

Die Auswirkungen einer Staustufe auf den Grundwasserhaushalt

Untersuchungen an einem numerischen Modell

Hans MEHLHORN, Helmut KOBUS und Hans-Peter LÜHR*)

Schlagwörter: Hydrologie, Hydrogeologie, Grundwasser-Haushalt, Auswirkungen einer Staustufe, Numerisches Modell

Es wird in zwei Teilen über die Auswirkungen einer Staustufe auf den Grundwasserhaushalt am Beispiel der geplanten Staustufe Neuburgweier berichtet. Teil I „Hydrologische und hydrogeologische Untersuchungen“ (J. Armbruster, O. Huppmann und G. Strayle) ist in gwf-wasser/abwasser 118 (1977), H. 11, erschienen. Der vorliegende Beitrag ist der dazugehörige Teil II.

1. Einführung

Durch den Ausbau des Oberrheins, insbesondere durch die Errichtung der Rheinstaufstufen, wird die natürliche Geschiebeführung des Oberrheins erheblich beeinflusst. Das mitgeführte Geschiebe wird im Bereich der ersten Staustufen abgelagert. Unterhalb der letzten Staustufe ist eine erhöhte Erosion der Rheinsohle die Folge.

Im Bereich zwischen der im Bau befindlichen Rheinstaufstufe Iffezheim und dem Raum Karlsruhe wäre somit nach Inbetriebnahme dieser Staustufe ohne sonstige Maßnahmen durch die zu erwartende Erosion der Rheinsohle mit einem starken Absinken des Rheinwasserspiegels und einer Behinderung der Schifffahrt zu rechnen. Außerdem würden die Grundwasserstände im Hinterland erheblich absinken. Zur Verhinderung der Erosion werden verschiedene Maßnahmen, darunter der Bau einer weiteren Staustufe bei Neuburgweier, untersucht. Eine solche Staustufe beeinflusst die Grundwasserhältnisse, insbesondere durch

- erhöhten Sickerwasserandrang unmittelbar nach Aufstau des Rheins,
- fortschreitende Sohlenselbstdichtung zufolge des Rheinaufstaus,
- Veränderungen durch Begleitmaßnahmen.

Zur Erfassung der Auswirkungen des Rheinaufstaus im Bereich Iffezheim/Neuburgweier ist ein umfangreiches Untersuchungsprogramm durchgeführt worden. Im bereits erschienenen Teil I dieses Aufsatzes wurden die Ergebnisse der hydrologischen und hydrogeologischen Untersuchungen dargestellt. Im vorliegenden Teil II wird über die Untersuchungen berichtet, die an einem numerischen Modell durchgeführt wurden.

*) Hans Mehlhorn, Dipl.-Ing. im Institut für Hydromechanik der Universität Karlsruhe, Kaiserstr. 12, 7500 Karlsruhe,

Helmut Kobus, Prof. Dr. im Institut für Hydromechanik der Universität Karlsruhe, Kaiserstr. 12, 7500 Karlsruhe,

Hans-Peter Lühr, Dr.-Ing. im Umweltbundesamt, Bismarckplatz 1, 1000 Berlin.

Das numerische Grundwassermodell wurde für den Großraum zwischen den Staustufen Iffezheim und Neuburgweier sowie zwischen dem Rhein und dem Schwarzwaldrand erstellt (Bild 1). Die Ausdehnung des untersuchten Gebiets beträgt im Mittel 23 km in Nord-Süd-Richtung und 9,5 km in Ost-West-Richtung. Insgesamt wurde eine Fläche von etwa 200 km² erfaßt. Die mit dem Grundwassermodell erzielten Aussagen ermöglichen zusammen mit den hydrologischen und hydrogeologischen Untersuchungen eine Gesamtbeurteilung der großräumigen Auswirkungen der Staustufe und deren Begleitmaßnahmen.

2. Der Aufbau eines Grundwassermodells

In der Regel kann eine analytische Lösung der die Grundwasserströmung beschreibenden Differentialgleichungen nicht angegeben werden. So sind eine Anzahl von Lösungsverfahren entwickelt worden, die sich in mathematische, analoge, hybride und physikalische Verfahren einteilen lassen. Zur Lösung der hier zugrunde liegenden Fragestellung wurde ein mathematisch-numerisches Lösungsverfahren, das Differenzenverfahren, gewählt. Das Untersuchungsgebiet wird hierbei mit einem quadratischen Berechnungsnetz mit Knotenabständen von 500 m überzogen (Bild 1). Die Anwendung dieses Verfahrens bringt wegen der einfachen Diskretisierungsform einen vergleichsweise geringen Organisationsaufwand mit sich und bietet die Möglichkeit einer schnellen und einfachen Umstrukturierung des Modells auf neue Fragestellungen.

Grundlage des Grundwassermodells sind die hydrogeologischen und hydrologischen Voruntersuchungen (s. Teil I). Die Auswertung der Voruntersuchungen für die Verwendung in einem Modell besteht im wesentlichen in einer Schematisierung des dreidimensionalen und nichtstationären Strömungsfalles. Als wichtigste Vereinfachungen wurden die Annahmen von Dupuit-Forchheimer [1] verwendet, die eine zweidimensionale, horizontal-ebene Betrachtung des dreidimensionalen Strömungsfalles ermöglichen. Diese Annahmen gehen davon aus, daß an jedem Punkt des Untersuchungsgebietes die Strömungsgeschwindigkeit und -richtung durch einen über die Tiefe gemittelten Wert repräsentativ dargestellt werden kann. Diese Vereinfachungen sind in der Regel dann zutreffend, wenn – wie hier – großräumig ausgedehnte Strömungsfelder untersucht werden.

