

Deichrückverlegung und Grundwasserbeweissicherung: Einsatz eines Grundwassermodells am Beispiel der Isar südlich von Freising

Klaus Piroth, Bettina Starke, Marianne Glanzer und Stefan Fach

Zusammenfassung

Im Gewässerabschnitt der Isar von Gut Erching (Fluss-km 127) bis Freising (Fluss-km 116) verlaufen die bestehenden Deiche beidseitig mit ca. 100 m bis 150 m Abstand zum Ufer weitgehend parallel zum Flusslauf durch den Auwald. Im Zuge der Wiedergewinnung von Retentionsraum an der Mittleren Isar sind Deichrückverlegungen an den Rand bzw. jenseits des Auwalds vorgesehen. Die vorhandenen Deiche werden dann teilweise „gelegt“ oder „offen gelassen“, um eine verbesserte hydraulische Anbindung der Altarme und Auenbereiche zu erzielen. Daraus resultieren hydraulische und vor allem ökologische Verbesserungen im gesamten betrachteten Isarabschnitt. Die Vorlandbreiten werden zukünftig ca. 800 m bis 1200 m betragen. Nach aktueller Planung sind dazu ca. 21 km Deich zu verlegen. Im Umfeld der neuen Maßnahmen befinden sich u.a. 4 geschlossene Ortschaften und Einzelanwesen, naturschutzfachlich relevante und landwirtschaftlich genutzte Flächen. Das Vorhaben gehört zum Hochwasserschutzprogramm Isar 2020 und wird anteilig mit Mitteln aus dem Nationalen Hochwasserschutzprogramm des Bundes finanziert.

Durch die Deichrückverlegungen werden die bestehenden Grundwasserverhältnisse im Vergleich zum heutigen Zustand beeinflusst, da bisher durch die Deiche geschützte Flächen je nach Abflussereignis eingestaut werden. Die Isar ist im betrachteten Abschnitt sehr gut an den oberflächennahen Grundwasserleiter angebunden und die Isarwasserstände haben einen bedeutenden Einfluss auf die Grundwasserströmung und die daraus resultierenden Grundwasserstände. Erfahrungen aus vielen Deichrückverlegungsmaßnahmen und Poldermaßnahmen z.B. in Bayern, an Rhein und Elbe zeigen, dass die größte Besorgnis der Anwohner im Zusammenhang mit den Auswirkungen der Maßnahmen sich auf das Grundwasser konzentriert. Man befürchtet höhere Grundwasserstände, die dann die Gebäude (Keller) oder die Felder (Landwirtschaft) oder den Naturraum negativ beeinflussen. Diese Besorgnisse sind ernst zu nehmen und müssen im Zuge des Genehmigungsverfahrens berücksichtigt werden. Ein zentrales Werkzeug zur Ermittlung solcher Beeinflussungen und Ableitung geeigneter Gegenmaßnahmen ist ein Grundwasserströmungsmodell. Es bildet die physikalischen Vorgänge der Wechselwirkung Oberflächengewässer und Grundwasser näherungsweise mathematisch ab und kann nach Kalibrierung anhand vorhandener geologischer und hydrologischer Informationen zur Prognose des Grundwasserverhaltens nach Durchführung der Deichrückverlegungsmaßnahmen eingesetzt werden. Durch Vergleichsrechnungen bei Hochwasserabflüssen zwischen Bestand und Planung können so ungünstige Beeinflussungen der Grundwasserstände ermittelt und lokalisiert und Gegenmaßnahmen empfohlen werden. Die Wirksamkeit dieser Gegenmaßnahmen kann dann wiederum mittels Modellrechnungen nachgewiesen werden.

Im vorliegenden Fall wurden zur Ermittlung der durch die Deichrückverlegung bedingten Auswirkungen auf die Grundwassersituation ein großräumiges, 3-dimensionales Finite-Elemente-Grundwasserströmungsmodell erstellt und anhand realer Messwerte zunächst stationär und

anschließend instationär kalibriert. In dem 7-schichtigen Modell mit insgesamt ca. 380.000 Modellknoten und einer Fläche von ca. 60 km² sind u.a. 5 maßgebliche Oberflächengewässer sowie die im Modellraum vorhandenen Grundwasserentnahmen abgebildet. Als Grundlage für die Modellerstellung ist zuvor anhand der vorhandenen Datenbasis ein konzeptionelles hydrogeologisches Standortmodell entwickelt worden. Das kalibrierte Grundwasserströmungsmodell wurde anschließend für Prognoserechnungen bei Isarhochwasserabflüssen HQ₁₀, HQ₅₀ und HQ₁₀₀ jeweils für den Bestand und den geplanten Zustand mit rückverlegten Deichen angewendet und hinsichtlich der Auswirkungen auf die Grundwassersituation ausgewertet. Besonderes Augenmerk wurde auf die instationäre Kalibrierung des Modells verbunden mit der Ableitung der instationären Randbedingungen auf der Basis der vorhandenen Datenlage gelegt. Im vorliegenden Vortrag wird die methodische Herangehensweise vorgestellt und die Auswertungen hinsichtlich der Ermittlung der maximalen Grundwasserstände und der Wassermengen, die in Entwässerungsgräben abgeführt werden müssen. Parallel mit der Modellerstellung wurden Standsicherheitsberechnungen für die Deiche durchgeführt und so die Einflüsse von Spundwänden und Deichausbildung direkt im Grundwassermodell berücksichtigt. Umgekehrt wurden die mit dem Grundwassermodell für den Bestand ermittelten ungünstigsten Grundwasserstände in Deichnähe in die geotechnische Bemessung der Deiche einbezogen.

