

Schlüsselwörter

Tirol
 Unterinntal
 Hydrogeologie
 Untergrunderkundung
 Grundwassermodell

Erkundung und Modellierung im Grundwasserfeld Langkampfen (Tirol)

HELMUT SCHÖNLAUB & EWALD TENTSCHELT*)

7 Abbildungen

Inhalt

Zusammenfassung	29
Abstract	29
1. Einleitung und Projektsdaten	29
2. Hydrogeologie	30
3. Erkundung	30
4. Grundwassermodell	32
5. Prognose	34
6. Schlußfolgerungen	35
Literatur	36

Zusammenfassung

Für das z.Zt. im Bau befindliche Flußkraftwerk Langkampfen bei Kufstein wurden umfangreiche hydrogeologische und hydrologische Untersuchungen durchgeführt. Das Grundwasser wird hauptsächlich vom Inn, nur in geringem Maße von Bergwasserzuflüssen beeinflusst. Der „relative Grundwasserstauer“ wurde durch Bohrungen und durch Geoelektrik erkundet und zeigt ein deutliches Relief.

Die Untergrunderkundungen (Bohrungen, Geoelektrik, Grundwasserspiegelmessungen, Bergwasserzustrom, etc.), ihre Auswertung und ihr Einsatz in einem mathematischen Grundwassermodell werden beschrieben. Dadurch können die Grundwasserverhältnisse nach dem Kraftwerksbau berechnet und die technischen Gegenmaßnahmen (Drainagen, Abdichtungen) bemessen werden. Auch die Wirkung dieser Maßnahmen wird prognostiziert.

Investigation and Modelling in the Groundwater Area of Langkampfen (Tyrol)

Abstract

For the power plant of Langkampfen near Kufstein (under construction) a comprehensive study for the groundwater balance was done. The groundwater is mainly influenced by the river Inn, only partly by jointwater inflow from the mountains. The aquiclude was investigated by boreholes and by geoelectrical surveys and shows an intensive morphology. The input parameters (ground water and joint water inflow, water balance, water wells, geoelectrical prospecting etc.) are shown in their importance for the mathematical groundwater model. By this model the groundwater levels after construction of the power plant can be forecasted for the planning of drainage systems and diaphragma walls. Even the influence of these constructions can be calculated.

1. Einleitung und Projektsdaten

Die TIWAG (Tiroler Wasserkraftwerke A.G.) baut seit Herbst 1995 am Inn ca. 4 km flußaufwärts von Kufstein das Laufkraftwerk Langkampfen (Abb. 1).

Die Bruttofallhöhe von 8,3 m wird zu zwei Dritteln durch Aufstau (Länge des Rückstaubereiches 8,4 km) und zu einem Drittel durch Unterwassereintiefung (mit einer Länge von 3,8 km) erreicht; damit will man eine Werksleistung von 31,5 MW und ein Jahresarbeitsvermögen von 169 GWh erzielen. Im Bereich dieses Untersuchungsgebietes kommt

es durch den Kraftwerksbau zu einer Veränderung der Grundwasserverhältnisse.

Zweck der Erkundungen war es, den derzeitigen Zustand als Beweissicherung zu erfassen sowie Eingangswerte für ein mathematisches Grundwassermodell zu erhalten, um mit diesem die Änderung der Grundwasserverhältnisse durch den Kraftwerksbau zu prognostizieren.

Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich von der Inn-schleife Kirchbichl im Südwesten bis zum Stadtrand von Kufstein im Nordosten. Der Talboden liegt auf einer mittleren

*) Anschrift der Verfasser: Dipl.-Ing. Dr. techn. HELMUT SCHÖNLAUB, Dr. EWALD TENTSCHELT, Tiroler Wasserkraftwerke AG, Eduard-Wallnöfer-Platz 2, A-6010 Innsbruck.

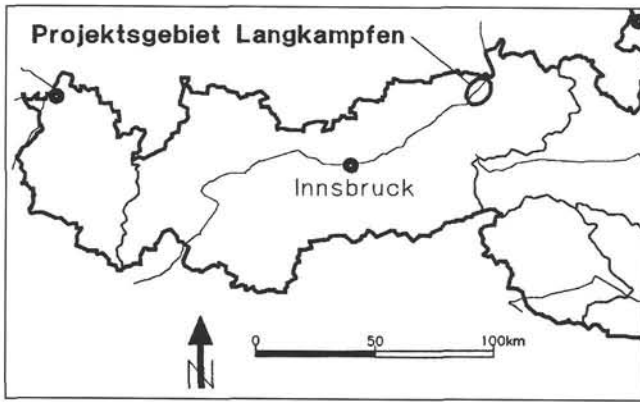


Abb. 1.
Lage des Untersuchungsgebietes.

Höhenlage von 490 m ü.A. Die Innufer liegen bereichsweise höher als der übrige Talboden, es gibt natürliche Tiefenlinien und Mulden, in denen Entwässerungsgräben und Gießebäche verlaufen.

Die Umgestaltung des Tiroler Inns zum regulierten Kulturfluß begann bereits im Mittelalter und ist seit Jahrzehnten abgeschlossen.

2. Hydrogeologie

Die Geologie des Projektgebietes (Abb. 2) ist gekennzeichnet durch die quartären Alluvionen im Talbereich, sowie durch die Talränder aus Sedimentgesteinen des Wettersteinkalkes und des Hauptdolomits im N und der Mergel und Sandsteine des sogenannten „Häringer Tertiärs“ im S (AMPFERER, 1922; HEISSEL, 1951).

Die Talfüllung besteht im allgemeinen aus Ausanden (Mächtigkeit 0–3 m), einem oberen Kieskörper (5–25 m) und einem „relativen Stauer“ aus schluffigen Feinsanden (Stillwassersedimente), welcher den oberen Aquifer von tieferen Grundwasserstockwerken trennt. Im Bereich der Kirchbichler Innschleife sind bis in größere Tiefen Verzahnungen von seitlichen Schuttkegeleinstößen mit den Inn-Alluvionen erbohrt worden.