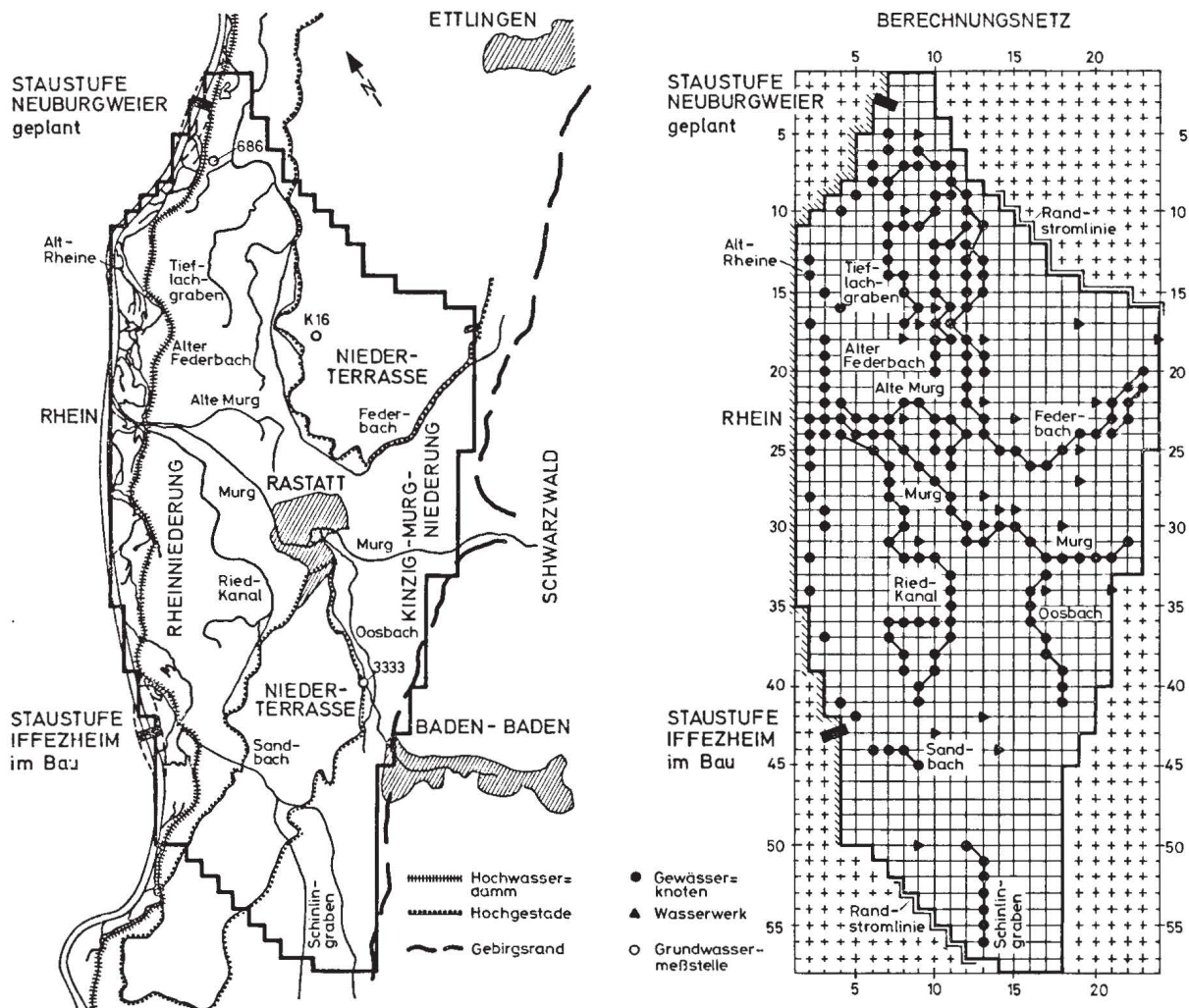


Bild 1. Lageplan des Untersuchungsgebietes und des quadratischen Berechnungsnetzes.

Die Grenzen des Untersuchungsgebietes (Bild 1) wurden unter Berücksichtigung vorhandener hydrologischer (z. B. Rhein) und geologischer Grenzen (z. B. Schwarzwaldrand) so gewählt, daß aufgrund der hydrologischen und hydrogeologischen Untersuchungen (s. Teil I) die erforderlichen Modellparameter im Inneren und am Rand des Untersuchungsgebietes weitgehend bekannt sind. Es sind dies

- hydrologische Parameter an den Rändern: vorgegebene Grundwasserstände oder Zuflußmengen (z. B. Randstromlinien);
- hydrologische Parameter im Untersuchungsgebiet: Grundwasserneubildung aus Niederschlag; Grundwasserentnahmen; Infiltration bzw. Exfiltration aus Oberflächengewässern;
- geologische Parameter im Untersuchungsgebiet: Transmissivität; Speicherkoeffizient.

Die Randbedingungen sind am West- und Ostrand durch vorgegebene, zeitveränderliche Grundwasserstände definiert, während am Nord- und Südrand teilweise Randstromlinien vorliegen.

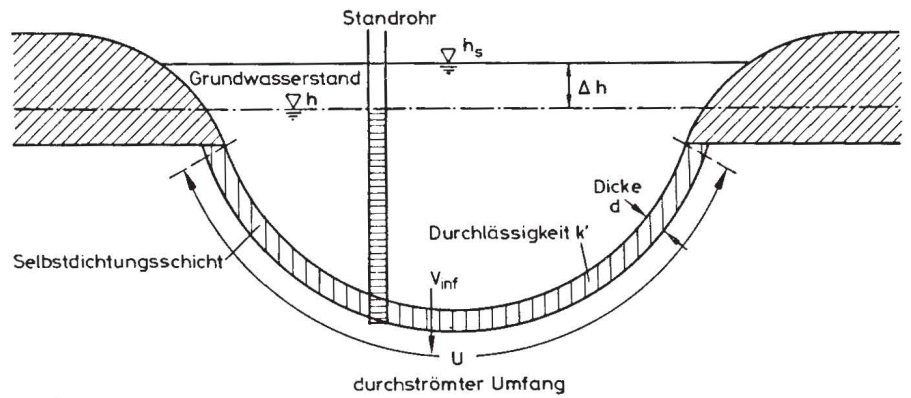
Die Entnahmeraten durch kommunale und gewerbliche Wassergewinnungsanlagen sowie die Grundwasserneubildungsraten aus Niederschlag werden als monatliche Werte vorgegeben. Für die Grundwasserneubildung aus Niederschlag wurde das Untersuchungsgebiet in acht verschieden-

artige Bereiche so unterteilt, daß in jedem dieser Bereiche die Neubildungsrate durch einen repräsentativen Wert dargestellt werden kann. Dieser Wert wird in Abhängigkeit vom Niederschlag, der Beschaffenheit der Deckschichten, den Flurabständen und der Bodennutzung berechnet (s. Teil I). Die Exfiltrations- bzw. Infiltrationsraten der Oberflächengewässer werden nach dem *leaky-aquifer-Prinzip* [2; 4] während der Modellrechnung bestimmt (Bild 2). Die Ermittlung der Transmissivitäten und der Speicherkoeffizienten erfolgte im Zusammenwirken zwischen den hydrogeologischen Untersuchungen (s. Teil I) und der Eichung des Grundwassermodells.