1 Einführung

Das Planungs- und Untersuchungsgebiet befindet sich im Naturraum der nördlichen Münchner Schotterebene und liegt im südlichen Abschnitt des Deichsystems der Mittleren Isar von FI-km 127 bis 116 von Gut Erching bis Freising (Abb. 1).

Die bestehenden Deiche verlaufen hier beidseitig mit ca. 110 bis 150 m Abstand vom Uferstrand weitgehend parallel zum Flusslauf durch den Auwald. Ziel der Planungsmaßnahmen ist es, eine neue Deichtrasse möglichst außerhalb des Auwaldes zu errichten. Abhängig von den örtlichen Gegebenheiten wie Bebauung, Infrastruktur, Schutzerfordernisse sowie Eigentumsinteressen sind dabei die Deichlinien mit dem Ziel der Erhöhung der Retention weiter von der Isar zurück zu verlegen. An mehreren, nach hydraulischen und naturschutzfachlichen Kriterien ausgewählten Stellen werden die Deiche geöffnet bzw. aufgelassen.

Infolge der Untergrundbeschaffenheit steht die Isar im direkten Kontakt mit dem Grundwasser. Eine Veränderung der Deichlinie durch eine Deichrückverlegung verändert die Ausdehnung der Isar bei einem Hochwasser und beeinflusst damit auch das Grundwasserregime. Diese Beeinflussungen müssen im Zuge des Planfeststellungsverfahrens ermittelt und die Auswirkungen auf die Grundwasserstände bewertet werden. Die Bearbeitung dieser Fragestellung kann nur mit einem numerischen 3D-Grundwasserströmungsmodell geleistet werden. Zur Ermittlung der bestehenden Grundwasserverhältnisse und der zu erwartenden Auswirkungen wurde daher ein 3-dimensionales Grundwasserströmungsmodell erstellt und anhand realer Messwerte kalibriert. Mit dem kalibrierten Modell werden die zu erwartenden Auswirkungen prognostiziert und grafisch in Form von Grundwasserdifferenzen- und Flurabstandsplänen dargestellt. Grundlage für die Erstellung eines numerischen Grundwassermodells ist ein hydrogeologisches Modell als Abstrahierung der hydrogeologischen Verhältnisse und Zusammenhänge im Untergrund. Parallel zur Grundwassermodellierung wurden Standsicherheitsberechnungen für die Deiche durchgeführt, so dass zum einen die Bemessungswasserstände aus dem Grundwassermodell für die Berechnungen verwendet werden konnten und zum anderen Ergebnisse aus den Standsicherheitsberechnungen, die grundwasserrelevante Aus-

wirkungen haben (z.B. Spundwandtiefen), direkt im Modell verwendet werden konnten (Zusammenspiel Geotechnik – Grundwassermodellierung).

