

Auswirkungen von Dürren auf den Boden- und Grundwasserhaushalt

Steffen Birk^{1*}

Zusammenfassung

In humiden Gebirgsregionen mit energielimitierter Verdunstung führen Niederschlagsdefizite zu Bodenwasserdefiziten, jedoch nicht unmittelbar zu einem Rückgang der Verdunstung. Wenn die Dürre von erhöhter Einstrahlung bzw. Temperatur begleitet ist, kann die Verdunstung sogar erhöht sein und das Wasserdefizit verstärken. Unter diesen Bedingungen führen Dürren vor allem zu einer Abnahme des Abflusses, also verringerter Sickerwassermenge bzw. Grundwasserneubildung. Der Grundwasserabfluss reagiert oft gedämpft und verzögert, sodass sich kurze Dürreperioden mit geringen Wasserdefiziten kaum auswirken. Zahlreiche kleine Niederschlagsdefizite können jedoch zu wenigen großen Dürren im Grundwasser akkumulieren. Sollte infolge des Klimawandels eine Verschiebung von energielimitierten zu wasserlimitierten Bedingungen erfolgen, wäre künftig in Dürren mit einer stärkeren Verringerung der Verdunstung und damit eventuell abnehmender Produktivität von Ökosystemen zu rechnen.

Schlagwörter: Verdunstung, grünes Wasser, blaues Wasser, landwirtschaftliche Dürre, Grundwasserdürre

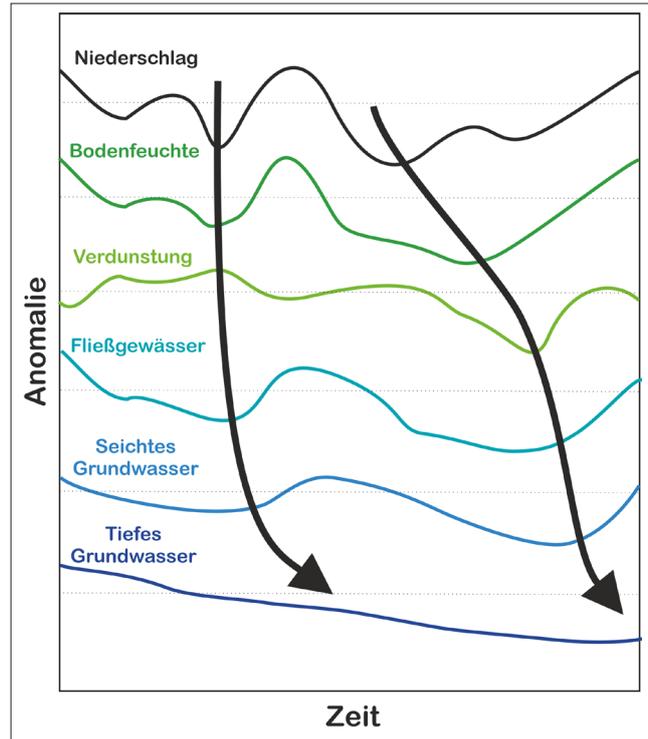
Dürren haben ihren Ausgangspunkt meist in ausbleibenden oder ungewöhnlich geringen Niederschlägen. Solche **meteorologischen Dürren** können sich mehr oder weniger verzögert und gedämpft in andere Komponenten des Wasserkreislaufs fortpflanzen (*Abbildung 1*). Führen sie zu Defiziten im Bodenwasser und damit in weiterer Folge potenziell zu Auswirkungen auf den landwirtschaftlichen Ertrag spricht man von **landwirtschaftlicher Dürre**, führen sie zu einer Verringerung im Abfluss der Fließgewässer von **hydrologischer Dürre** bzw. im Falle eines Rückgangs von Grundwasserständen auch von **Grundwasserdürre**. Dürren können also sowohl Wasserflüsse bzw. -speicher betreffen, die der Produktion von Biomasse und damit dem Erhalt von Ökosystemen und der Nahrungsmittelerzeugung dienen („grünes Wasser“), als auch solche in Grundwasserleitern und Fließgewässern („blaues Wasser“), die für die Wasser- und Energieversorgung von großer Bedeutung sind (Falkenmark und Rockström 2006, Orth und Destouni 2018). Ziel dieses Beitrags ist die Diskussion der Fortpflanzung und Auswirkungen von Dürren in den unterschiedlichen Komponenten des Wasserkreislaufs.