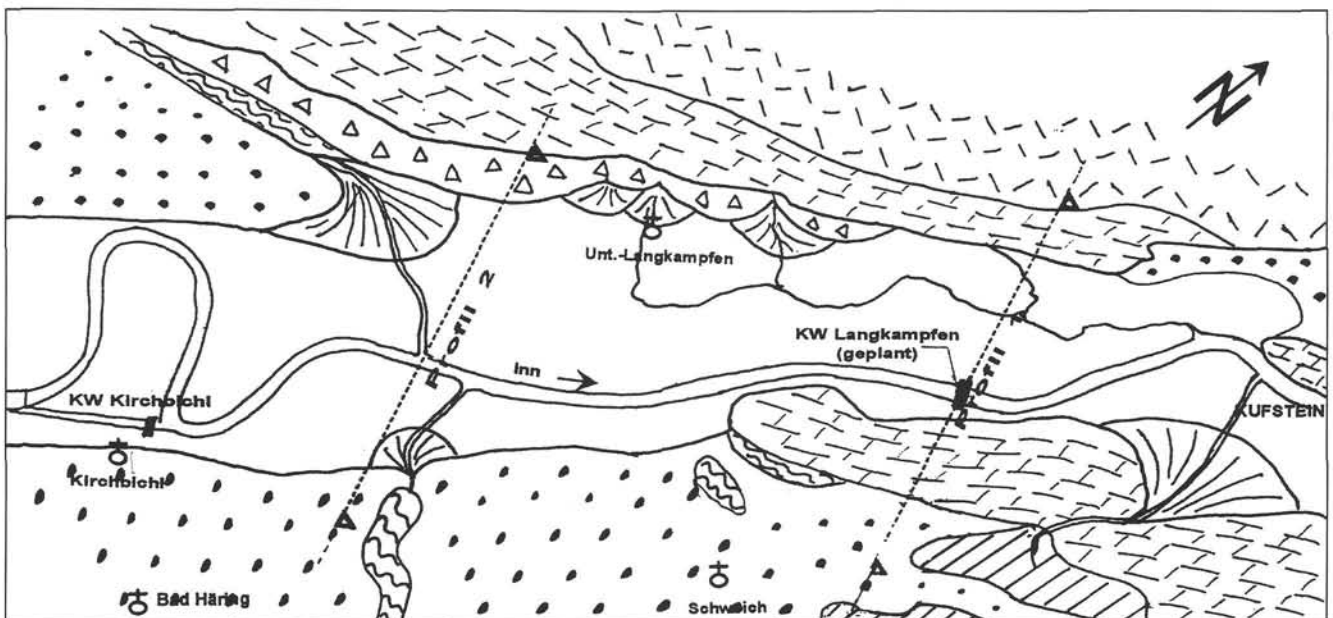


Abb. 2.
Geologische Lageskizze (Legende siehe Abb. 3).

Die Tiefe der Felssohle des Inntales ist zur Zeit nicht exakt bekannt, auf Grund seismischer Untersuchungen im Raum Langkampfen (FIGALA & SCHMID, 1990; WEBER & SCHMID, 1991; WEBER, SCHMID & FIGALA, 1992) dürfte sie etwa 900 m mit mehreren Grundwasserstockwerken betragen. Diese Tiefe wurde mit einer Tiefbohrung im Raum Wattens erreicht, welche auch nach 900 m die Felssohle noch nicht antraf und eine Eichbohrung für die Seismik im Inntal darstellt (FIGALA, 1994).

Im geologischen Profil auf Höhe der Wehrstelle treten die Karbonate der Festgesteinsumrahmung beiderseits bis an den Talboden herab. Flußaufwärts hingegen stehen beiderseits des Inntales pleistozäne Terrassensedimente, rechtsufrig stehen darunter die Mergel und Sandsteine des „Häringer Tertiärs“ an (Abb. 3).

Diese geologische Situation ergibt Abschnitte unterschiedlicher Bergwasseranströmung zum Grundwasserkörper. Sie kommt vor allem aus den Karbonaten des Pendlings-Gewölbes, die größtenteils den linken Talrand bilden. Eine deutliche Verkarstung ist nicht ausgeprägt, die sichtbaren Bergwasseraustritte stammen aus zwar geöffneten, aber nur schwach angelaugten Klüften.

Die pleistozänen Terrassensedimente, welche im oberen Rückstaubereich den südlichen Talrand bilden, bieten ihre eingelagerten Moränen und Mehlsande, sowie durch die unterlagernden Kreidemergel und Mergel des Häringer Tertiärs (örtlich aufgeschlossen) nur geringe Speichermöglichkeiten und spenden daher nur geringe Bergwasserzuflüsse. (vgl. Kap. 4 u. Abb. 4).

3. Erkundung

Zur Verdichtung der hydrogeologischen Informationen wurden im Untersuchungsgebiet 250 Bohrungen (Σ = ca. 5000 lfm) mit Tiefen von 12 bis 40 m abgeteuft.

Die Ergebnisse der Sondierungen zeigen eine äußerst inhomogene Abfolge von Sand-Kies-Schluffgemischen, wobei die Schlufflagen gegen Kufstein hin zunehmen, was auf einen zeitweisen Rückstau des Inns schließen läßt. Dieser Rückstau erfolgte durch eine zeitweilig vorhanden gewese-