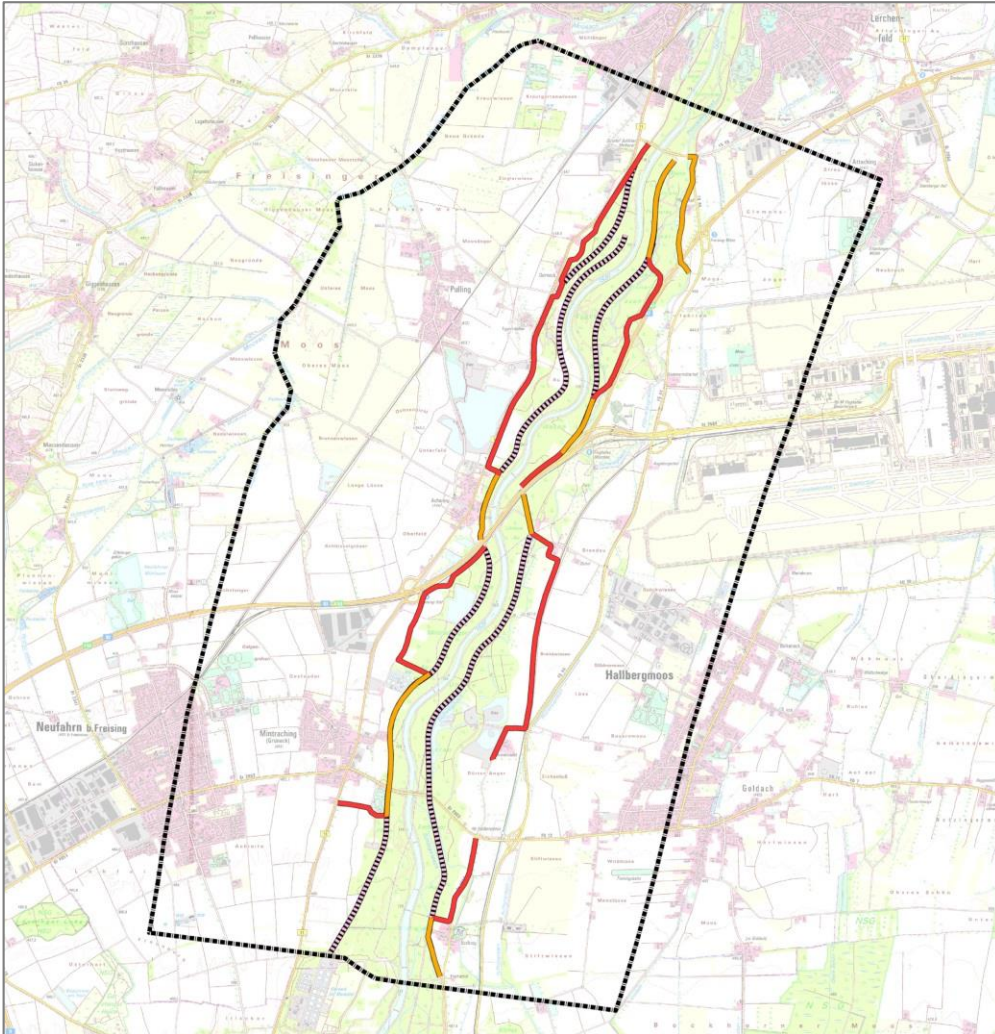


Abb. 1 Lage des Modellgebiets

2 Datengrundlage und Hydrogeologisches Modell

Als wesentliche Daten zur Erstellung des hydrogeologischen Modells wurden Daten zu Grundwasserständen, Grundwasserentnahmen, Niederschlagsdaten bzw. Daten zur Grundwasserneubildung, Pegel- und Abflussdaten an Oberflächengewässern; geologische, hydrogeologische und topografische Karten, ein digitales Geländemodell (DGM2), Bohraufschlüsse sowie Pumpversuchsauswertungen verwendet. Grundlage für die Prognoserechnungen im Planungszustand waren Bestandspläne mit Lage der bestehenden Deiche und Anlagen, die Entwurfspläne mit Verlauf der geplanten Deichtrassen sowie die vom WWA München mit dem Programm HYDRO_AS_2D für die Hochwasserabflüsse HQ₁₀, HQ₅₀ und HQ₁₀₀ jeweils für den aktuellen Zustand (2015) und den Planzustand (20XX) berechneten Isarwasserstände. Aus dem vorhandenen Datenbestand wurde ein hydrogeologisches Modell entwickelt, das die wesentliche Grundlage für die Beschreibung und Prognose der hydrogeologischen Vorgänge im Untersuchungsgebiet bildet (Abb. 2).

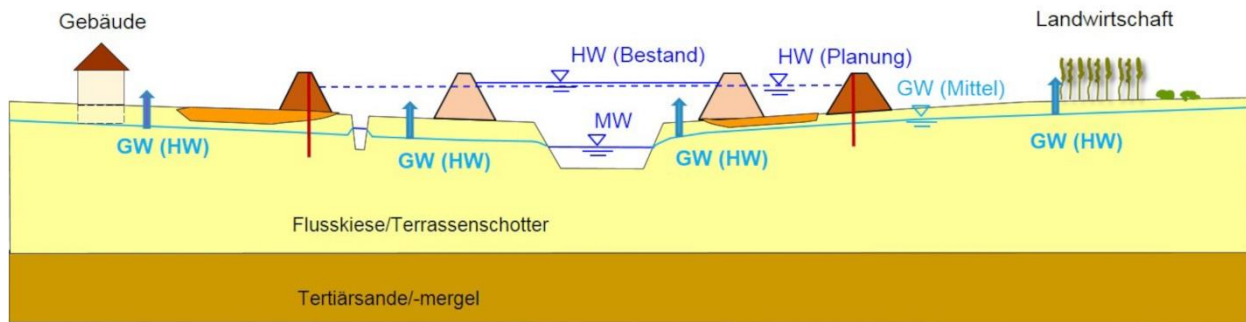


Abb. 2 Schema des Hydrogeologischen Modells

3 Dreidimensionales Grundwasserströmungsmodell

3.1 Modellsystem und Modellaufbau

Für die Modellrechnungen wurde ein 3D-Finite-Element-Grundwasserströmungsmodell mit dem Programmsystem FEFLOW erstellt. Das gewählte Modellgebiet erstreckt sich in einer Breite von ca. 2,5 km rechts und 2,5 km links der Isar über eine Fläche von ca. 60 km² (5 km x 12 km). Die Isar durchzieht mittig von Süd nach Nord den Modellraum. Das vorliegende Grundwassermodell hat ein Modellnetz mit 7 horizontalen Schichten mit jeweils 94.890 Elementen, d.h. insgesamt 664.230 Elemente. Die Netzweite beträgt zwischen ca. 5 m im Bereich der Deichtrassen bis zu ca. 50 m im weiteren Umfeld (siehe Abb. 3).

