wasserbilanz der Periode 1984 bis 1988 ist in Tabelle 1 zusammengefasst. In Bild 5 und in Tabelle 2 sind sämtliche Komponenten dargestellt bzw. aufgelistet. Vom Niederschlag (1315 mm, korrigiert) verdunsten 42% (552 mm) und 57% (744 mm) fliessen als oberirdischer Abfluss ab. In dem restlichen 1% sind Importe, Exporte und Messfehler enthalten. Da die Talsohle mit dem eigentlichen Grundwasserleiter in diesem Gebiet nur etwa einen Sechstel der Einzugsgebietsfläche einnimmt, also der Talsohle von den Seitenhängen ähnlich einem Trichter unterirdisch Wasser zugeführt wird, ist die natürliche Grundwasserneubildung, bezogen auf die Talsohle mit einer Fläche von 4 km², entsprechend hoch: Gemäss den Bilanzen beträgt sie 1666 mm, wovon 581 mm (35%) auf direkte Versickerung, 899 mm (54%) auf Hangwasserzufluss und perkolative Infiltration an den Talrändern und 186 mm (11%) auf Bachinfiltration entfällt. Die Grundwasserneubildung, bezogen auf die Einzugsgebietsfläche von 22,7 km² beträgt 294 mm. Die Grundwasserneubildung berechnet mit dem Grundwassermodell mit einer aus K-Werten von mehreren Pumpwerken geschätzten nutzbaren Porosität von 9,1% beträgt 1368 mm (ein Wert von 1666 mm ergäbe sich mit einer nutzbaren Porosität von 11%).

Die Versiegelung des Talbodens durch Bauwerke nahm im Untersuchungszeitraum von fünf Jahren von 20,5% auf 22% um 1,5% (60 000 m²) zu. Diese fand hauptsächlich im oberen Talabschnitt statt, der nahe der Stadt St. Gallen liegt. Dieser Flächenverlust für die direkte Neubildung hat einen jährlichen Verlust von ca. 45 000 m³ (1,4 l/s) direkt neugebildeten Grundwassers zur Folge. Dieser Verlust ist zu gering als dass dieser in den Bilanzen bemerkbar wäre, jedoch ist zu beachten, dass fast der gesamte Verlust auf das Konto des nutzbaren Dargebots geht, da hauptsächlich die für die Grundwasserneubildung wichtige obere Talhälfte von der Versiegelung betroffen ist. Die direkte Neubildung verläuft im Untersuchungsgebiet langsam: An einem von Bachinfiltration und Hangwasser unbeeinflussten Grundwasserspiegel ist die Reaktion des Grundwasserspiegels auf Niederschlagsereignisse mindestens zwölf Stunden, im Normalfall drei bis vier Tage verzögert. Von direkter Bachinfiltration beeinflusste Pegel reagieren sehr rasch auf Niederschlags- bzw. Abflussereignisse; die Verzögerung zu Abflussereignissen beträgt nur ca. eine halbe Stunde. Ebenso rasch reagieren Pegel mit perkolativer Bachinfiltration und Hangwasserzufluss.