3. Modelleichung zur Erfassung des gegenwärtigen hydrologischen Zustandes

Ein numerisches Modell stellt das komplexe Grundwassergehen auf vereinfachte Weise dar. Um sicherzustellen, daß die natürlichen Gegebenheiten von dem Modell richtig wiedergegeben werden, muß eine Eichung des Modells durchgeführt werden. Diese besteht darin, bekannte hydrologische Situationen zu simulieren und durch entsprechende Anpassung der hydrologischen und geologischen Eingabegrößen eine möglichst gute Übereinstimmung zwischen Beobachtungen und Rechnung zu erzielen. Erst wenn historische Zustände ausreichend genau simuliert werden können, läßt sich das Modell für Prognoserechnungen heranziehen.

Bild 2. Berechnung der Infiltrationswassermengen aus Oberflächengewässern nach dem leaky-aquifer-Prinzip.



Infiltrationsgeschwindigkeit : $v_{inf} [m/s] = k' [m/s] \cdot \frac{\Delta h [m]}{d [m]} = \frac{k'}{d} (h_s - h)$

Infiltrationswassermenge pro laufender Meter : $q_{inf} \left[\frac{m^3}{s} \right] = \int_U v_{inf} dU = \int_U \frac{k'}{d} (h_s - h) dU$

Die Eichung für dieses Modell erfolgte instationär durch Anpassung an die zeitlich sich ändernden Strömungsverhältnisse über einen längeren Zeitraum (Eichzeitraum). Eine instationäre Modelleichung ist in der Regel besonders deshalb erforderlich, weil innerhalb der verfügbaren Zeitreihen gemessener Grundwasserstände nur selten näherungsweise stationäre Zustände gefunden werden können. Als geeigneter Eichzeitraum wurde im vorliegenden Fall die etwa 15monatige Zeitspanne vom 27. 3. 72 bis 25. 6. 73 gewählt. Zum einen liegen für diesen Zeitraum umfangreiche Unterlagen aus den hydrologischen und geologischen Voruntersuchungen (s. Teil I) über Grundwasserstände, Grundwasserneubildung aus Niederschlag, Wasserwerksförderungen, Zustand der Oberflächengewässer etc. vor. Zum anderen sind unterschiedliche, stark ausgeprägte hydrologische Situationen innerhalb dieser Zeitspanne zu beobachten. Dies ist deshalb zweckmäßig, weil bei verschiedenen hydrologischen Situationen sich die einzelnen Eingabegrößen unterschiedlich stark bemerkbar machen, was eine Unterscheidung der Auswirkungen der einzelnen Systemparameter erleichtert. In Bild 3 sind die Ganglinien der Wasserstände im Rhein, in der Murg und an drei repräsentativen Grundwassermeßstellen dargestellt. Es sind sowohl mittlere als auch niedrige hydrologische Verhältnisse sowie die Auswirkung einer ausgeprägten Hochwasserwelle in Rhein und Murg in diesem Zeitraum enthalten. Zudem wurde bei der Wahl des Eichzeitraumes darauf geachtet, daß dieser zeitlich nicht allzulange zurückliegt, um die Möglichkeit einer Veränderung der Systemparameter zwischen Eich- und Prognosezeitraum weitgehend auszuschalten.

Die Modelleichung hat die Ergebnisse früherer Untersuchungen weitgehend bestätigt. In einigen Punkten konnte durch ein Zusammenwirken zwischen hydrologischen und hydrogeologischen Untersuchungen einerseits sowie der Modelleichung andererseits die Beschreibung der Verhältnisse im Untersuchungsgebiet verbessert und ergänzt werden. Darüber hinaus können mit Hilfe des Modells quantifizierte Aussagen über die im Untersuchungsgebiet abfließenden Wassermengen gemacht werden. Bei der Auswertung der Eichergebnisse wurden drei verschiedene hydrologische Zustände betrachtet, die in etwa mittlere Hoch-

wasser-(MHW-), Mittelwasser-(MW-) und mittlere Niedrigwasser-(MNW-)Verhältnisse im Untersuchungsgebiet wiedergeben.

Danach läßt sich die derzeitige hydrologische Situation vor Ausbau des Rheins bis Neuburgweier wie folgt beschreiben (s. a. Teil I):

- In der Rhein-Niederung werden die Grundwasserverhältnisse gegenwärtig vorwiegend vom Rhein und von

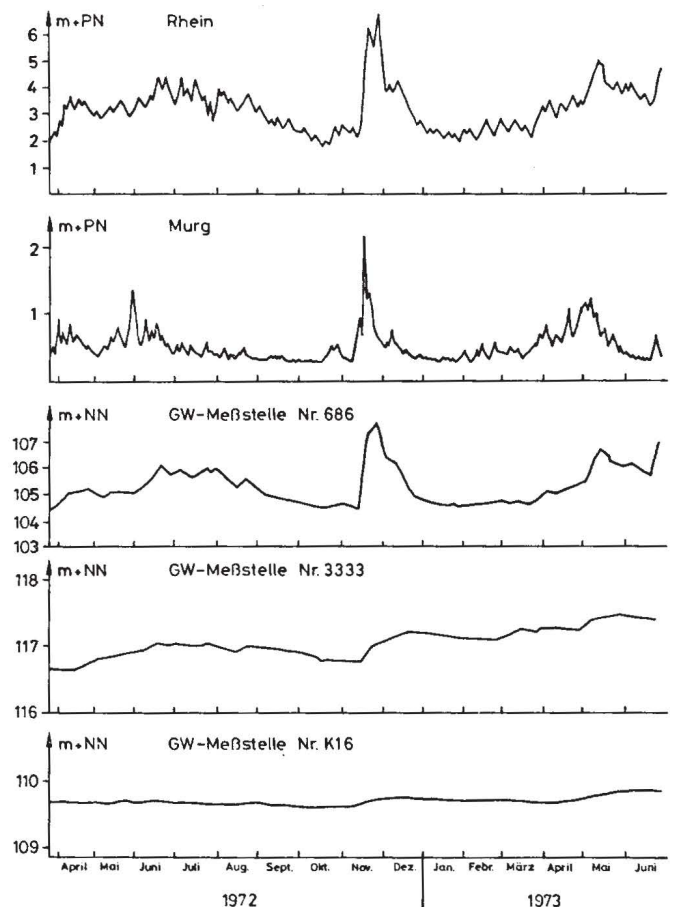


Bild 3. Ganglinien der Rhein- und Murgwasserstände sowie der Wasserstände an drei ausgesuchten Grundwassermeßstellen für den Eichzeitraum. (Lage der Grundwassermeßstellen s. Bild 1).

den übrigen Oberflächengewässern beeinflusst. Es liegen teilweise gespannte Grundwasserverhältnisse vor.

