

Modellbasierte Bewertung von Bewässerungsmaßnahmen auf Grundwassermenge und -qualität

Johann Fank^{1*} und Gernot Klammler¹

Zusammenfassung

Eine optimierte Steuerung der Bewässerung ist komplex und wird in erster Linie durch die Kulturführung, die bodenphysikalischen Standortfaktoren und die Witterung beeinflusst. Ziel ist es, den Pflanzen für deren optimale Entwicklung ergänzend zu den natürlichen Niederschlägen die erforderliche Wassermenge zum richtigen Zeitpunkt zuzuführen. Um die langfristige Auswirkung von Saatmais-Bewässerung aus dem Grundwasser auf die Grundwasserneubildung und die Nitratkonzentration im Grundwasser zu bewerten wurde eine Langzeit-Modellierung des Bodenwasser- und Stickstoffhaushaltes der ungesättigten Zone mit einem Grundwasserströmungs- und Nitrattransportmodell gekoppelt. Im untersuchten Grundwassergebiet würde eine Optimierung der Bewässerungsgaben – weniger und dafür öfter unter Berücksichtigung der bodenphysikalischen Erfordernisse – eine Verringerung der notwendigen Bewässerungsmenge um 31 % bedeuten. Der Stickstoffaustrag aus der ungesättigten Zone könnte um 12 % reduziert werden.

Schlagwörter: Numerische Modellierung, Saatmaispbewässerung, Bewässerungsstrategien, Grundwasserentnahmen, Grundwasserqualität

Summary

Optimized irrigation control is complex and is primarily influenced by crop management, soil-physical location factors and weather conditions. The aim is to supply the plants with the necessary amount of water at the right time for their optimal development - in humid climates - in addition to natural precipitation, taking into account the water stored in the soil. To evaluate the long-term effects of seed maize irrigation from shallow groundwater on groundwater recharge and nitrate concentration in groundwater, a long-term modelling of the soil water and nitrogen balance in the unsaturated zone was coupled with a groundwater flow and nitrate transport model in a section of the „Lower Mur Valley“. An optimization of the irrigation strategy – taking into account the soil physical parameters – would lead to a reduction of irrigation water amount by 31 %. Nitrogen leaching from the unsaturated zone to the groundwater could be reduced by 12 %.

Keywords: Numerical modeling, seed maize irrigation, irrigation strategy, groundwater quantity, groundwater quality

Einleitung

Die Versorgung von landwirtschaftlichen Kulturen mit Wasser ist ein wesentliches Kriterium für die Pflanzenentwicklung und den -ertrag. Dabei ist neben der Niederschlagsmenge auch die Niederschlagsverteilung über die Zeit von entscheidender Bedeutung, da die Kulturen in unterschiedlichen Pflanzenentwicklungsstadien unterschiedlich viel Wasser benötigen. Außerdem ist der Wasserbedarf auch von Kultur zu Kultur unterschiedlich. Reichen die natürlichen Niederschlagsmengen bzw. die vorherrschenden

¹ JR-AquaConSol, Steyrergasse 21, A-8010 Graz

* Ansprechpartner: Univ. Doz. Dr. Johann Fank, email: johann.fank@jr-aquaconsol.at

Niederschlagsverhältnisse nicht aus, den Wasserbedarf der Pflanzen abzudecken, so kann dem Boden über künstliche Bewässerung zusätzliches Wasser zugeführt werden. Durch Bewässerung mit lokalen Grundwasserressourcen wird der Grundwasserkörper in zweierlei Hinsicht beeinflusst. Einerseits stammt das Wasser für die Bewässerungen zu einem großen Anteil aus dem Grundwasser vor Ort, was eine zusätzliche Wasserentnahme aus dem Aquifer darstellt. Andererseits kann das zusätzlich zugeführte Bewässerungswasser das natürliche Verhalten des Sickerwassers sowie das Auswaschungsverhalten von Nitrat aus dem Boden verändern.