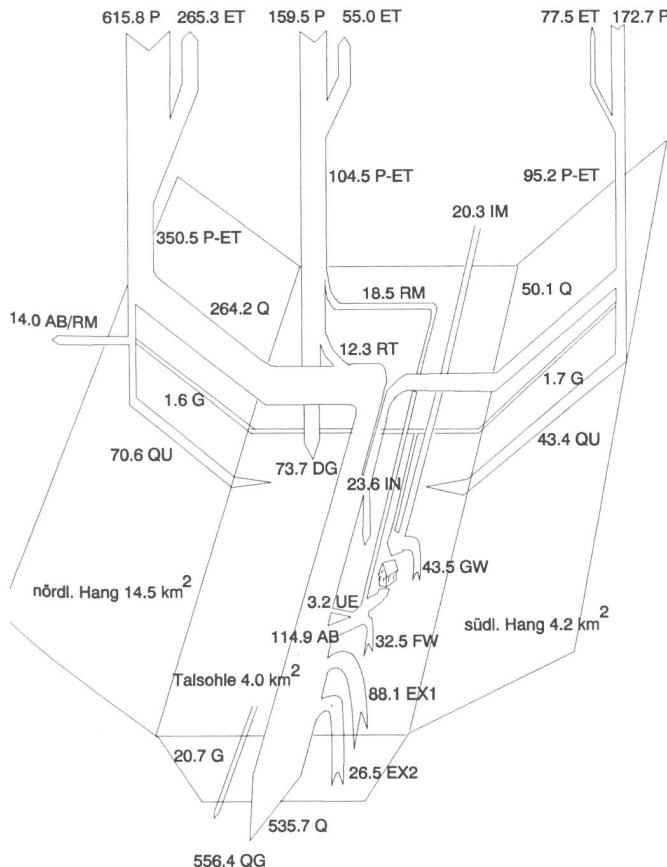


Bild 5. Schematische Wasserbilanz der Periode 1984 bis 1988. Alle Größen in l/s. Die Abkürzungen sowie Werte in mm sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Diskussion

Bei der Berechnung der Bilanzen zeigte sich, dass die minimale Bilanzierungszeitspanne von einem Jahr notwendig war, um genügend kleine Restglieder zu erhalten, d. h. die zufälligen Fehler der Bilanzkomponenten dieses komplexen Einzugsgebiets sind zu gross, als dass Monatsbilanzen erstellt werden könnten. Dennoch ist der Bilanzansatz das geeignete Mittel, um die natürliche Grundwasserneubildung in einem Grundwasserleiter mit grossen Grundwasserspiegelschwankungen (Jahresamplitude grösser als 4 m an den Talrändern) zu bestimmen. Die Berechnung mit gängigen numerischen Grundwassermodellen ist schwieriger, da eine solche Modellierung wegen der grossen Spiegelschwankungen instationär erfolgen muss; als Input werden dabei die hydrogeologischen Parameter wie Leitfähigkeit und effektive Porosität benötigt, die schwer über den ganzen Modellbereich zu bestimmen sind. Zudem braucht es genaue Randbedingungen in feiner zeitlicher Auflösung. Da numerische Grundwassermodelle oft nur am zeitlichen Verlauf von verschiedenen Grundwasserpegeln geeicht werden, kann es vorkommen, dass zwar die Pegel übereinstimmen, aber diese Übereinstimmung zufällig ist, weshalb ein Vergleich mit einer Wasserbilanz stets empfohlen ist.

Während die direkte Neubildung und die Bachinfiltration in der Talsohle gut zu bestimmen waren, bereitete die wichtigste Komponente, der unterirdische Randzufluss, die grössten Schwierigkeiten. Wegen seiner komplexen Zusammensetzung aus

– konzentriertem Randzufluss in Form von präferentiellen unterirdischen Fliesswegen (z.B. entlang von Seitenmoränen, die eine Rinne bilden)

– dispersem Randzufluss in der ungesättigten Bodenschicht, falls diese bis zur Feldkapazität gesättigt ist
 – perkolativer Infiltration der Bäche an den Talrändern ist der Randzufluss in den einzelnen Komponenten nur mit grossem experimentellem Aufwand flächendeckend messbar (Borsch, Flügel, 1988). Daher wird der unterirdische Randzufluss meist als Restglied einer Bilanz berechnet. So zeigt z.B. Balderer (1982), dass der unterirdische Randzufluss als Restglied einer Wasserbilanz des randlichen Einzugsgebiets berechnet und mit einem numerischen Grundwassermodell des Talgrundwasserleiters überprüft werden kann.

Mit den berechneten natürlichen Grundwasserneubildung wird das Volumen des Grundwasserleiters, also das Volumen des gut durchlässigen Talschotters, 4,8 mal pro Jahr umgesetzt. Obwohl sich die einzelnen Wasserpartikel langsam bewegen, besteht eine grosse Dynamik im Gesamtsystem; dies manifestiert sich in den jährlichen Spiegelschwankungen, die an den Talrändern eine Amplitude von vier Metern überschreiten.

Schlussfolgerungen

Der Bilanzansatz ist ein geeignetes Instrument, um die natürliche Grundwasserneubildung zu bestimmen. We-

Tabelle 2. Komponenten der mittleren Wasserbilanz im Zeitraum 1984–1988 (siehe Bild 5).