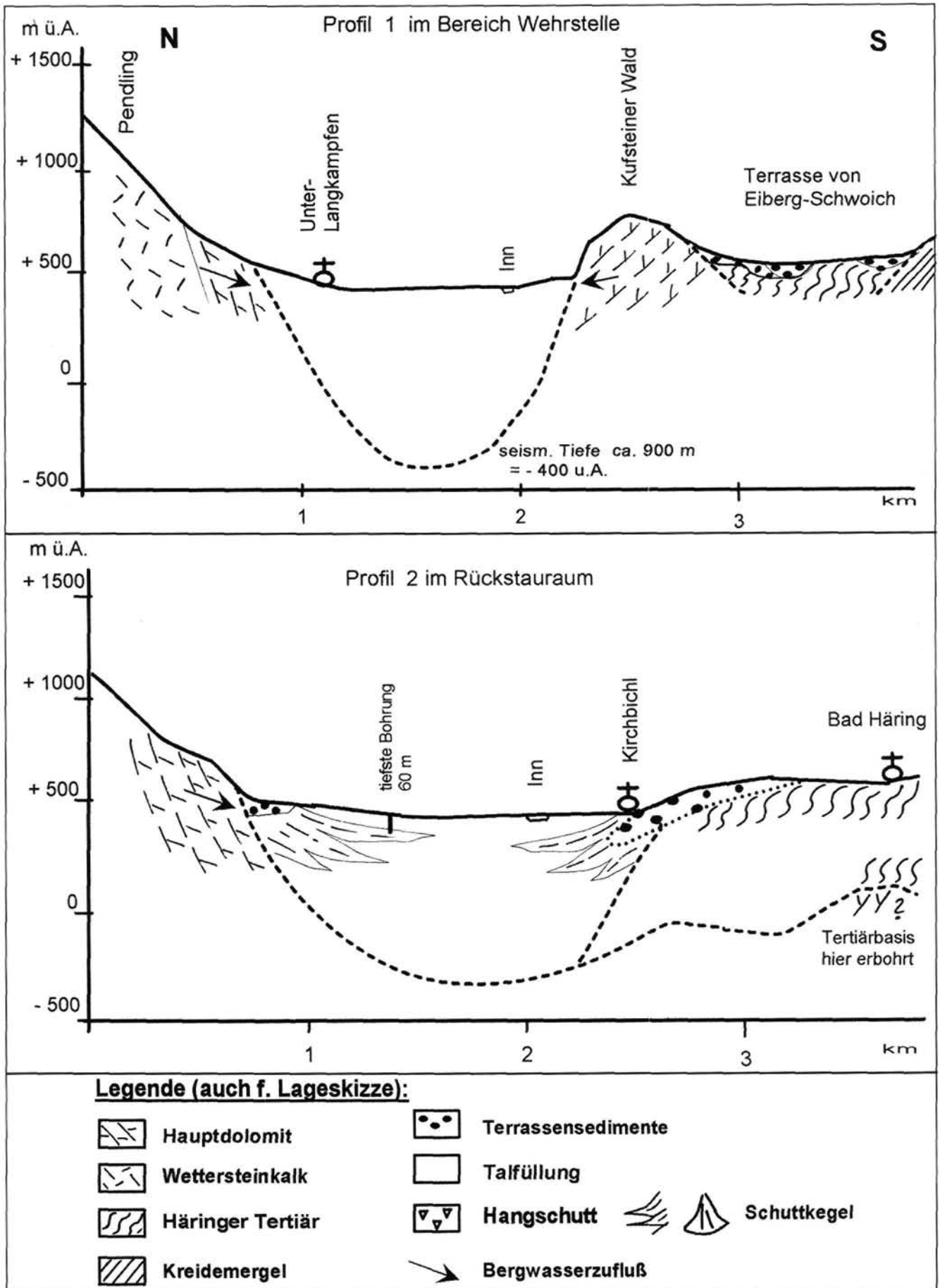


Abb. 3. Geologische Profile.

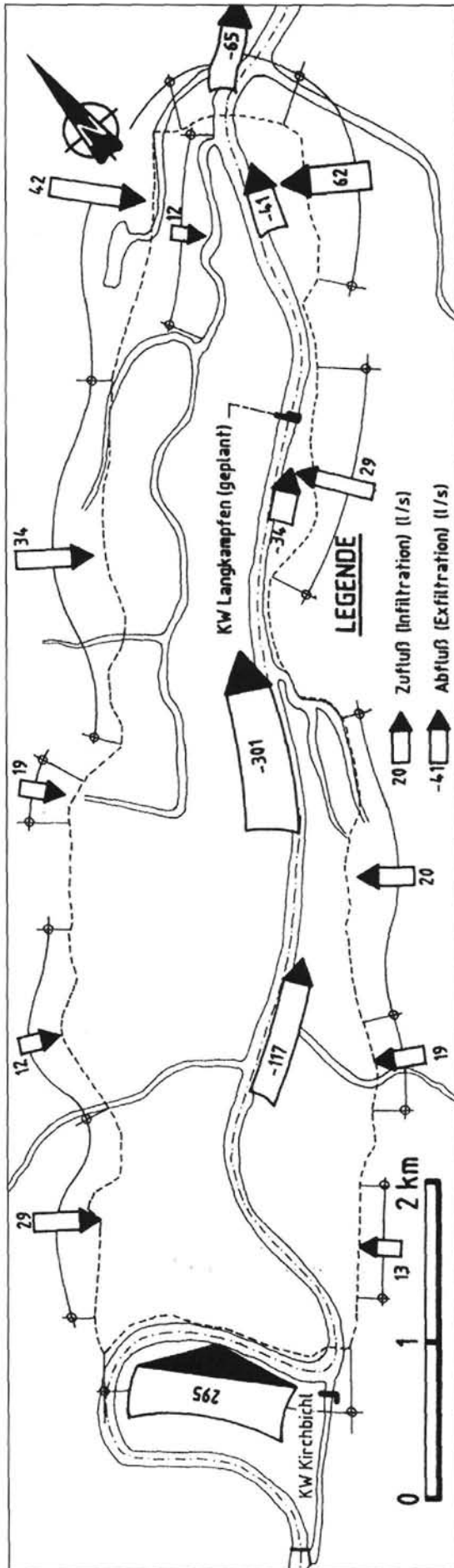


Abb. 4.
Wasserbilanz mit Randzuflüssen.

sene Felsschwelle, deren Reste als Inselberge (z.B. Festungsberg Kufstein) heute noch bestehen.

Für die Bestimmung der Oberfläche des „relativen Stauers“ standen 21 Bohrungen zur Verfügung, welche den Stauer erreichten, sowie sechs ältere Bohrungen. Zusätzliche Informationen lieferten 67 geoelektrische Sondierungen entlang von 17 Talquerprofilen.

In mehreren hydrogeologischen Gutachten (z.B. SCHUCH, 1983; AICHORN, 1989) wird als Grenzkriterium für einen Grundwasserstauer ein k_f -Wert von $< n \cdot 10^{-3}$ m/s angegeben. Dieses Kriterium ist zwar für Zwecke der Wassergewinnung sinnvoll, erwies sich aber für die Modellrechnung als zu hoch.

In den geoelektrischen Sondierungen, welche an den langen Sondierbohrungen sowohl in Bezug auf die Sieblinien als auch auf die Durchlässigkeiten geeicht werden konnten, entspricht ein spezifischer geoelektrischer Widerstand von $< 150 \Omega$ dem o.a. Stauer. Dieser ist aber nicht in allen geoelektrischen Sondierprofilen angetroffen worden, stellenweise war der niederste Wert ca. 200 Ω . Dies entspricht schwach schluffigen Sanden, deren Durchlässigkeit die Wasserbilanz des Talabschnittes noch deutlich beeinflussen kann.