- In der höher gelegenen Niederterrasse werden die Grundwasserverhältnisse hauptsächlich durch die Grundwasserneubildung aus Niederschlag bestimmt. Die Flurabstände sind hier relativ groß. Es kann sich ein freier Grundwasserspiegel ausbilden.
- In der Kinzig-Murg-Niederung werden die Grundwasserstände sowohl durch die ex- bzw. infiltrierende Wirkung der Oberflächengewässer als auch durch die Grundwasserneubildung aus Niederschlag und durch den Zufluß aus dem Gebirge beeinflusst.

Das Zusammenwirken von Rhein und Altrhein einerseits sowie dem Grundwasser andererseits unterscheidet sich für die drei untersuchten hydrologischen Zustände:

- **MHW-Verhältnisse:** Dem Untersuchungsgebiet fließen sehr große Wassermengen vom Rhein zu, da bei sehr hohen Rheinwasserständen die gesamten Rheinvorländer überflutet werden. Während einer Hochwasserwelle, die innerhalb des Eichzeitraumes abließ, infiltrierten Rhein und Altrheinarme über $4 \text{ m}^3/\text{s}$ über die Länge des im Modell dargestellten Rheinabschnittes (ca. 25 km).
- **MW-Verhältnisse:** Bei mittleren Wasserständen infiltriert der Rhein ca. 100 l/s auf dem gesamten betrachteten Streckenabschnitt. Das Infiltrat wird jedoch direkt von den Altrheinarmen aufgenommen. Dem Hinterland wird durch den Rhein weder Wasser entzogen noch zugeführt. Dies kann auch aus den Grundwasserhöhengleichenplänen für MW-Verhältnisse abgeleitet werden (Bild 4). Der Talweg als Linie der niedrigsten Grundwasserstände liegt für MW-Verhältnisse weitgehend im Bereich der Altrheinarme.
- **MNW-Verhältnisse:** Der Rhein exfiltriert teilweise größere Wassermengen. So sind während der Modellierung für niedrige Rheinwasserstände Exfiltrationswassermengen von über $1 \text{ m}^3/\text{s}$ über die Länge des im Modell dargestellten Rheinabschnittes ermittelt worden. Die Funktionsweise der Altrheinarme ist für sehr niedrige hydrologische Verhältnisse uneinheitlich. Ein Teil der Altrheinarme führt Grundwasser ab. Im Gegensatz hierzu infiltrieren diejenigen Altrheine, deren Wasserspiegellagen durch Einlaufbauwerke bzw. Schwellen an der Mündung künstlich auf einem hohen Niveau gehalten werden. Die insgesamt von den Altrheinarmen infiltrierten und exfiltrierten Wassermengen sind in etwa gleich groß.

Während die Murg für den MHW-Zustand auf ihrer gesamten Länge im Untersuchungsgebiet infiltriert, sind für den MW- bzw. MNW-Zustand drei Bereiche der Murg zu unterscheiden:

- Im *östlichen Bereich*, der vom Gebirgsrand bis etwa Rastatt reicht, infiltriert die Murg auf einer Länge von ca. 5,5 km zwischen 150 l/s und 850 l/s Wasser.
- Im *mittleren Bereich*, der etwa im Stadtgebiet von Rastatt liegt, nimmt die Murg auf einer Länge von 2,5 km bis zu 200 l/s Grundwasser auf.

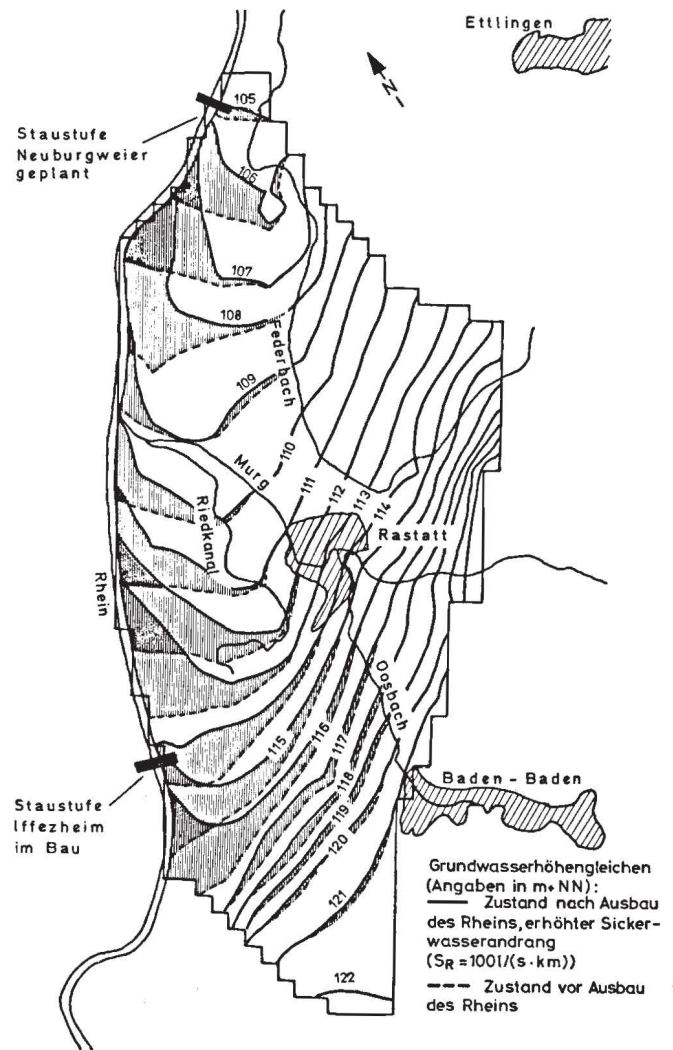


Bild 4. Vergleich der MW-Grundwasserstände bei erhöhtem Sickerwasserandrang vom Rhein ($100 \text{ l/(s} \cdot \text{km)}$) unmittelbar nach Aufstau mit den derzeitigen MW-Grundwasserständen.

- Im *westlichen Bereich* infiltriert die Murg auf einer Länge von 2,5 km zwischen 200 l/s und 400 l/s . Die infiltrierte Wassermenge wird allerdings weitgehend vom Riedkanal und der Alten Murg, die in diesem Bereich murgparallel verlaufen, wieder aufgenommen.

Die übrigen Fließgewässer, die in der Mehrzahl in der Rhein-Niederung liegen, nehmen bei allen hydrologischen Situationen Grundwasser auf. Südlich der Murg wird das Grundwasser in der Hauptsache durch den Riedkanal, nördlich der Murg hauptsächlich vom Tieflachgrabensystem und vom Alten Federbach abgeführt.