Variable	Abkürzung	Einheit l/s	Einheit mm	Bezugsfläche
<u>Niederschlag</u>				
gesamt	P	948	1315	Gesamtfläche
Nordteil	P	616	1339	Nordteil
Talsohle	P	160	1257	Talsohle
Südteil	P	173	1297	Südteil
<u>Verdunstung</u>				
gesamt	ET	398	552	Gesamtfläche
Nordteil	ET	265	577	Nordteil
Talsohle	ET	55	433	Talsohle
Südteil	ET	78	582	Südteil
<u>Abfluss</u>				
gesamt	Q	536	744	Gesamtfläche
Nordteil	Q	264	575	Nordteil
Mischkanalisation	RM	19	146	Talsohle
Trennkanalisation	RT	12	97	Talsohle
Südteil	Q	50	376	Südteil
<u>Exfiltration</u>				
	EX1/EX2	115	904	Talsohle
<u>Trinkwasser</u>				
gepumptes Grundwasser	GW	44	343	Talsohle
Fassungen Nordhang	G	2	13	Talsohle
Fassungen Südhang	G	2	13	Talsohle
Quelle Cyander	G	21	163	Talsohle
Import	IM	20	160	Talsohle
<u>Abwasser</u>				
Kläranlage	AB	115	906	Talsohle
export.	AB/RM	14	110	Talsohle
Abwasser/Meteow. inkl. Meteorwasser				
Ueberlauf	UE	3	25	Talsohle
Fremdwasser	FW	33	256	Talsohle
Meteorwasser	RM	19	146	Talsohle
<u>Grundwasserneubildung</u>				
Direkte Neubildung	DG	74	581	Talsohle
Unterird. Randzufluss nord	QU	71	557	Talsohle
Unterird. Randzufluss süd	QU	43	342	Talsohle
Bach Infiltration	IN	24	186	Talsohle

² Bestehend aus der Differenz aller nicht oberirdischen Komponenten QUnord + QUSüd + IN – GW – FW – EX1 – EX2 – G, Legende siehe Tabelle 2.

gen des grossen Schwankungsbereichs der einzelnen Bilanzkomponenten und der komplexen Speichermechanismen müssen allerdings längere Bilanzierungsperioden gewählt werden, um ein brauchbares Resultat zu erhalten.

Je nach Flächenverhältnis zwischen Talsohle (mit Grundwasserleiter) und Randgebiet spielt der unterirdische Randzufluss eine bedeutende Rolle bei der Grundwasserneubildung. In unseren alpinen und voralpinen Gebieten dürfte dies häufig der Fall sein.

Die anthropogene Komponente des Wasserkreislaufs (in Tabelle 2 unter «Abwasser» aufgeführte Komponenten) ist mit einem Anteil von 20% am Gesamtabfluss in diesem Einzugsgebiet nicht zu vernachlässigen.

Der Einfluss der zunehmenden Versiegelung des Talbodens ist quantifizierbar, da nur die direkte Neubildung betroffen ist. Mindestens die gleiche Bedeutung haben Bauten am Talrand, die ev. den unterirdischen Randzufluss stören bzw. Hangwasser durch Drainagen abführen können.

Literatur

Balderer, W. (1982): Darstellung einer Methode zur Abschätzung der seitlichen Zuflüsse zu einem Grundwasservorkommen bei der Verwendung von Simulationsmodellen. «Bull. Centre d'hydrogéologie de Neuchâtel», 4, S. 165 – 183.

Barsch, D. B. & Flügel, W. A. (1988): Untersuchungen zur Hanghydrologie und zur Grundwassererneuerung am Hollmuth, Kleiner Odenwald. In: Niederschlag, Grundwasser, Abfluss. Ergebnisse aus dem hydrologisch-geomorphologischen Versuchsgebiet «Hollmuth». Heidelberger Geographische Arbeiten, H. 66, Geograph. Inst. Univ. Heidelberg, S. 1 – 82.

Bell, J. P. (1987): Neutron probe practice. Report 19, 3rd. edn., Institute of Hydrology, Wallingford, 51 S.

Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz (1989): Lysimeterdaten von Schweizerischen Messstationen, Bodenwassergehalt, Sickerwasser, Niederschlag und Evapotranspiration. Arbeitsgruppe Lysimeter der Bodenkundl. Ges. Schweiz. Juris Druck und Verlag, Zürich, 123 S.

Bowen, I. S. (1926): The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. «Phys. Rev.», 27, S. 779 – 787.

Freeze, R. A. (1967): Quantitative interpretation of regional groundwater flow patterns as an aid to water balance studies. Intern. Assoc. Sci. Hydrol., IASH General Assembly of Berne, Publ. No. 78, S. 154 – 173.