In der vorliegenden Untersuchung werden unterschiedliche Bewässerungsszenarien mit Hilfe von numerischen Simulationsmodellen abgebildet und damit die Auswirkungen von landwirtschaftlichen Bewässerungen auf das Grundwasser interpretiert und bewertet. Die Modellierung wird für ein ausgewähltes Gebiet im Unteren Murtal, in dem die Bewässerung von landwirtschaftlichen Spezialkulturen (hauptsächlich Saatmais, aber auch Feldgemüse, Käferbohnen, Kren, Trockenreis, Soja, Äpfel) eine Rolle spielt, exemplarisch durchgeführt.

Material und Methoden

Wetterdaten der Jahre 2012 bis 2018 im Untersuchungsgebiet weisen eine mittlere Jahresniederschlagssumme von 956 mm auf, die mittlere Jahreslufttemperatur liegt bei 11.6 °C. Es lässt sich trotz der kurzen Beobachtungsdauer in groben Zügen daraus ableiten, dass zwischen September und Februar/März die Wasserbilanz positiv und zwischen März/April und August eher negativ ist. Für den Modellberechnungszeitraum 1993 bis 2018 wurden die benötigten Wetterdaten vor 2012 von der Wetterstation Wagna nach Grünwald (2013) abgeleitet.

Basis für die modellhafte Charakterisierung der Böden bildet die Österreichische Bodenkartierung (ÖBK; eBod, 2004) und eine Sonderkartierung Auwald (Otto 1992). Der Großteil des Untersuchungsgebietes ist aus Braunem Auboden (41%), Lockersediment-Braunerde (16%), Augley (13%) und Grauem Auboden (9%) aufgebaut. Die dominante Landnutzungsart im gesamten Modellgebiet ist Landwirtschaft, welche 62% der Fläche einnimmt. Wald – und in diesem Fall vor allem Auwald – kommt auf ca. einem Drittel der untersuchten Fläche vor. Siedlungsgebiete und vor allem Gewässer sind im Projektgebiet flächenmäßig untergeordnet.

Bewässerungsflächen, Bewässerungsbrunnen, bewässerte Kulturen und Bewässerungszeiten wurden aus wasserrechtlichen Bewilligungsbescheiden bzw. wasserrechtlichen Einreichprojekten abgeleitet. Das für die Bewässerung notwendige Wasser wird aus insgesamt 39 in der Untersuchungsregion verteilt gelegenen Grundwasserbrunnen entnommen, wobei es – aufgrund einer möglichen gegenseitigen Beeinflussung – zusätzliche Betriebsvorschriften neben der Festlegung der Bewässerungszeit zwischen 18:00 und 09:00 gibt.

Der methodische Ansatz zur Bewertung der Auswirkungen einer Bewässerung von landwirtschaftlichen Flächen auf das Grundwasser basiert generell auf einer sequentiellen Modellkopplung eines Modells für die ungesättigte Zone mit einem Modell für die gesättigte Zone. Dabei wird zur Simulation der Grundwasserneubildung, des Stickstoffaustrages aus der ungesättigten Zone, der Nitratkonzentration im Sickerwasser sowie des Bewässerungsbedarfs das Modell SIMWASER/STOTRASIM (Stenitzer 1988, Stenitzer & Murer 2003; Feichtinger 1998) in Kombination mit STOTRAPGEN (Klammler et al. 2012) verwendet. Darauf aufbauend wird mit FEFLOW (Diersch 2009) die Grundwasserströmung und die Nitratverteilung im Grundwasser berechnet.

Die Ausgangsbasis bildet das Grundwasserströmungs- und Nitrattransportmodell von Kupfersberger et al. (2019), welches in seiner flächenmäßigen Ausdehnung an das Untersuchungsgebiet angepasst wurde. Des Weiteren wurden dem Modell an den entsprechenden Standorten Entnahmebrunnen hinzugefügt, aus denen das Wasser für die

Bewässerung stammt. Die Netzgeometrie wurde an diesen Entnahmebrunnen insofern verfeinert, als der Knotenabstand zwischen Brunnen und benachbarten Modellknoten ca. 10 m beträgt.