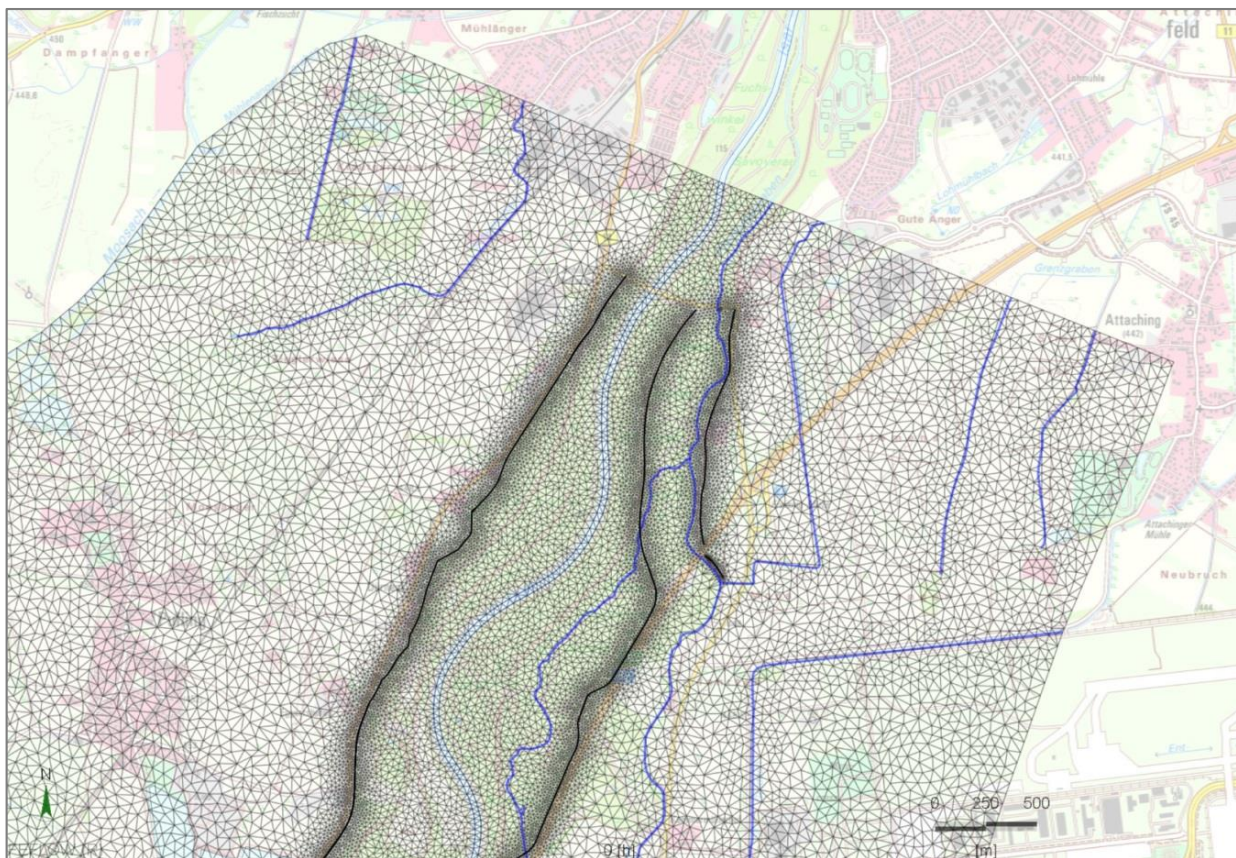


Abb. 3 Ausschnitt aus dem FE-Diskretisierung des Grundwasserströmungsmodells

3.2 Modellkalibrierung

Im Verlauf der Modellkalibrierung wurden die Modellparameter (k_f -Werte, Leakage-Faktoren) bestimmt. Die aus dem hydrogeologischen Modell angesetzten Materialeigenschaften (k_f -Werte, Leakage-Faktoren) wurden hierbei innerhalb einer plausiblen Bandbreite variiert, um eine gute Übereinstimmung der berechneten und gemessenen Grundwasserstände zu erreichen. Zunächst erfolgte eine stationäre Kalibrierung anhand von gemessenen Grundwasserständen an einem Stichtag im April 2015, der am Ende eines längeren Zeitraumes stationärer mittlerer Isarwasserstände (ca. 3,5 Monate) einem mittleren Referenzzustand entspricht. Der mittlere Fehler zwischen den berechneten und den gemessenen Grundwasserständen betrug ca. 0,2 m und zeigt - auf der Grundlage der vorhandenen Datenbasis - eine sehr gute Kalibrierung. Dieser Fehlerwert von 0,2 m ist für das vorliegende Grundwassermodell ein Maß für die Modellgenauigkeit bzw. Fehlertoleranz.