Da bei der Größe des Untersuchungsgebietes naturgemäß nicht für jeden Bohrmeter Durchlässigkeitsbeiwerte aus Kurzpumpversuchen oder Siebanalysen gewonnen werden konnten, mußten die übrigen Bereiche auf Grund der geologischen Bohrprofile interpoliert werden. Dabei stellte sich heraus, daß bei der Gegenüberstellung von spezifischem Widerstand und der Durchlässigkeit bzw. der Sieblinie zwar ein eindeutiger Trend vorliegt, eine strenge Abhängigkeit aber nicht nachzuweisen ist (wahrscheinlich bedingt durch unterschiedliche Lagerungsdichten, welche durch Penetrometer-Tests in den Bohrlöchern festgestellt wurden). Dazu kommt noch, daß sowohl die Ermittlung des spezifischen Widerstandes als auch die Durchlässigkeitswerte aus Kurzpumpversuchen nur Näherungswerte darstellen (RAMNER, 1977). Dasselbe Bild zeigt die Gegenüberstellung der Siebanalysen zur Durchlässigkeit aus den Pumpversuchen. Beim Vergleich des Grundwassermodells mit den Bohrkernanalysen wurde festgestellt, daß die Definition des „relativen Stauers“ für die großräumige Betrachtung des Modellgebietes in Richtung kleinerer Durchlässigkeitsbeiwerte verschoben werden muß. Es wurde daher der Wert $k_f < n \cdot 10^{-4}$ m/s als Kriterium angesetzt. Die Oberfläche des relativen Stauers zeigt eine langgestreckte Tiefenrinne, welche eine weniger ausgeprägte und zwei deutliche Senken aufweist. Diese drei Senken mit einer Tiefe von max. 30 m unter GOK werden von mehr oder weniger ausgeprägten Schwellen (10–15 m unter GOK) unterbrochen.

4. Grundwassermodell

Neben den geologischen Untersuchungen wurden zur Erfassung der hydrologischen Daten die schon erwähnten Bohrungen zu einem Meßstellennetz mit 236 Meßstellen ausgebaut. Außerdem bestehen noch zwei Meßstationen für Niederschläge und Klima. Damit werden hydrologische Grunddaten, wie Wasserstände, Abflußmengen, Niederschlagshöhen, Klimadaten sowie physikalische und chemische Parameter in ihrer räumlichen und zeitlichen Variabilität erhoben und ausgewertet. Mit diesen Meßdaten können die Modellparameter zur quantitativen Simulation der Grundwasserströmung ermittelt werden. Diese Parameter sind:

- Durchlässigkeitsbeiwerte
- Speicherkoeffizienten
- Grundwasserpotentiale
- Zu- und Abflüsse aus dem Untersuchungsgebiet

Das Grundwasserregime wird überwiegend vom Inn, in geringerem Maße von den zufließenden Bächen und Bergwasserzutritten aus dem Randgebirge, sowie von Gießbächen bzw. Entwässerungsgräben im Talboden beeinflusst. Durch den Betrieb der Speicherkraftwerke im Oberlauf gibt es im Inn tägliche Spiegelschwankungen von bis zu 60 cm. Die entsprechende Abflußänderung entspricht einem Mehrfachen des Niederwasserabflusses. Den größten Einfluß auf die Grundwasserstände hat daher der jeweilige Wasserstand im Inn (SCHÖNLAUB, 1987).

Diese Wasserstände werden teils wöchentlich gemessen, teils kontinuierlich aufgezeichnet und über das TIWAG-eigene „Mathematische Modell Inn“ ausgewertet. Als Bezugspunkte stehen hierfür drei Innpegel im Untersuchungsgebiet zur Verfügung. Weiters können die Austauschvorgänge mit den seitlichen Zubringern durch Messung der Wasserstände an Bachpegeln und über Durchflußmessungen ermittelt werden.

Das für die Berechnung der Grundwasserhältnisse eingesetzte Grundwassermodell ist ein horizontal-ebenes Grundwassermodell für einen inhomogenen, isotropen Aquifer mit freiem Grundwasserspiegel. Zur Lösung des Gleichungssystems wird das numerische Finite-Elemente-Verfahren eingesetzt (BLAU et al., 1983; DVWK, 1984; CEMUS et al., 1994).

Für die stationäre Berechnung benötigt das Modell die Definition von Randbedingungen sowie die Angabe von Gebietsdurchlässigkeitsbeiwerten innerhalb des Modellgebietes. Als Randbedingungen werden an den oberwasserseitigen und unterwasserseitigen Modellrändern Potentiale festgelegt. Dafür werden die an den Randmeßstellen gemessenen Standrohrspiegelhöhen eingesetzt. Die tal-längsseitigen Modellränder werden als Zu- oder Abstromränder behandelt.

Die Bilanzierung der Randzuflüsse erfolgt aus der indirekten Grundwasserneubildungsrate für das gesamte außerhalb des Modellgebietes liegende Einzugsgebiet. Dabei gehen als Bilanzierungsgrößen:

- der Niederschlag,
- die Verdunstung und
- der Oberflächenabfluß

in die Rechnung ein.

Der Niederschlag wird aus den Meßwerten der Station Kreit (am Rande des Untersuchungsgebietes gelegen) bestimmt. Der mittlere Jahresniederschlag beträgt dort ca. 1340 mm. Dieser Wert ist noch mit einem Niederschlagsgradienten auf die mittlere Höhenlage des Einzugsgebietes umzurechnen (BLUMER, 1993). Der hochgerechnete mittlere Jahresniederschlag für den nördlichen Modellrand beträgt somit 1450 mm. Die Verdunstungsrate, welche nach der Formel von WUNDT (1953) und TURC (1961) ermittelt und ebenfalls mit einem höhenabhängigen Gradient angesetzt wird, beträgt für den nördlichen Modellrand 450 mm.