Die bodenhydraulischen Grundlagen für die Modellierung des Bodenwasserhaushaltes wurden nach dem methodischen Ansatz von Murer (1998) abgeleitet. Für die nicht bewässerten landwirtschaftlich genutzten Flächen im Untersuchungsgebiet wurden die Leitfruchtfolgen

- Körnermais-Kürbis-Körnermais-Winterweizen-Körnermais
- Körnermais-Kürbis-Körnermais-Wintergerste-Körnermais
- Körnermais-Körnermais-Sommergetreide-Winterraps
- Körnermais-Körnermais-Sojabohne-Silomais
- Grünland

nach deren Vorkommen in der Invekos –Datenbank verrechnet und nach Ertragslage hoch 1 (BMLFUW 2017) gedüngt. Für die bewässerten Flächen wurde der Schwerpunkt auf die flächenmäßig dominanteste Kultur „Saatmais“ gelegt und in der Fruchtfolge Saatmais – Saatmais – Kürbis abgebildet und dabei das Fruchtfolgeglied Kürbis nicht bewässert. Die bewässerten Flächen wurden mit einer Stickstoffmenge von $156 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ jahreswirksam zu Saatmais und von $60 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ jahreswirksam zu Kürbis gedüngt.

Die Bewässerungsmenge zu Saatmais wurde entsprechend den Vorgaben in den wasserrechtlichen Einreichprojekten mit 120 mm zu maximal 4 Gaben à 30 mm pro Jahr begrenzt. Die Bewässerung wird nur durchgeführt, wenn im Simulationsmodell für das jeweilige Bodenprofil in einer Tiefe von 20 cm eine kritische Saugspannung von -300 hPa unterschritten wird. Die Definition der Brunnenentnahmen der einzelnen Brunnen für das Grundwassermodell (FEFLOW) basiert auf den Ergebnissen des Bewässerungsbedarfs aus SIMWASER/STOTRASIM, wobei auf sonstige Einschränkungen der Entnahme aufgrund der Lage der Brunnen zueinander (gegenseitige Beeinflussung) oder das Unterschreiten eines zulässigen Grundwasserstandes Rücksicht genommen wird. Ist die erforderliche Bewässerungsmenge größer als die entnehmbare Grundwassermenge, so wird in dieser Modellanwendung davon ausgegangen, dass der Bewässerungsbedarf nicht mehr durch Grundwasser, sondern durch andere Wasserquellen abgedeckt wird.

Das gesamte Modellgebiet deckt eine Fläche von ca. 2.100 ha ab, davon werden maximal ca. 400 ha bewässert. Die maximale Entnahmemenge aus den Bewässerungsbrunnen innerhalb des betrachteten Modellgebietes beläuft sich auf ca. $500.000 \text{ m}^3 \text{ a}^{-1}$.

Ergebnisse

Mit dem gekoppelten Modellkomplex wurden folgende Szenarien zur Bewässerung der Saatmaisflächen berechnet:

- V1 ohne Bewässerung
- V2a Praxisübliche Bewässerung (30 mm je Gabe)
- V2b optimierte Bewässerung (5 mm je Gabe).

Die Ergebnisse der Berechnungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Der durchschnittliche Bewässerungszeitraum für Saatmais unter den gegebenen Boden- und Wetterbedingungen im Untersuchungsgebiet liegt zwischen 23.5. und 17.7. Die früheste simulierte Bewässerungsgabe lag am 10.5. im Jahr 2000; die späteste simulierte Bewässerungsgabe am 5.8. im Jahr 2004.
- Unter Berücksichtigung der Einschränkung, dass die Grundwasserspiegel in den Bewässerungsbrunnen nur maximal bis zu NGW(GIS)+30cm (Niedrigste Grundwasserspiegel aus GIS Steiermark erhöht um 30 cm) abgesenkt werden dürfen, kann der für die Saatmaisfruchtfolge „Saatmais-Saatmais-Kürbis“ rechnerisch ermittelte Bedarf an Bewässerungswasser nur zu 75% aus dem Grundwasser abgedeckt werden.