Der Zufluß von Osten in das Untersuchungsgebiet setzt sich seiner Herkunft nach aus dem unterirdischen Zufluß vom Schwarzwald und aus dem im Bereich zwischen Schwarzwald und östlichem Modellrand durch Niederschlag neugebildeten Grundwasser zusammen. Die Größenordnung des Zuflusses von Osten schwankt im Eichzeitraum zwischen maximal 950 l/s und minimal 550 l/s über die Modelllänge. Diese Werte, die dem Ostzufluß bei MNW- bis MW-Verhältnisse entsprechen, stimmen mit Werten aus anderen hydrologischen Untersuchungen größenordnungsmäßig überein.

4. Prognose von Veränderungen der Grundwasserverhältnisse infolge einer Staustufe

4.1 Allgemeines

Im Gegensatz zu der Eichrechnung wurden die Untersuchungen der zukünftigen Verhältnisse nach Inbetriebnahme der Staustufe Neuburgweier und infolge der baulichen Begleitmaßnahmen bis auf einige Hochwasserfälle unter stationären Bedingungen durchgeführt.

Die Festlegung aller maßgeblichen baulichen und wasserwirtschaftlichen Maßnahmen, die durch den Bau der Staustufe Neuburgweier notwendig werden, war zum Zeitpunkt der Untersuchungen noch nicht erfolgt. Neben der Ermittlung der Auswirkungen der Staustufe auf das Grundwasser war es somit Aufgabe des Modells, anhand der Prognosevarianten Entscheidungshilfen für die Planung der verschiedenen Begleitmaßnahmen zu liefern. Das Modell hat sich hierbei sehr gut als Planungsinstrument bewährt. Im folgenden werden die wesentlichen Prognoseergebnisse näher dargestellt.

4.2 Verstärkte Infiltration unmittelbar nach Aufstau

Bei der Dimensionierung der Dichtungs- und Drainagemaßnahmen der Rheinseitendämme ist es unumgänglich, ein zulässiges Höchstmaß für die trotz dieser Maßnahmen infiltrierende Wassermenge festzulegen. Dieses Maß ist abhängig davon, welche Wassermenge vom Hinterland schadlos aufgenommen und über Vorfluter abgeführt werden kann. Da diese Wassermenge nicht im voraus abgeschätzt werden kann, muß sie über eine großräumige Betrachtung des Strömungsvorganges ermittelt werden. Zu diesem Zweck wurde die trotz Dichtungs- und Drainagemaßnahmen an den Rheinseitendämmen dem Hinterland zufließende Sickerwassermenge zwischen $50 \text{ l/(s \cdot km)}$ und $600 \text{ l/(s \cdot km)}$ variiert. Diese Variation ergab, daß bei Sickerwassermengen von mehr als $100 \text{ l/(s \cdot km)}$ ohne zusätzlichen Ausbau der Oberflächengewässer mit einer Vernässung der Rhein-Niederung zu rechnen ist. Das Grundwasser tritt in diesem Fall nicht mehr ausschließlich in die Oberflächengewässer, sondern auch als Druckwasser in der Fläche aus. Dies läßt sich aus einem Vergleich der prognostizierten Grundwasseraufhöhung mit den derzeitigen Flurabständen ablesen. Das bedeutet, daß die Dichtungs- und Drainagemaßnahmen (Dichtungskern im Rheinseitendamm, Dichtungsschürze und Drainagegraben) so bemessen sein müssen, daß nicht mehr als $100 \text{ l/(s \cdot km)}$ dem Hinterland zufließen.

Die Veränderungen der Grundwasserstände durch die erhöhte Infiltration des Rheins unmittelbar nach Inbetriebnahme der Staustufe Neuburgweier im Vergleich zum Zustand vor Rheinausbau ist für MW-Verhältnisse in den Bildern 4 und 5 dargestellt. Bild 4 zeigt diesen Vergleich in Form von Grundwasserhöhengleichlinien bei einem Sickerwasserandrang von $100 \text{ l/(s \cdot km)}$. In Bild 5 sind die Erhöhungen der Grundwasserstände bei einem Sickerwasserandrang von $200 \text{ l/(s \cdot km)}$ direkt als Linien gleicher Differenzen der Grundwasserstände ablesbar.

Der Einfluß des erhöhten Sickerwasserandranges wirkt sich weitgehend in der Rhein-Niederung aus. Dabei nehmen vornehmlich die Altrheinarme und auch die rheinnahen Gewässer wie Riedkanal, Mündungsbereich der Murg und

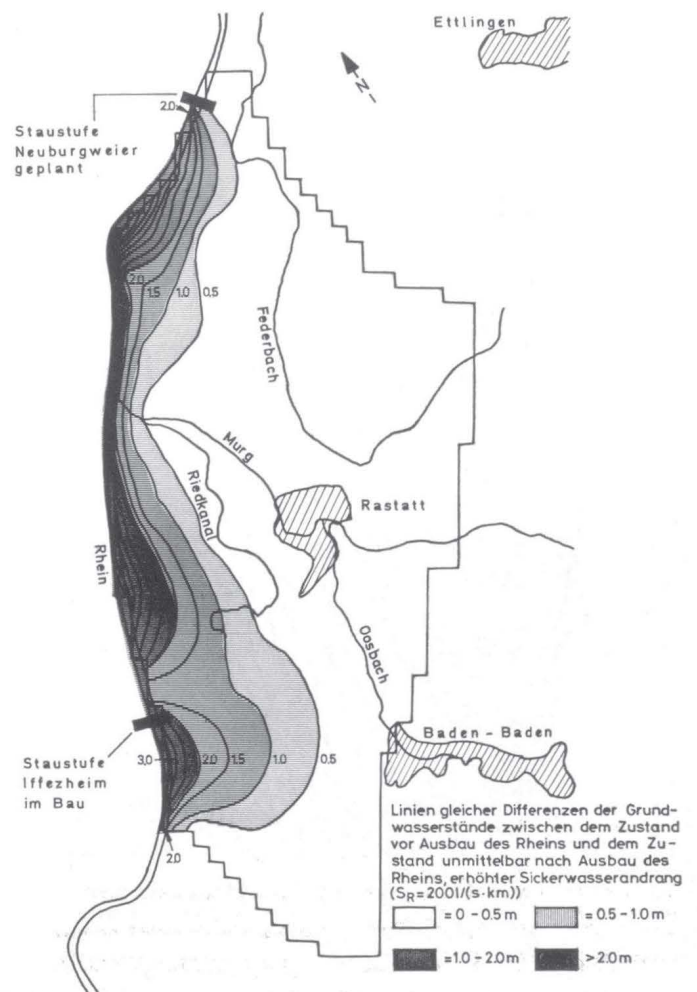


Bild 5. Linien gleicher Differenzen der MW-Grundwasserstände vor Ausbau des Rheins und unmittelbar danach bei erhöhtem Sickerwasserandrang ($200 \text{ l/(s \cdot km)}$).