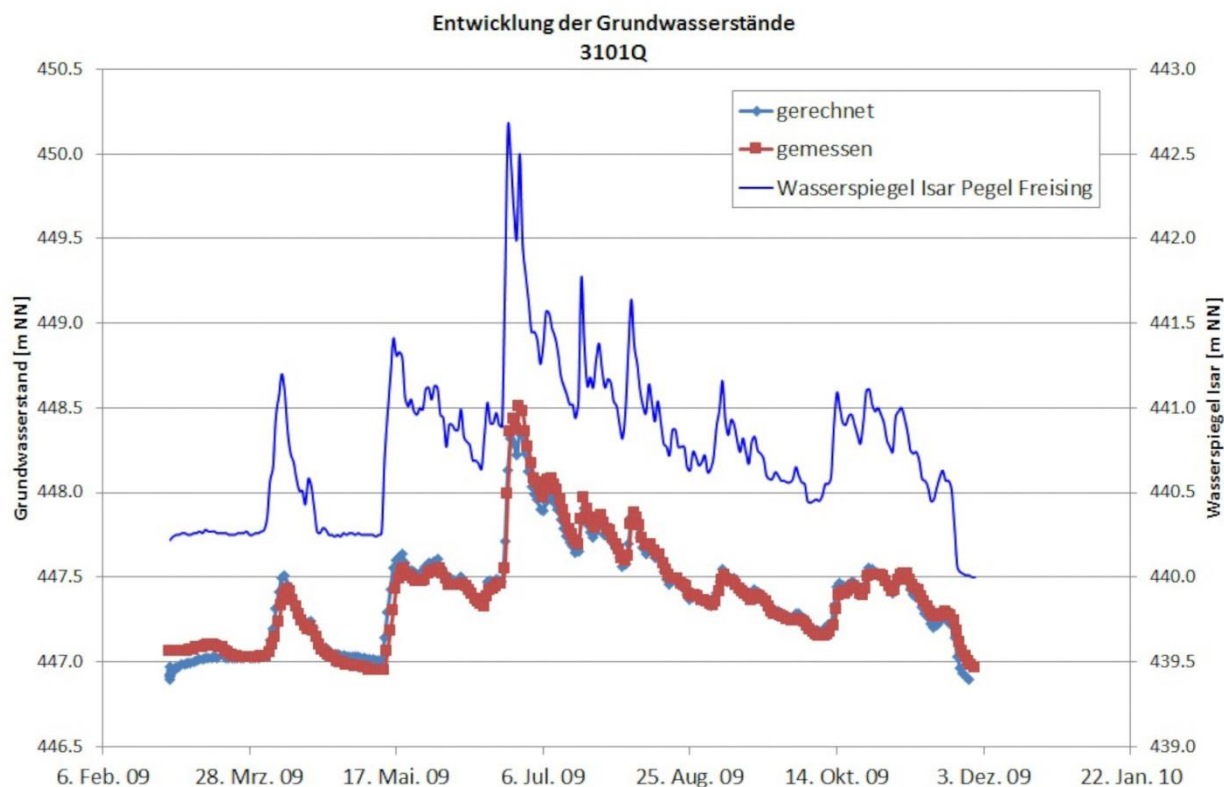


Abb. 4 Vergleich gemessener und gerechneter Grundwasserstände, Kalibrierung 2

Zur Quantifizierung der Prognosefähigkeit des Modells wurden anschließend instationäre Modellkalibrierungen für zwei Hochwasserereignisse mit ausreichender Datenbasis gemessener Grundwasserstände durchgeführt: (1) Mai 1999 mit einem maximalen Abfluss von $Q_{max} = 649 \text{ m}^3/\text{s}$ (ca. $HQ_{10} + 10\%$), (2) Juni 2009 mit $Q_{max} = 481 \text{ m}^3/\text{s}$ (ca. HQ_5). Für die instationäre Kalibrierung wurden jeweils die Wasserstände der Isar sowie der Randstrom im Norden (Zustrom) und Süden (Abstrom) instationär angesetzt. Für die Wasserstandsdaten der Isar wurde der Pegel Freising genutzt. Daher sind für die aus der mit HYDRO_AS-2D berechneten Hochwasserwelle für HQ_{100} die Wasserstandsdaten im 500m Abstand aus der Gewässermitte bei einem Abfluss von $Q_{max} = 649 \text{ m}^3/\text{s}$ (1) und $Q_{max} = 481 \text{ m}^3/\text{s}$ (2) als Maximalwasserstände für die jeweilige Kalibrierung verwendet worden. Die Hochwasserwelle für die Kalibrierung wurde mit diesem Scheitelwert jeweils anhand der gemessenen Wasserstandsdaten am Pegel Freising erzeugt und im Modell und unter Ansatz von Cauchy-

Randbedingungen über die jeweilige Überschwemmungsfläche räumlich (längs und quer zur Isar) interpoliert. Sonstige Randbedingungen (Grundwasserentnahmen, Grundwasserneubildung, Zustrom im Südosten) wurden stationär im mittleren Zustand beibehalten, da diese Einflüsse deutlich geringer und damit vernachlässigbar sind.

Die instationäre Kalibrierung zeigte, dass das Modell das instationäre Verhalten in einer für den komplexen Modellaufbau und der Vernachlässigung weiterer Einflussgrößen sehr guten Näherung wiedergibt (siehe Abb. 4). Stärkere Abweichungen gab es insbesondere in weiterer Entfernung von der Isar. Hier nimmt der Einfluss weiterer Randbedingungen zu, wie z.B. Grundwasserzufluss und Entnahmen, die im Modell nicht berücksichtigt werden.

4 Prognoserechnungen

4.1 Konzept und Aufbau der instationären Prognoserechnungen

Das kalibrierte Grundwassermodell wurde eingesetzt, um die Auswirkungen der geplanten Maßnahmen der Deichrückverlegung an der Isar südlich von Freising auf die Grundwasserhältnisse bei ausgewählten Hochwasserereignissen quantitativ zu untersuchen. Im Vorfeld wurde zunächst geprüft, inwiefern eine stationäre Prognoseberechnung sinnvoll ist oder ob ggf. eine instationäre Berechnung erforderlich wird. Hierfür wurde eine stationäre Prognoseberechnung mit den zu der Zeit verfügbaren Modellergebnissen (Wasserstandsdaten) aus einer HYDRO_AS-2D Berechnung für HQ₂₅ durchgeführt. Es zeigte sich, dass eine stationäre Berechnung für die Bestands- und Prognosefälle unrealistisch hohe Grundwasserstände ergibt, die deutlich über gemessenen Grundwasserständen bei vergleichbaren Abflüssen liegen. Realistische Grundwasserstände können somit nur über eine instationäre Berechnung berechnet werden.

Als Grundlage für die instationären Prognoserechnungen wurden durch das WWA München die Isarwasserstände mit dem Programm HYDRO_AS-2D für die folgenden Abflüsse jeweils für den aktuellen Zustand (2015) und den Planzustand (20XX) berechnet:

- HQ₁₀: 650 m³/s
- HQ₅₀: 880 m³/s
- HQ₁₀₀: 1100 m³/s

Die aus der HYDRO_AS-2D-Berechnung resultierenden Hochwasserwellen der Isar wurden als instationäre Wasserstandsdaten im 500 m Abstand aus der Gewässermitte in das Grundwassermodell übertragen und unter Ansatz von Cauchy-Randbedingungen über die jeweilige Überschwemmungsfläche räumlich (längs und quer zur Isar) interpoliert.