Gronowski, T. (1992): Die natürliche Grundwasserneubildung in einem urban beeinflussten Einzugsgebiet im Voralpenraum. Zürcher Geographische Schriften, Nr. 50, Geographisches Inst. ETH, Zürich, 157 S.

Lang, H. & Grebner, D. (1984): The hydrological research basin Rietholzbach: permanent hydrological and hydrometeorological instrumentation. In: The EVAPEX-ALPEX campaign 1982, Zürcher Geographische Schriften, Nr. 18, Geographisches Inst. ETH, Zürich, S. 11 – 20.

Luder, B. & Fritschi, B. (1990): Abflussmessung in offenen Gerinnen. Renaissance der Salzverdünnung. «wasser, energie, luft», Heft 3/4, S. 48 – 50.

Menzel, L. (1991): Wasserhaushaltstudien im Einzugsgebiet der Thur (Ostschweiz). Analyse hydrologischer Feldmessungen 1976 – 1985. Berichte und Skripten. Geographisches Inst. ETH, Zürich, 206 S.

Penman, H. L., (1948): Natural evaporation from open water, bare soil and grass. «Proc. R. Soc. A», 193, 120-145.

Sevruk, B. (1985): Systematischer Niederschlagsmessfehler in der Schweiz. In: Der Niederschlag in der Schweiz. Beitr. Geol. Schweiz – Hydrol. Nr. 31, Kümmerly + Frey, Bern, S. 65 – 75.

Adressen der Verfasser: *Terence V. Gronowski*, Dr. sc. nat., Geologe, Geologisches Büro Dr. Heinrich Jäckli AG, Limmatstrasse 289, CH-8049 Zürich, und Prof. Dr. *Herbert Lang*, Professor, Geographisches Institut ETH, Abteilung Hydrologie, Winterthurerstrasse 190, CH-8057 Zürich.

Licht und Algenwachstum

Zusammenfassung eines Vortrags von Ferdinand Schanz

Die auf der Erdoberfläche eintreffende Sonnenenergie ist die Grundlage des Lebens von Bakterien, Pflanzen, Tieren und auch des Menschen. Nur die grünen Pflanzen (darunter auch die Algen) und einige Bakteriengruppen sind jedoch in der Lage, Licht aufzunehmen und für den Aufbau körpereigener Substanzen zu nutzen. In Gewässern nimmt die Lichtenergie mit zunehmender Tiefe rasch ab. Allerdings verschwinden nicht alle Farben der sichtbaren Strahlung gleich rasch, Rot- und Blaulicht verschwinden in geringerer Tiefe als Grünlicht. In 8 bis 10 Metern Tiefe erscheint deshalb zum Beispiel der Zürichsee grünlich. Für die Bestimmung der Lichtenergie in Gewässern stehen heute zuverlässige Messgeräte zur Verfügung.



Bild 1. Die Secchi-Scheibe wird immer tiefer ins Wasser gelassen, bis sie nicht mehr sichtbar ist. Diese Tiefe und die Tiefe des Sichtbarwerdens beim Wiederauftauchen der Scheibe werden gemittelt, was ein Mass für die Lichtdurchlässigkeit des Wassers gibt.

Eine einfache Charakterisierung der Lichtverhältnisse ist mit Hilfe einer weissen Scheibe möglich. Sie wird von einem Boot aus im See versenkt, wobei bestimmt wird, in welcher Tiefe die Scheibe dem Auge entschwindet. Vergleicht man die im Zürichsee ermittelten Tiefen von 1897 bis 1991, kann festgestellt werden, dass sich die Lichtverhältnisse während des Sommers (Monate Juni, Juli) in den letzten 20 Jahren wesentlich verbessert haben. Es darf angenommen werden, dass dies ein Resultat der verminderten Nährstoffzufuhr ist (als Folge der konsequenten dreistufigen Abwasserreinigung im Einzugsgebiet); dadurch dürfte das Algenwachstum in der Oberflächenschicht während der Sommerperiode gehemmt sein, und der See erscheint deshalb klarer.

Adresse des Verfassers: PD Dr. Ferdinand Schanz, Universität Zürich, Institut für Pflanzenbiologie, Limnologische Station, Seestrasse 187, CH-8802 Kilchberg.

Der Vortrag wurde am 27. Oktober 1992 vor dem Linth-Limmatverband in Zürich gehalten.