Tiefachgrabensystem nahezu das gesamte Sickerwasser auf, rheinfernere Bäche wie der Alte Federbach hingegen weisen vergleichsweise geringe Änderungen auf.

Der Vergleich bei MHW-Verhältnissen vor und nach Ausbau des Rheins zeigt, daß in der Rhein-Niederung nach Ausbau grundsätzlich nicht die hohen Grundwasserspitzen wie vor Ausbau erreicht werden. Die Ursachen für die niedrigeren Grundwasserstände sind im wesentlichen durch den Rückgang des Infiltrationsvermögens des Rheinbettes gegeben. Die bisher bei Rheinhochwässern erfolgte intensive Durchfeuchtung des Bodens infolge kurzfristig hoher Grundwasserstände ist für die Vegetation in der gesamten Rhein-Niederung von äußerster Bedeutung. Um auch nach Rheinausbau diese Durchfeuchtung zu gewährleisten, sind weitere Untersuchungen zu der Frage notwendig, inwieweit durch eine Überstauung der Rheinvorländer ein Erfolg erzielt werden kann. Insgesamt ist hier ohne Zusatzmaßnahmen eine Vergleichmäßigung der Grundwasserstände infolge der Rheinstauung beobachtet worden (s. a. Teil I).

4.3 Auswirkungen von Selbstdichtungserscheinungen

Nach der Inbetriebnahme der Staustufe Neuburgweier wird der Rhein ständig Wasser in den Untergrund infiltrieren und somit seine teilweise exfiltrierende Funktion bei Niedrigwasser verlieren. Durch diesen Infiltrationsprozeß

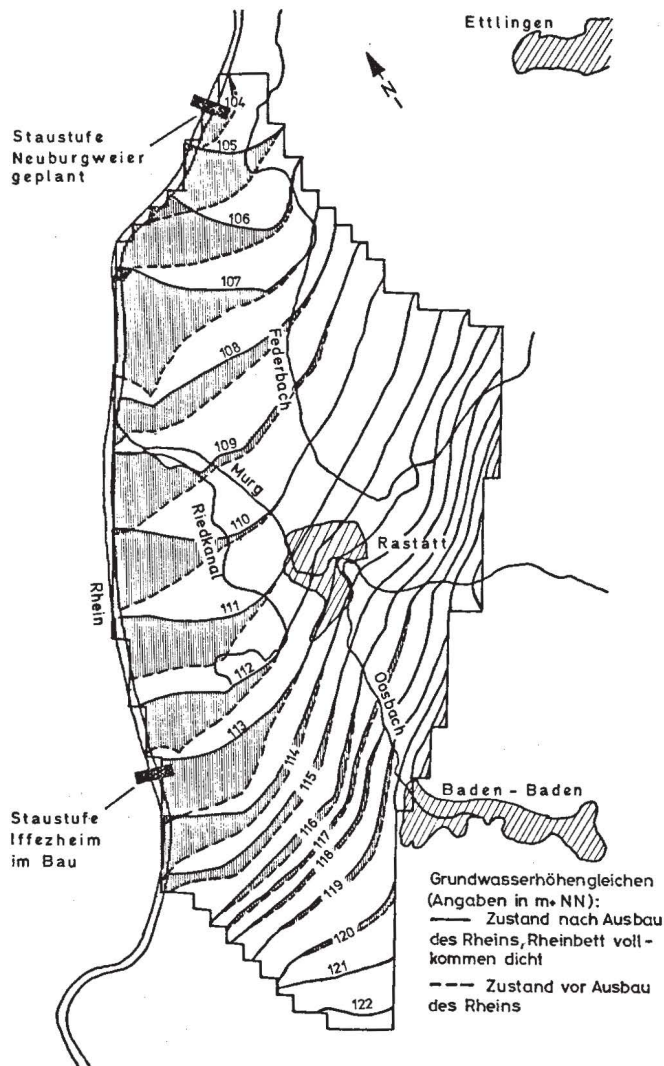


Bild 6. Vergleich der MNW-Grundwasserstände bei vollkommen dichtem Rheinbett mit den derzeitigen MNW-Grundwasserständen.

und aufgrund der Tatsache, daß sich in der Stauhaltung infolge geringerer Fließgeschwindigkeiten Schwebstoffe verstärkt absetzen, erfolgt eine fortschreitende Selbstdichtung des Rheinbettes, die bis zur vollkommenen Dichtung führen kann. Beobachtungen an bereits bestehenden Rheinstau-stufen oberhalb Gamsheim haben ergeben, daß dort der Selbstdichtungsprozeß nach zwei bis vier Jahren abgeschlossen war.

Für den Fall einer vollkommen dichten Rheinsohle ergibt sich für mittlere hydrologische Verhältnisse im Vergleich zu den Verhältnissen vor dem Ausbau, daß lediglich in Rhein-nähe mit einem geringen Absinken der mittleren Grundwasserstände zu rechnen ist. Diese nur sehr geringe Änderung der Grundwasserstände ist auf die im ursprünglichen Zustand verhältnismäßig geringe Infiltrationswirkung bei Mittelwasser (100 l/s auf 25 km Länge) zurückzuführen. Durch die rheinnahen Oberflächengewässer wird der Wegfall des Rheinfiltrats weitgehend ausgeglichen, so daß der Einfluß der Selbstdichtung der Rheinsohle auf den rheinnahen Bereich beschränkt bleibt.

Die entsprechenden Verhältnisse einer dichten Rheinsohle bei MNW-Zuständen vor und nach Ausbau des Rheins ergeben eine deutliche Anhebung der Grundwasserstände in

der Rhein-Niederung. Diese Erhöhung der Grundwasserstände ist im wesentlichen auf den Wegfall der Exfiltrationswirkung des Rheins bei niedrigen Rheinwasserständen zurückzuführen. Ein Vergleich zwischen den Grundwasserhöhengleichenplänen vor und nach dem Rheinausbau ist in Bild 6 dargestellt.