Am nördlichen und südlichen Modellrand wurde der Grundwasserzu- und -abstrom als instationäre Dirichlet-Randbedingung über eine Korrelation zwischen der Isarganglinie am Pegel Freising und repräsentativen Grundwassermessstellen sowie eine Extrapolation der normierten Grundwasserstände übertragen. Hierfür lag am Modellrand nur eine Messreihe mit ausreichenden Daten an der Messstelle 3102Q vor. Aufgrund der vorhandenen Daten und verschiedenen Berechnungen im Zuge der Modellkalibrierung wurde die in der Abb. 5 dargestellte Beziehung zwischen Isarwasserstand Pegel Freising und Grundwasserstand an der Messstelle 3102Q festgelegt.

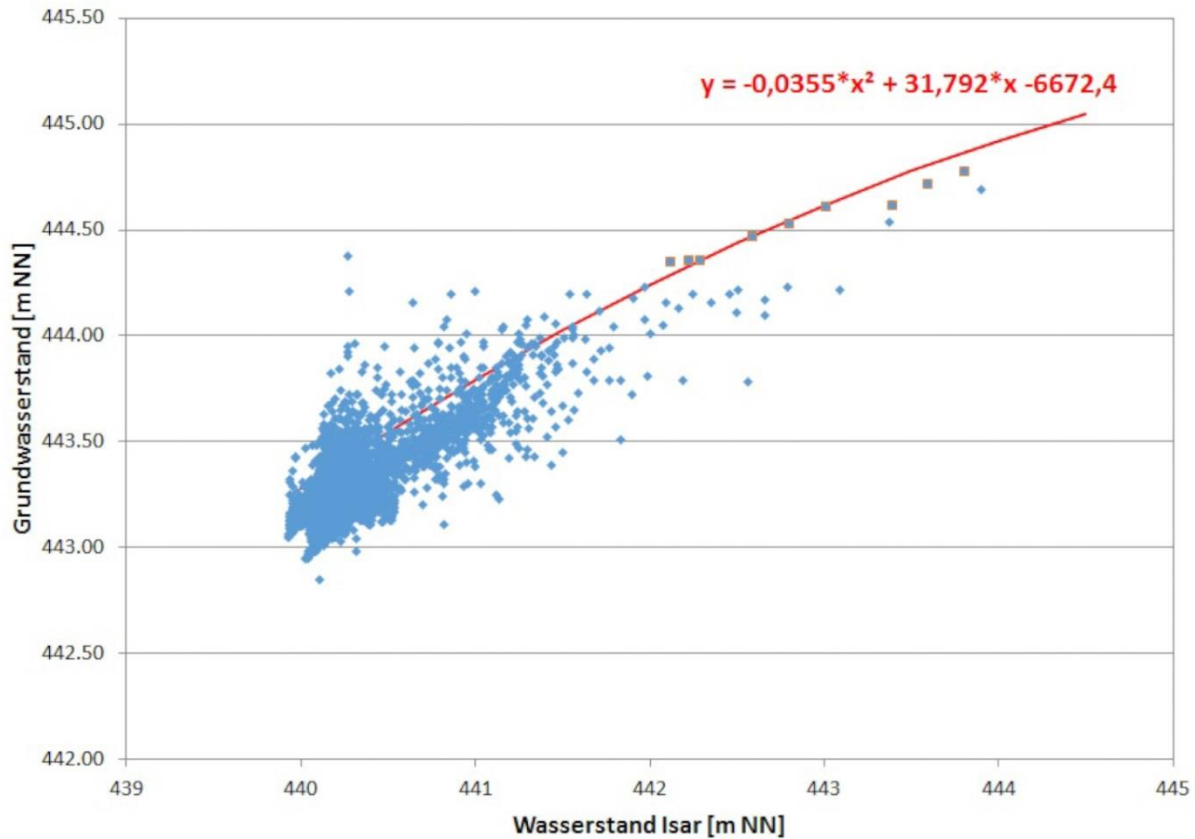


Abb. 5 Korrelation zwischen Isarwasserstand am Pegel Freising und Grundwasserstand an der Messstelle 3102Q

Anschließend wurde anhand dieser Formel für die 3 Hochwasserereignisse (Abflussszenarien HQ_{10} , HQ_{50} und HQ_{100}) jeweils eine Grundwasserstandsganglinie an der Messstelle 3102Q generiert. Die so normierte Grundwasserstandsganglinie an 3102Q wurde jeweils auf die Modellränder extrapoliert und als instationäre Festpotential-Randbedingung (Dirichlet-Randbedingung) angesetzt. Sonstige Randbedingungen (Grabenwasserstände, Grundwasserneubildung, Grundwasserentnahmen) wurden stationär angesetzt, da deren Einflüsse auf die Grundwasserstände im Hochwasserfall vergleichsweise gering sind. Die mittlere Grundwasserneubildung basiert hierbei auf der flächendifferenzierten Berechnung der hydrogeologischen Kartierung von Bayern. Für die Grundwasserentnahmen wurden die mittleren Entnahmen im Modellgebiet aus dem Zeitraum 2009 bis 2013 angesetzt, da die Entnahmeschwankungen im Vergleich zur Gesamtbilanz im Modellraum geringfügig sind.