Die Jahres-Abflußfracht für die nördlichen Seitenbäche beträgt $4,9 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Aus der Bilanzierung für das nördliche Einzugsgebiet mit den o.a. Werten ergibt sich ein mittlerer unterirdischer seitlicher Zufluß von 33 l/s je km des Modellrandes. Diese relativ hohe Zuflußrate ist auf das Pending-Massiv (Hauptdolomit und Wettersteinkalk mit teilweiser unterirdischer Entwässerung) zurückzuführen. Dieser Wert wird mit Hilfe der gemessenen Randpotentiale im Rahmen der Modellkalibrierung angepaßt. Dabei verteilt man den gesamten Zufluß derart über den Rand, daß unter Einhaltung der Gesamtzuflußmenge die errechneten Strom- und Potentiallinienbilder den gemessenen möglichst nahe kommen.

Nach demselben Verfahren wird der südliche Modellrand behandelt. Dort ergibt sich im Bereich des „Häringer Tertiärs“ bzw. der Terrassenschotter ein mittlerer unterirdischer Seitenzufluß von nur 12,5 l/s-km, während in Wehrnähe durch den angrenzenden Hauptdolomit des Kufsteiner Waldes 29 l/s-km ermittelt wurden. In Abb. 4 ist die unterirdische Wasserbilanz der Zu- und Abflüsse in l/s je Abschnitt graphisch dargestellt.

Für eine erste Berechnung der Grundwasserströmungsverhältnisse werden noch Ausgangswerte für den Modellparameter „Durchlässigkeitsbeiwert“ benötigt. Diese wurden aus Kurzpumpversuchen während des Abteufens der Grundwassermeßstellen in einer Vorbohrung unterhalb des Futterrohres ermittelt. Zum Abstützen dieser Vorbohrung wird eine Pumpe mit Filterkorb eingesetzt. Dadurch ergeben sich in der Umgebung der Vorbohrung Strömungsvorgänge mit geometrisch eindeutig definierten Strömungsfeldern.

Die Berechnung des Durchlässigkeitsbeiwertes k_f erfolgt für den Fall konstanter Druckhöhe und laminarer Strömung (HUFSCHMIED, 1983) nach der Gleichung

$$k_f = Q/(C \cdot s) \text{ [m/s]} \quad (1)$$

Darin bedeuten: Q Durchfluß [m³/s]

s Absenkung [m]

C Anströmfaktor [m]

Im Anströmfaktor C sind die inneren Randbedingungen (Geometrie der Vorbohrung) und äußeren Randbedingungen (undurchlässige Berandungen, Festpotentiale) sowie eine allfällige Anisotropie enthalten. Man rechnet nach dem Modell zylinderförmiger Äquipotentialflächen. Für den Fall nichtlaminarer Strömung wird nach dem nichtlinearen Ansatz von FORCHHEIMER (1901) ausgewertet:

$$J = a \cdot v + b \cdot v^2 \quad (2)$$

Dabei ist das hydraulische Gefälle J eine Funktion der Filtergeschwindigkeit v, a und b sind empirisch ermittelte Widerstandskoeffizienten.

Die Grenze für die beiden Ansätze der Auswertung von Punkt-k-Wert-Versuchen liegt bei einem Durchlässigkeitsbeiwert von $k_f = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$.

Insgesamt wurden 80 Pumpversuche nach dieser Methode durchgeführt und ausgewertet. Dabei zeigt es sich, daß die Filtergeschwindigkeiten sowohl im laminaren, als auch im nichtlaminaren Bereich liegen können. Dementsprechend mußte man auch die Auswertung nach verschiedenen Methoden durchführen.

Die Ergebnisse unterliegen einer großen Streuung, was den sehr inhomogenen Aquiferaufbau bestätigt. Die k_f -Werte schwanken zwischen den Extremwerten $3 \cdot 10^{-5}$ bzw. $7 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$, die meisten Werte liegen zwischen $1 \cdot 10^{-4}$ und $6 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$.

Die ermittelten Durchlässigkeitswerte gelten nur für den Bereich in unmittelbarer Umgebung des Bohrloches und in der entsprechenden Tiefe und werden daher „Punkt-k-Werte“ genannt. Werden in einer Bohrung mehrere Punkt-k-Wert-Versuche durchgeführt, dann kann die über die Grundwassermächtigkeit H gemittelte horizontale Durchlässigkeit des Aquifers, der sogenannte Profil-k-Wert bestimmt werden.

Die mittlere horizontale Durchlässigkeit eines Gebietes wird dann durch die flächenhafte Verteilung der Profil-k-Werte bestimmt.

Neben diesen „äußeren Randbedingungen“ sind im Gebiet selbst noch „innere Randbedingungen“ anzusetzen. Die Austauschvorgänge zwischen Oberflächengewässern und dem Aquifer werden über die sogenannte Leakage-Bedingung berechnet. Anthropogene Einflüsse, wie Drai-

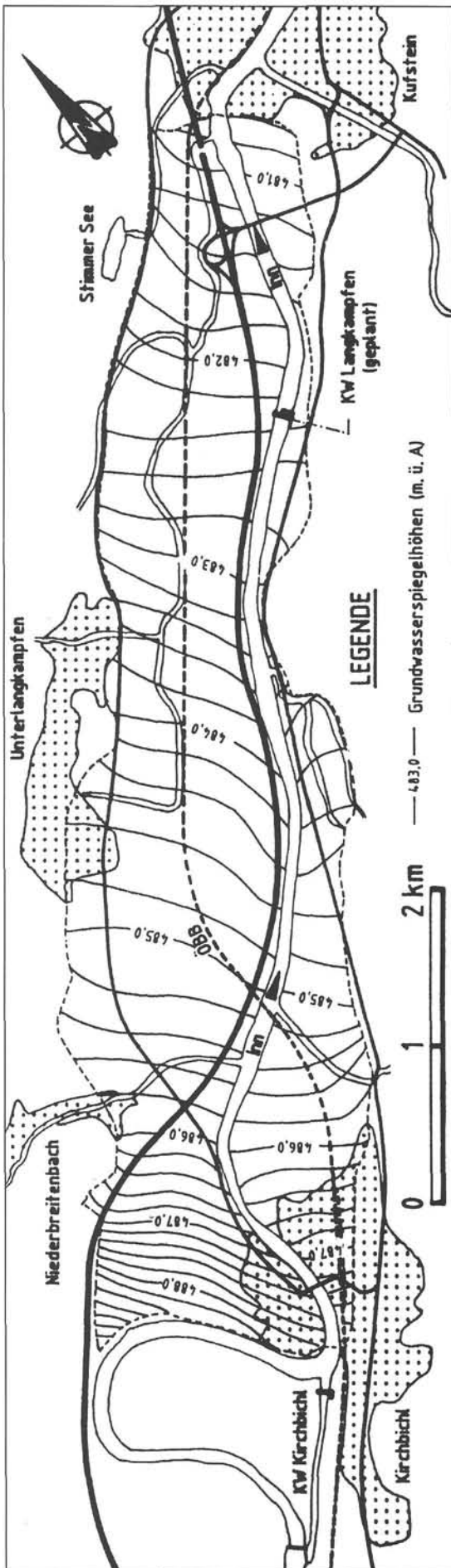


Abb. 5. GW-Schichtenplan vor Kraftwerksbau (Ausgangszustand).