4.4 Auswirkungen auf Wassergewinnungsanlagen

Die Sicherstellung des nutzbaren Grundwasserdargebotes auch nach dem Bau der Staustufe Neuburgweier wurde mit Hilfe des Modells untersucht. Bei einer Beibehaltung der derzeitigen Entnahmeraten ist die Grundwassergewinnung auch nach dem Bau der Staustufe Neuburgweier gesichert, da im derzeitigen Zustand fast ausschließlich Grundwasser und kaum Rheinfiltrat gefördert wird. Die derzeitigen Grundwasserentnahmen liegen jedoch weit unter den wasserrechtlich genehmigten und maximal zu erwartenden Entnahmen. Für den Fall, daß die Wassergewinnungsanlagen die genehmigten Wassermengen fördern, wäre unter den derzeitigen Verhältnissen mit einer Zusicherung aus dem Rhein zu rechnen. Die durch die Staustufe bedingte Selbstdichtung der Rheinsohle reduziert bzw. verhindert die Versickerung aus dem Rhein. Damit ist bei Förderung der genehmigten Entnahmemengen mit einem stärkeren Absinken der Grundwasserstände nach dem Bau der Staustufe zu rechnen. Um dies zu verhindern, soll mit einem „Reinwasserzug“ dem Grundwasser die Wassermenge zugeführt werden, die infolge des Rheinausbaus nicht mehr aus dem Rhein zuströmen kann. Der Reinwasserzug bindet an ein Begleitgewässer der Staustufe Iffezheim an und verläuft unter Benutzung vorhandener Oberflächengewässer weitgehend parallel zum Rhein in der Rhein-Niederung (Bild 7). Um die Selbstdichtung gering zu halten, führt der Reinwasserzug qualitativ hochwertiges Wasser und wird von Abwassereinleitungen freigehalten.

In der Zeit während des Aufstaus des Rheins bis zur Ausbildung der Selbstdichtungsschicht im Rhein wird ein solcher Wasserzug durch Abziehen von landseitigem Grundwasser dazu beitragen, schädliche Vernässungen zu verhindern (Bild 7). Danach ersetzt er die fehlenden Infiltrationsmengen vom Rhein.

Der Reinwasserzug bewirkt nach Ausbau des Rheins bei genehmigten bzw. maximal zu erwartenden Entnahmen eine starke Anhebung des Grundwasserspiegels gegenüber der Situation ohne Reinwasserzug. Ein entsprechender Vergleich ist für MW-Verhältnisse in Bild 8 dargestellt. Die auf seiner gesamten Länge von 27 km infiltrierte Wassermenge beträgt bei MW-Verhältnissen und genehmigten Entnahmemengen 0,9 m³/s, bei MNW-Verhältnissen und maximal zu erwartenden Entnahmen sogar 2,2 m³/s.

Für mittlere hydrologische (MW) Verhältnisse treten im Bereich zwischen Reinwasserzug und Rhein selbst bei Entnahme der wasserrechtlich genehmigten Wassermengen nahezu keine Absenkungen der Grundwasserstände gegenüber der derzeitigen Situation ein. Die Grundwasserstände werden teilweise sogar leicht erhöht. Es erscheint möglich, die heutigen Verhältnisse in großen Bereichen der Rhein-Niederung bei Mittelwasserverhältnissen durch die vorgeschlagene Führung des Reinwasserzuges zu halten.

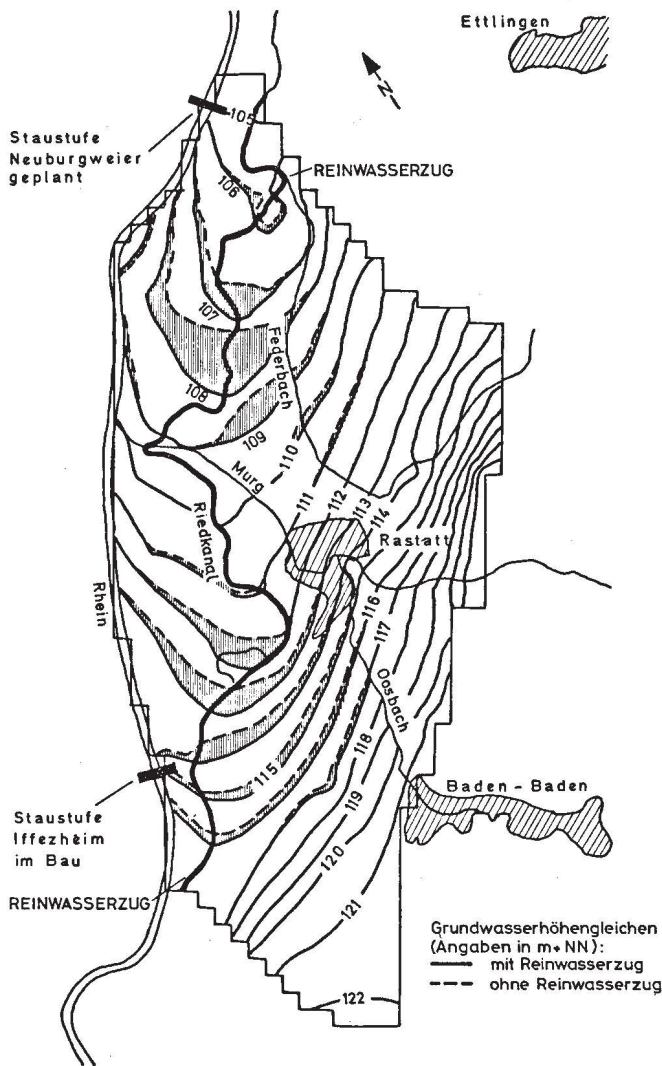


Bild 7. Drainagewirkung des Reinwasserzuges bei MW-Verhältnissen und erhöhtem Sickerwasserandrang (100 l/(s · km)).

4.5 Baubegleitmaßnahmen der Staustufe Neuburgweier

Aufgrund der Tatsache, daß die derzeitige Murgmündung im Staubereich der Staustufe Neuburgweier liegt, werden Baumaßnahmen an der Murg notwendig.

Zwei Möglichkeiten wurden untersucht:

- Verlegen der Murgmündung in das Unterwasser der Staustufe Neuburgweier. Dabei verläuft der neu zu erstellende Murgunterlauf von der jetzigen Murgmündung bis unterhalb der Staustufe Neuburgweier in unmittelbarer Nähe des Rheins und übernimmt hier die Funktion des Drainagegrabens.
- Belassen der Murgmündung an der jetzigen Stelle, wodurch die Murg infolge des Rheinaufstaus bis in das Stadtgebiet von Rastatt zurückstaut. Dadurch werden Erhöhungen der Seitendämme und Dichtungsmaßnahmen an der Murg notwendig.