Der Austausch Oberflächengewässer und Grundwasser wird im Modell über die Leakage-Randbedingung abgebildet, bei dem der Wasseraustausch als Infiltrationsrate q_{GW} zwischen Oberflächen- und Grundwasser durch die Wasserstandsdifferenz zwischen dem Wasserstand des im Gewässer h_F und dem Grundwasserstand h_{GW} und dem Leakagefaktor $L = k_f/m$ als hydraulischen Widerstandsfaktor beschrieben wird:

$$q_{GW} = L(h_F - h_{GW}) \quad [1]$$

Hierbei ist aufgrund der Schwebstoffe im Fließgewässer von einer geringeren Infiltrationsrate aus dem Oberflächengewässer in das Grundwasser gegenüber der Exfiltration vom Grundwasser in das Fließgewässer auszugehen.

Die Grundwassermodellrechnungen waren direkt mit geotechnischen Berechnungen (Spundwandbemessung, Standsicherheitsberechnungen) gekoppelt. In den jeweiligen Planungsfällen wurden im Modell die Spundwände der geplanten Deichtrasse mit der geplanten Einbindetiefe angesetzt. Die Bemessung der Einbindetiefen erfolgte zuvor mittels geotechnischer Berechnungen an ausgewählten, für die Bemessung maßgeblichen Querschnitten. Daraus wurden vom WWA München die Spundwandeinbindetiefen über die gesamte Deichtrasse festgelegt und für den Ansatz im Grundwassermodell übergeben. Im Modell wurden die Spundwände als quasiundurchlässige Wände mit einem kf-Wert von $1 \cdot 10^{-9}$ m/s angesetzt und ein zusätzlicher Modelllayer im Quartär eingefügt, um die Einbindetiefe der Dichtwände abzubilden. Aus den instationären Prognoserechnungen ergaben sich Bemessungsgrundwasserstände (maximale Grundwasserstände) am landseitigen Deichfuß, die ihrerseits als Grundlage für die Standsicherheitsberechnungen dienten.

4.2 Ergebnisse der Prognoserechnungen

Im Ergebnis der instationären Modellrechnungen werden für die 3 Hochwasserereignisse HQ₁₀, HQ₅₀ und HQ₁₀₀ die instationären Grundwasserverhältnisse im Bestand (vor geplanter Hochwasserschutzmaßnahme) sowie im Planungsfall (nach geplanter Hochwasserschutzmaßnahme) simuliert, so dass für jeden gerechneten Zeitschritt eine Grundwasserverteilung ermittelt wird. Aufgrund des instationären Verlaufes der Hochwasserwelle und einer instationären und teilweise verzögerten Reaktion der Grundwasserstände, sind somit die maximalen Grundwasserstände an verschiedenen Bereichen im Modell nicht zeitgleich und es können – im Gegensatz zu einer stationären Berechnung - keine Grundwassergleichenpläne herangezogen werden. Die Ermittlung der Maximalwerte der Grundwasserstände an jedem Knotenpunkt des numerischen Modells erfolgte mit einem Python-Programm über eine Schnittstelle mit FEFLOW. Die Ergebnisse der instationären Modellrechnungen wurden jeweils für die Hochwasserereignisse HQ₁₀, HQ₅₀ und HQ₁₀₀ in folgender Form dargestellt:

- Linien gleicher maximaler Grundwasserstände und Flurabstände bei maximalen Grundwasserständen für Bestand zur Darstellung der Bemessungsgrundwasserhöhen und den entsprechenden Flurabstände für den Istzustand vor den geplanten Maßnahmen.
- Linien gleicher maximaler Grundwasserstände und Flurabstände bei maximalen Grundwasserständen für den Planungsfall zur Darstellung der Bemessungsgrundwasserhöhen und den entsprechenden Flurabstände für den Planungsfall mit den geplanten Maßnahmen der Deichrückverlegung
- Differenzen der maximalen Grundwasserstände Planung – Bestand inklusive Flurabstände im Planungsfall zur Darstellung der maßnahmebedingten Auswirkungen auf das Grundwasser (Grundwassererhöhung = positive Differenz, Grundwasserabsenkung = negative Differenz) im Zusammenhang mit den künftigen Flurabständen.

Differenzen der maximalen Grundwasserstände Planung minus Bestand wurden jeweils zusammen mit den Flurabständen im Planungsfall und fein aufgelöst im Maßstab 1 : 5.000 dargestellt, so dass die Betroffenheit flurstücksscharf erkennbar ist. Insgesamt sind die maximalen maßnahmebedingten Auswirkungen - bei einem Bemessungshochwasserstand HQ₁₀₀ – überwiegend geringfügig und liegen in vielen Bereichen unterhalb der Prognosegenauigkeit von 20 cm. Die stärksten Auswirkungen und damit kritischen Bereiche liegen im südlichen Teil des Modellgebietes mit einer vergleichsweise stärkeren Rückverlegung der Deiche. Hier sind

Grundwasseraufspiegelungen außerhalb der Deichtrassen bis max. 1 m in Deichnähe berechnet worden.

4.3 Deichunterströmung und Binnenentwässerung bei HQ_{100}

Aus den Modellergebnissen wurden die maximalen Deichunterströmungen pro lfm. Deich sowie die maximalen spezifischen Wassermengen für die vorhandenen Entwässerungsgräben für das Bemessungsgrundwasser (HQ_{100}) als Grundlage für die Planung der Binnenentwässerung ermittelt. Die maximale Deichunterströmung liegt zwischen 0,1 l/s bis 1,3 l/s pro lfm. Deich, wobei im nördlichen Bereich mit höheren k_f -Werten eine stärkere Deichunterströmung stattfindet. Insgesamt strömen ca. 9,6 m³/s Wasser unterhalb der ca. 21 km langen Deiche hindurch. Die Entwässerungsgräben führen bei einem Bemessungshochwasser im Planungsfall insgesamt ca. 6,7 m³/s Wasser ab. Dies entspricht etwa 70 % der Wassermenge aus der Deichunterströmung.