- Die Grundwasserneubildung erhöht sich im gesamten Modellgebiet durch Bewässerung der Saatmaisfruchtfolge (V2a-V1) um 6%
- Die Stickstoffausträge im gesamten Modellgebiet aus der ungesättigten Zone erhöhen sich durch Bewässerung der Saatmaisfruchtfolge (V2a-V1) um 12%.
- Die Nitratkonzentrationen im Grundwasser erhöhen sich im gesamten Modellgebiet durch Bewässerung der Saatmaisfruchtfolge (V2a-V1) um 9% - von 34 auf 37 mg L⁻¹.
- Durch eine Optimierung der Bewässerungsgaben zu Saatmais (regelmäßigere Bewässerung mit geringeren Teilmengen V2b – V2a) würde sich ein Einsparungspotential der Bewässerungsmenge von 31 % ergeben – es müsste um nahezu 1/3 weniger Grundwasser gefördert werden. Der Stickstoffaustrag aus der ungesättigten Zone – ein Verlust für die Landwirtschaft - würde sich für die Bewässerungsflächen um 12 % reduzieren. Dieser Stickstoffanteil würde den Pflanzen bei optimierter, anstelle von der derzeit praktizierten Bewässerung, mehr zur Verfügung stehen.
- Die Auswirkungen einer optimierten Bewässerung (V2b – V2a) - ausgewertet über alle Landnutzungsarten - auf die Grundwasserneubildung (-3%) und auf den Stickstoffaustrag (5%) ist sehr gering. Auf das Grundwasser (sowohl Grundwasserspiegel, als auch Nitratkonzentration im Grundwasser) hat eine solche Optimierung der Bewässerungsgaben keinen signifikanten Einfluss (Verringerung der Nitratkonzentration um ca. 2 mg L⁻¹).

Literatur

BMLFUW (2017) Richtlinien für die Sachgerechte Düngung im Ackerbau und Grünland-Anleitung zur Interpretation von Bodenuntersuchungsergebnissen in der Landwirtschaft. 7. Auflage, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 115 S.

Diersch H.J.G. (2009) FEFLOW Reference Manual, DHI-WASY GmbH, Berlin.

eBod (2004) Österreichische Bodenkartierung. Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft, Wien.

Feichtinger F. (1998) STOTRASIM – Ein Modell zur Simulation der Stickstoffdynamik in der ungesättigten Zone eines Ackerstandortes. Schriftenreihe des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, 7, 14-41.

Grünwald C. (2013) Die Bedeutung von detailliert bekannten Wetterdaten für die Modellierung des Bodenwasserhaushalts und des Stickstoffaustrags auf der regionalen Skala. Masterarbeit am Institut für Geographie und Raumforschung, Karl-Franzens-Universität Graz, 93 S.

Klammler G., Rock G., Fank J., Kupfersberger H. (2012) Generating land use information to derive diffuse water and nitrate transfer as input for groundwater modelling at the aquifer scale. In: Oswald SE, Kolditz O, Attinger S (eds) Models - repositories of knowledge, ModelCARE2011, Leipzig/Germany, IAHS Publ 355, 237-242.

Kupfersberger H., Mach J., Rock G., Draxler J., Klammler G., Fank J. (2019) Gekoppelte Grundwasserströmungs- und Nitrattransportmodelle in den Grundwasserkörpern Leibnitzer Feld und Unteres Murtal. Unveröffentlichter Bericht der JR-AquaConSol im Auftrag der Abteilung 14 – Amt der Steiermärkischen Landesregierung, 166 S.

Murer E. (1998) Die Ableitung der Parameter eines Bodenwasserhaushalts- und Stofftransportmodelles aus den Ergebnissen der Bodenkartierung. Modelle für die gesättigte und ungesättigte Bodenzone. Schriftenreihe des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, Band 7, 89-103.

Otto B. (1992) Bodenkartierung im Aubereich der Mur zwischen Spielfeld und Radkersburg. – Unveröff. Kartierungsunterlagen, Graz.

Stenitzer E. (1988) SIMWASER – Ein numerisches Modell zur Simulation des Bodenwasserhaushaltes und des Pflanzenertrages eines Standortes. Mitteilung Nr. 31, Bundesanstalt für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, 3252 Petzenkirchen, 203 S.

Stenitzer E., Murer E. (2003) Impact of soil compaction upon soil water balance and maize yield estimated by the SIMWASER model. Soil Till. Res. 73. 43-56.