Ein Belassen der Murgmündung an ihrer jetzigen Stelle wirkt sich nur dann auf das Grundwasser aus, wenn keine Dichtungsmaßnahmen durchgeführt werden und wenn die Selbstdichtung des Murgbettes den derzeitigen Stand nicht überschreitet. Die Grundwasserstände werden in diesem Fall um maximal 1 m angehoben. Ein großräumiger Einfluß ist dennoch nicht festzustellen, da die die Murg begleiten-

den Gewässer wie der Riedkanal und die Alte Murg, die in das Unterwasser der Staustufe Neuburgweier entwässern, eine stabilisierende Wirkung auf das Grundwasser haben. Für den Fall einer Selbstdichtung des Murgbettes bzw. von Dichtungsmaßnahmen sind nur unerhebliche Auswirkungen des Murgrückstaus auf das Grundwasser zu beobachten. Eine Verlegung der Murgmündung ins Unterwasser der Staustufe Neuburgweier ergibt bei mittleren hydrologischen Verhältnissen ebenfalls keine nennenswerte großräumige Veränderung der Grundwasserverhältnisse. Es ist lediglich mit einem Ansteigen der Grundwasserstände von wenigen Zentimetern zu rechnen. Es konnte somit kein gravierender Einfluß der möglichen Baubegleitmaßnahmen an der Murg auf das Grundwasser festgestellt werden.

5. Zusammenfassung

Im Rahmen des Rheinausbau wurde neben anderen Möglichkeiten zur Verhinderung der Erosion der Bau einer weiteren Staustufe bei Neuburgweier untersucht. Durch eine Staustufe sind Auswirkungen auf das Grundwasser zu erwarten. Deshalb wurde ein mathematisch-numerisches Simulationsmodell erstellt, mit dessen Hilfe die großräumigen Grundwasserverhältnisse nach dem Bau der Staustufe Neuburgweier erfaßt werden können. Das etwa 200 km² große Untersuchungsgebiet erstreckt sich über den gesamten östlichen Teil der Oberrheinebene zwischen Iffezheim und Karlsruhe.

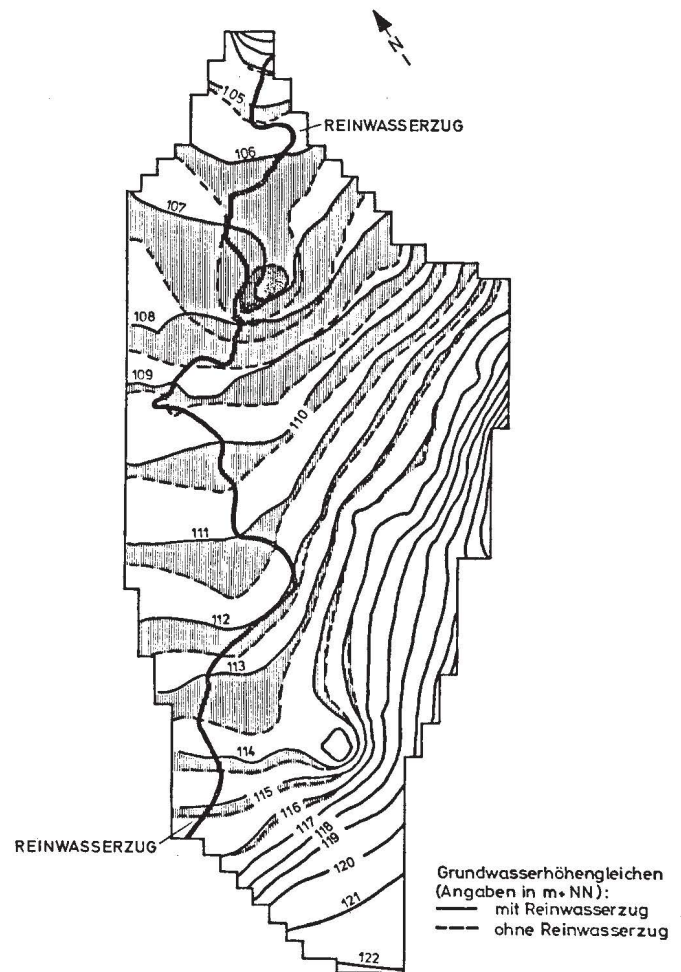


Bild 8. Infiltrationswirkung des Reinwasserzuges bei MW-Verhältnissen, vollkommen dichtem Rheinbett und wasserrechtlich genehmigten Grundwasserentnahmen.

Das Grundwassermodell lieferte im Rahmen der Modellierung eine umfassende Beschreibung der gegenwärtigen Verhältnisse. So konnten alle für den Grundwasserhaushalt maßgeblichen Infiltrations- bzw. Exfiltrationswassermengen aus Oberflächengewässern, Zuflüsse über die Gebietsränder oder Grundwasserneubildungsmengen aus Niederschlag ermittelt werden. In wechselseitiger Ergänzung ergab sich hieraus eine Bestätigung der Ergebnisse aus den hydrologischen und geologischen Untersuchungen (s. Teil I). Zudem konnten im Laufe der Modelluntersuchungen Vorschläge für eine optimale Erweiterung des hydrologischen Meßnetzes erarbeitet werden.

In den Prognoserechnungen wurden mögliche Planungszustände nach Ausbau des Rheins simuliert; die Ergebnisse dienen als Grundlage zur Beurteilung der Auswirkungen dieser Staustufe sowie der möglichen Begleitmaßnahmen

auf das Grundwasser und liefern Entscheidungshilfen für Planungsmaßnahmen. Das Modell ist erweiterungsfähig und wird über die abgeschlossenen Untersuchungen hinaus bereits im weiteren Planungsprozeß eingesetzt.

Literatur

- [1] *Busch, K.-F., und Luckner, L.*: Geohydraulik. Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1973.
- [2] *Hantush, M. S.*: Flow to Wells in Aquifers Separated by a Semi-previous Layer. *J. Geophys. Res.* 72 (6), 1967.
- [3] *Luckner, L., und Schestakow, W. M.*: Simulation der Geofiltration. Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1975.
- [4] *Lühr, H. P., und Zipfel, K.* (Hrsg.): Grundwassermodelle und ihr praktischer Einsatz. DVGW-Schriftenreihe Wasser Nr. 9, ZfGW-Verlag, Frankfurt 1975.
- [5] *Walton, W. C.*: Groundwater Resource Evaluation. McGraw-Hill, New York 1970.
- [6] *De Wiest, R. J. M.*: Geohydrology. John Wiley & Sons, Inc., New York 1967.