nagerohrleitungen, Wasserentnahmen und Versickerungen können nach demselben Verfahren berücksichtigt werden. Die Grundwasserneubildung aus Niederschlägen wird als flächenhafter Zufluß angesetzt und über eine Wasserbilanz aus Messung von Niederschlag, Temperatur, Luftfeuchte und Verdunstung ermittelt.

Nach der Festlegung aller Randbedingungen wird das Modell geeicht. Der maßgebende Eichparameter ist hierbei die Gebietsdurchlässigkeit. Durch Variation dieses Parameters werden die Strömungsverhältnisse mit dem Mathematischen Grundwassermodell errechnet und mit den in der Natur erfaßten in Übereinstimmung gebracht. In iterativen Schritten versucht man,

- die Abweichung zwischen gemessenen und berechneten Potentialen und
- die Abweichung zwischen Zu- und Abflüssen, d.h. die Mengbilanz

zu minimieren.

Die Eichergebnisse beim Grundwassermodell Langkampfen brachten Abweichungen bei den Potentialen in der Größenordnung von 20 cm. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Grundwasserströmungsverhältnisse im Inntal durch die täglichen Schwallscheinungen der Oberliegerkraftwerke meist ein instationäres Verhalten zeigen.

Als zweites Kriterium zur Beurteilung der Qualität der Modellkalibrierung dient die Zu- bzw. Abflußbilanz. Die Bilanz für den Grundwassertiefstand zeigt Abweichungen zwischen Zu- und Abflüssen von ca. 5 %. Auch diese Größe kann als befriedigend angesehen werden.

Die Gebietsdurchlässigkeiten liegen zwischen $k_f = 5 \cdot 10^{-4}$ m/s und $1,5 \cdot 10^{-2}$ m/s. Generell kann eine Abnahme der Durchlässigkeit vom westlichen zum östlichen Rand des Modellgebietes beobachtet werden. Die höchsten Gebietsdurchlässigkeiten liegen im Bereich der Innschleife Kirchbichl, die niedrigsten im nordwestlichen Modellbereich.

5. Prognose

Mit dem nunmehr geeichten Modell ist es möglich, mit den infolge des Kraftwerksbaus geänderten Randbedingungen die zukünftigen Grundwasserströmungsverhältnisse zu berechnen. Diese Veränderungen müssen durch geeignete technische Maßnahmen in vertretbaren Grenzen gehalten werden. Durch die Prognoserechnung können die Auswirkungen der technischen Eingriffe abgeschätzt und die Maßnahmen dimensioniert werden. Die Grundwasserschichtenlinienpläne vor bzw. nach dem Kraftwerksbau (Abb. 5 und 6) zeigen die prognostizierten Veränderungen.

Aus den Flurabstandsplänen läßt sich erkennen, daß die Abschnitte, wo die Flurabstände schon vor dem Kraftwerksbau gering sind, sich nachher nur wenig verändern.

Die Veränderungen der Grundwasserspiegellagen sind direkt aus dem Differenzschichtenlinienplan (Abb. 7) ablesbar. Um die Veränderungen gering zu halten, sind als technische Maßnahmen im Rückstaubereich bis auf die Höhe der ÖBB-Brücke beidseitig der Einbau von Schmal- oder Dichtwänden in den Dämmen und die Anordnung landseitiger Drainagen vorgesehen. Dadurch wird verhindert, daß der Grundwasserstand über ein gewisses Maß hinaus ansteigt. Die Schmalwände vermindern die Sickerwassermenge aus dem Stauraum und die Drainagen führen einerseits die verbleibende Sickerwassermenge und andererseits das von der Landseite zuströmende Grundwasser bis in den Unterwasserbereich ab. Im Bereich der Unterwassereintiefung wird der Wasserspiegel im Inn abgesenkt. Hier ist sowohl links- als auch rechtsufrig ein Umgehungsgerinne geplant. Das linksufrige Gerinne wird entlang der landseitigen Grenze des Naturschutzgebietes geführt. Es stellt eine ökologische Bereicherung dieses Abschnittes dar, übernimmt die Funk-