Die Grundwasserbilanz beim Durchgang der Hochwasserwelle bei HQ_{100} im Planungsfall (Abb. 6) zeigt, dass der maßgebliche Wasserzufluss von ca. 37 m³/s im Bemessungshochwasserfall mit ca. 94 % aus der Infiltration der Isar gebildet wird. Ein erheblicher Teil hiervon (ca. 53,4 %) wird im Untergrund gespeichert, ca. 29 % strömen nach Norden hin ab und ca. 17,4 % werden über Gräben abgeführt.

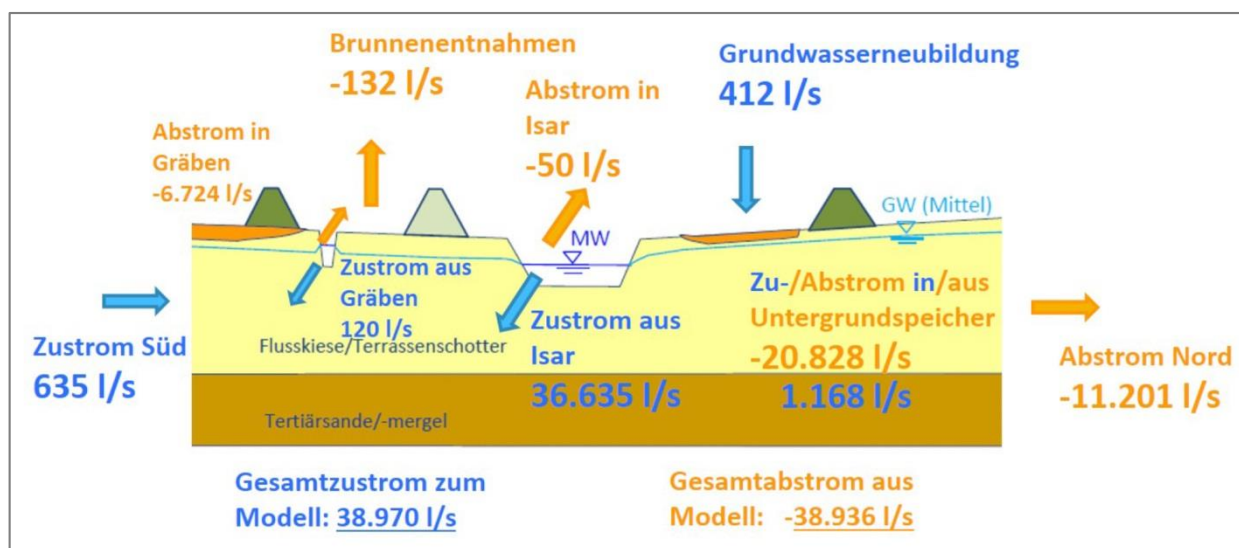


Abb. 6 Grundwasserbilanz beim Durchgang der Hochwasserwelle HQ_{100} im Planungsfall

5 Maßnahmen zur Begrenzung des Wasseranfalls

Im Hinblick auf die potentiellen Auswirkungen in den kritischen Bereichen kommen als Maßnahmen zur Begrenzung des Wasseranfalls und zur Absenkung des Grundwasserspiegels die bereichsweise Erhöhung der Dichtwandinbindetiefe oder die Verbesserung der Binnenentwässerung durch zusätzliche Drainagegräben in Deichnähe mit oder ohne Schöpfwerk in Betracht. Weitere Prognoserechnungen werden durchgeführt, um die Auswirkungen dieser Maßnahmen zu untersuchen und zu optimieren. Ziel der Optimierungsrechnungen ist es, die durch die geplante Deichrückverlegung bedingten Auswirkungen auf die Grundwasserstände – in Abhängigkeit der örtlichen Gegebenheiten und unter Beibehaltung der Standsicherheit der Deiche – mit den vorgesehenen Maßnahmen auf das Niveau des Istzustandes zu reduzieren.

Literatur

- DHI-WASY GmbH. (2015). User's Manual. Wasy Software FEFLOW – Finite Element Subsurface Flow & Transport Simulation System, FEFLOW 6.2, 2015.
- FH-DGG Fachsektion Hydrogeologie in der Deutschen Geologischen Gesellschaft (Hrsg.) (2002). Hydrogeologische Modelle, Ein Leitfaden mit Fallbeispielen; in: Schriftenreihe der Deutschen geologischen Gesellschaft, Heft 24, 2002
- DVGW Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V. (2004): Technische Regel, Arbeitsblatt W 107, Aufbau und Anwendung numerischer Grundwassermodelle in Wassergewinnungsgebieten, Bonn, Juni 2015.
- LfU Bayerisches Landesamt für Umwelt (2009). Hydrogeologische Karte von Bayern 1 : 500000, Augsburg, September 2009

Anschrift der Verfasser

Dr.-Ing. Klaus Piroth
CDM Smith Consult GmbH
Lazerattstr. 4, D-80636 München
klaus.piroth@cdmsmith.com

Dr.-Ing. Bettina Starke
CDM Smith Consult GmbH
Lazerattstr. 4, D-80636 München
bettina.starke@cdmsmith.com

Dipl.-Ing. Marianne Glanzer
Wasserwirtschaftsamt München
Heißstraße 2, D-80797 München
marianne.glanzer@wwa-m.bayern.de

Dr.-Ing. Stefan Fach
Wasserwirtschaftsamt München
Heißstraße 2, D-80797 München
stefan.fach@wwa-m.bayern.de