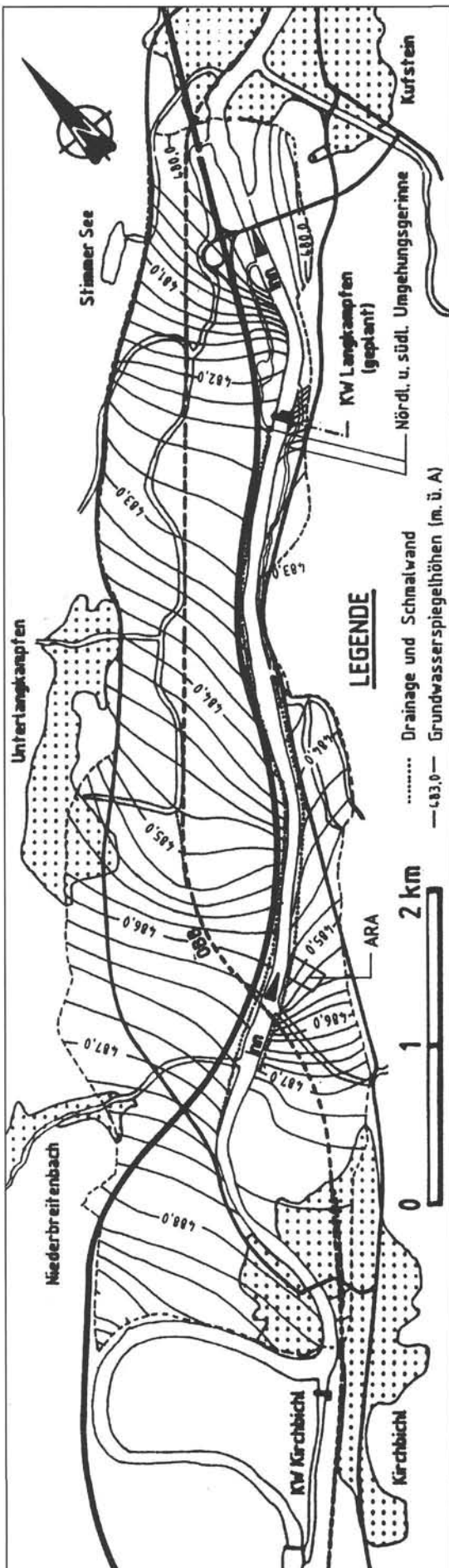


Abb. 6. GW-Schichtenplan nach Kraftwerksbau (Modellrechnung).

tion eines Fischaufstieges und verhindert das Absinken des Grundwasserspiegels in diesem Bereich.

Die Wirkung der technischen Maßnahmen ist im Schichtenlinienplan nach dem Kraftwerksbau (Abb. 6) erkennbar. Die Zuströmung zu den Drainagen im Oberwasserbereich und einer Hangdrainage bei Untertlangkampfen ist deutlich zu sehen. Im Rückstaubereich erfolgt eine Erhöhung der Grundwasserstände von bis zu 1,4 m. Das betrifft jedoch nur Bereiche, wo die Flurabstände heute schon bei 5 bis 6 m liegen. In den Siedlungsgebieten ist die Hebung in einer Größenordnung, daß eine Vernässung von Objekten nicht zu erwarten ist. Eine Beeinträchtigung der landwirtschaftlichen Nutzung wird nicht eintreten. In den tiefer liegenden Zonen des nördlichen Bereiches sinkt der Grundwasserspiegel bis zu 1 m ab. Das sind aber jene Flächen, wo heute teilweise Vernässungen auftreten.

Im Bereich der Unterwassereintiefung beträgt das örtliche Absinken des Grundwasserspiegels in Inn-Nähe ca. 1,6 m. Es ist dies der sensible Bereich der Naturschutzgebiete Langkampfen und Kufsteiner Innauen. Da der Flurabstand hier in den Grobkiesen heute selbst bei Grundwasserhochstand bereits 2 bis 2,5 m beträgt, kann die Vegetation und der Baumbestand auch nach Meinung namhafter Ökologen nicht über das Grundwasser versorgt und somit durch eine Absenkung auch nicht geschädigt werden. (Klasse 0 nach KLAGHOFER & MADER, 1987).

Darüber hinaus werden Teile des Naturschutzgebietes über das Umgehungsgerinne Nord bewässert. Die Auswirkung der Unterwassereintiefung auf den Grundwasserspiegel wird dadurch örtlich aufgehoben. Größere Grundwasserentnahmen, wie Trink- und Nutzwasserbrunnen werden nicht beeinflusst, da sie in Bereichen liegen, wo keine signifikanten Veränderungen eintreten.

6. Schlußfolgerungen

Der Wert der mit Hilfe eines mathematischen Grundwassermodells gewonnenen Aussagen ist in erster Linie von der Qualität der in das Modell einfließenden Daten und Randbedingungen abhängig. Dazu gehören umfangreiche hydrogeologische Voruntersuchungen im Modellgebiet, und die Errichtung eines hydrologischen Beweissicherungsnetzes zur Absicherung der ermittelten Modellparameter. Die Ergebnisse der Modellberechnungen werden durch Fortführung der Datenerhebung im Untersuchungsgebiet laufend verbessert.

Durch interdisziplinäre Zusammenarbeit mit verschiedenen Universitätsinstituten werden verschiedene Randeinflüsse näher untersucht. Es wurden im Rahmen des Forschungsprojektes der Österreichischen Akademie der Wissenschaften „Schutz des Grundwassers in Tal- und Beckenlagen“, Teilprojekt „Erkundung inhomogener Grundwasserleiter mit Hilfe rechnerischer Modelle“ dem Institut für Hydraulik und Gewässerkunde der TU Wien Daten zur Verfügung gestellt. Die „Modellierung von Hangzuflüssen zu Grundwasserfeldern“ soll in einer Dissertation auf demselben Institut bearbeitet werden. „Der Einfluß von hohen Wasserführungen in Flüssen auf das Grundwasser“ wird vom Institut für Hydraulik und Gewässerkunde der TU München untersucht (STIER & VALENTIN, 1991).

Im Zusammenhang mit diesen Projekten und zur weiteren Erkundung des Grundwasserleiters ist von der TIWAG für die Zukunft die Ausrüstung eines Talprofils mit Sonden zur kontinuierlichen Erfassung der Leitfähigkeit des Grundwassers vorgesehen. Die Bestimmung der Bereichsdurchlässigkeit im inhomogenen Grundwasserleiter mit Hilfe von Pumpversuchen in Kombination mit Flowmetermessungen wurde bereits an vier Profilen im Rückstaubereich durchgeführt. Damit konnte der erwartete Sickerwasserandrang in die Drainagen berechnet und diese dimensioniert werden.

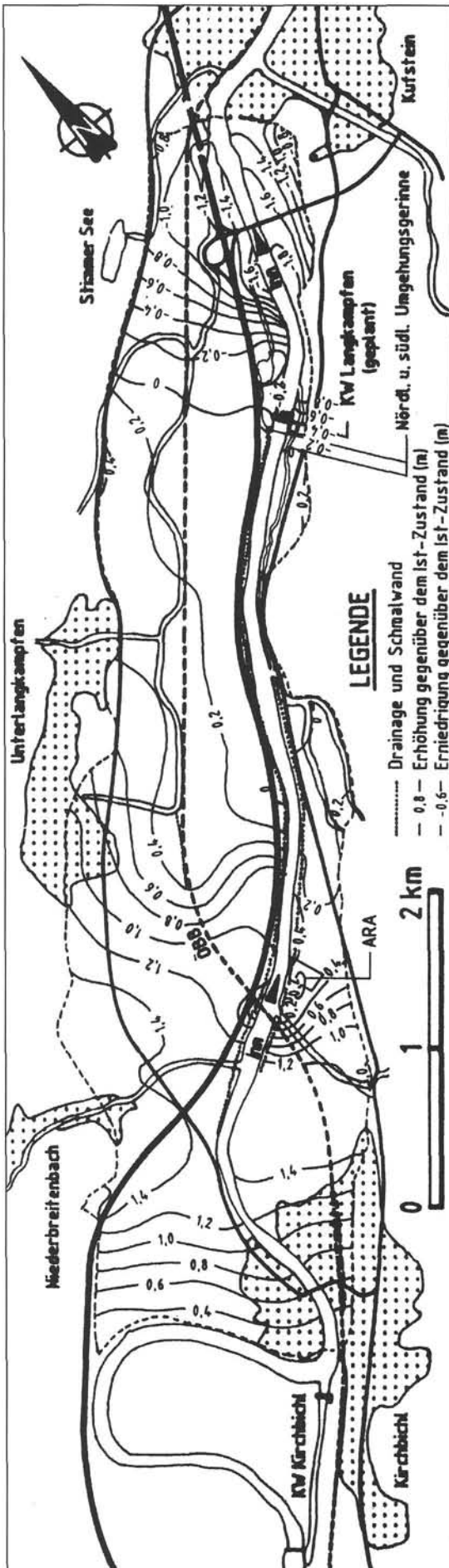


Abb. 7.
Differenz-Schichtenlinienplan vor und nach KW-Bau.

Der Wert der Modellaussagen wird somit durch die ständige Anpassung des Modells an das Natursystem gesteigert. Ein vollkommenes Modell, also ein Abbild des Natursystems, ist nicht möglich. Auch bei intensiver Erkundung und aller Verfeinerung wird jedes Modell letztlich nur eine Näherung bleiben.

Trotzdem stellt die Modellierung die einzige Möglichkeit dar, vor der Durchführung von Eingriffen in das Grundwassersystem eine quantitative Beurteilung vorzunehmen.

Literatur

- AICHHORN, A. (1989): Grundwassererschließung für die Wasserversorgung der Gemeinde Langkampfen – Hydrogeologische Erkundung. – Unveröff. techn. Bericht an Gemeinde.
- AMPFERER, O. (1922): Zur Geologie des Unterinntaler Tertiärs mit einem Beitrag von B. SANDER. – Jb. Geol. B.-A., 72, 105–150.
- BLAU, R.V. et al. (1983): Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern, Hydrogeologie Emmental, Teil IV; Modellstudie zur Bestimmung des Grundwasserdargebotes im Testgebiet Emmental. – Wasser- und Energiewirtschaftsamt (WEA) des Kantons Bern.
- BLUMER, F.P. (1993): Über die Höhenabhängigkeit des Niederschlags in Innsbruck. – Zürcher geogr. Schriften, 53, 70–77.
- CEMUS, J. et al. (1994): Mathematische Grundwassermodelle in Bayern. – Mitt. Inst. f. Hydraulik u. Gewässerkunde, 57, München.
- DVWK (Deutscher Verband f. Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V.) (1984): – 6. Fortbildungslehrgang Grundwasser, Okt. 1984.
- FIGALA, G. (1994): Erschließung von Grundwasser in glazial übertieften Tälern. – In Vorbereitung.
- FIGALA, G. & SCHMID, Ch. (1990): Methods for the determination of hydrological parameters in overdeepened valleys exemplified by the Inntal (Tyrol). – Mem. 22. IAH-Congr. Lausanne, Vol. XXII, 794–797.
- FORCHHEIMER, P. (1901): Wasserbewegung im Boden. – Ztschr. Ver. Dt. 45, 49: 1736–1741 und 50: 1781–1788.
- HEISSEL, W. (1951): Beiträge zur Tertiär-Stratigraphie und Quartärgeologie des Unterinntales. – Jahrb. Geol. B.-A., 94/2, 207–221.
- HUFSCHEID, P. (1983): Die Ermittlung der Durchlässigkeit von Lockergesteins-Grundwasserleitern, eine vergleichende Untersuchung verschiedener Feldmethoden. – Diss. ETH Zürich, Nr. 7397.
- KLAGHOFER, E. & MADER, K. (1987): Grundwasserstandsveränderungen im Bereich von Flußkraftwerken und deren Auswirkung auf den Auwald. – Österr. Wasserwirtschaft, 39, Nr. 7/8, 198–202.
- RAMNER, R. (1977): Die Abhängigkeit des spezifischen elektrischen Widerstandes vom Kornspektrum für Lockersedimente im Grundwasser. – Zeitschr. f. angewandte Geowissenschaften, 3, 76–116, Verl. C. Bindernagel, Friedberg (Hessen).
- SCHÖNLAUB, H. (1987): Mathematische Grundwassermodelle und ihr Einsatz in der Praxis. – Inst. f. Siedlungs- u. Industriewasserwirtschaft TU Graz, H. 14.
- SCHUCH, M.F. (1983): Hydrogeologische Untersuchungen für den Nutzwasserbrunnen der Biochemie bei Schaftenau. – Unveröff. Bericht.
- STIER, P. & VALENTIN, F. (1991): Der Einfluß von hohen Wasserführungen in Flüssen auf das Grundwasser. – Ber. Inst. Hydraulik und Gewässerkunde TU München.
- TURC, L. (1981): Évaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle, formule simplifiée et mise à jour. – Annal. Agron., 12, 13–49.
- WEBER, F. & SCHMID, Ch. (1991): Erkundung von Tiefenwässern in den rezenten Alluvionen des unteren Inntales – 2. Projekts-Abschnitt. – Abschlußber. Joanneum Research, Leoben. (Rohstoffforschungsprojekt TA 19 j, Bund/Land Tirol).
- WEBER, F., SCHMID, Ch. & FIGALA, G. (1992): Vorläufige Ergebnisse reflexionsseismischer Messungen im Quartär des Inntals/Tirol. – Zeitschr. f. Gletscherkunde und Glazialgeologie, 26/1992.
- WUNDT, W. 1953: Gewässerkunde. – Berlin – Göttingen – Heidelberg (Springer-Verlag).

Manuskript eingegangen am: 22. 7. 1993 ●
Revidierte Version eingegangen am: 3. 3. 1995 ●
Manuskript akzeptiert am: 4. 5. 1995 ●