Ob und in welchem Ausmaß sich meteorologische zu landwirtschaftlichen Dürren entwickeln, hängt nicht nur vom Niederschlagsgeschehen ab, sondern auch vom Verlauf der Verdunstung. Im humiden Alpenraum ist die Verdunstung meist energielimitiert. Daher ist die tatsächliche Verdunstung vor Beginn und während des ersten Stadiums von Dürreperioden in der Regel nicht durch eine begrenzte Wasserverfügbarkeit limitiert, sondern durch die verfügbare Strahlungsenergie (bzw. niedrige Lufttemperatur). Da meteorologische Dürren oft mit Wetterlagen verbunden sind, in denen die Einstrahlung und damit auch die Lufttemperatur und die potenzielle Verdunstung erhöht sind, kann die tatsächliche Verdunstung am Beginn der Dürre zunächst sogar erhöht sein, obwohl die Bodenfeuchte abnimmt (*Abbildung 1*). Erst bei länger anhaltender Dürre ist die Verdunstung aufgrund des weiter zunehmenden Bodenwasserdefizits

¹ Institut für Erdwissenschaften, NAWI Graz Geozentrum, Universität Graz, Heinrichstraße 26, A-8010 GRAZ

* Ansprechpartner: Univ.-Prof. Dr. Steffen Birk, email: steffen.birk@uni-graz.at

Abbildung 1: Fortpflanzung von Niederschlagsdefiziten zu Anomalien in anderen Flüssen bzw. Speichern des Wasserkreislaufs (verändert nach Changnon, 1987).



schließlich wasserlimitiert und nimmt ab. Wie Orth und Destouni (2018) zeigen, ergibt sich selbst in trockeneren Regionen eine gegenüber dem Rückgang der Bodenfeuchte erhebliche Verzögerung in der Abnahme der Verdunstung, der „grüne“ Wasserfluss bleibt also in kurzen Dürren bzw. im ersten Stadium längerer Dürreperioden relativ unbeeinflusst.

Im Unterschied zur stark verzögerten Abnahme der Verdunstung, reagieren die „blauen“ Wasserflüsse rascher auf meteorologische Dürren (Orth und Destouni 2018). Dieses Verhalten zeigt sich beispielsweise in Auswirkungen der trockenen Witterung des Jahres 2018 auf die Sickerwassermengen an einem montanen Grünlandstandort (Forstner et al. 2021). Unter den energielimitierten Bedingungen am Standort Raumberg-Gumpenstein wurde ein deutlicher Rückgang der Sickerwassermengen in Lysimetern festgestellt, während die in der Vegetationsperiode 2018 ermittelte Verdunstung keinen nennenswerten Rückgang aufgrund der Trockenheit zeigte.

Die meteorologische Dürre hatte im obigen Beispiel also kaum Auswirkungen auf den „grünen“ Wasserfluss, führte jedoch über den Rückgang der Sickerwassermengen zu einer verminderten Grundwasserneubildung, die letztlich eine Abnahme von Grundwasserständen und damit auch einen verminderten Grundwasserabfluss zur Folge haben muss. Im Unterschied zum schnellen Ansprechen der Bodenfeuchte, zeigt das Grundwasser jedoch typischerweise ein verzögertes und gedämpftes Verhalten. Die höchsten Korrelationen zwischen Niederschlagshöhen und Grundwasserständen zeigen sich, wenn über mehrere Monate kumulierte Niederschläge betrachtet werden, und im Falle tiefer Grundwasservorkommen treten manchmal zeitliche Verschiebungen zwischen den Dürremaxima auf (Kumar et al. 2016, Haas und Birk 2017). Kurzzeitige Defizite im Niederschlag führen also nicht unmittelbar zu Grundwasserdürren. Daher nimmt die Anzahl der Dürren vom Niederschlag zum Grundwasser ab. Allerdings können die jeweils geringen Defizite aus zahlreichen meteorologischen Dürren zu wenigen, aber schwerwiegenderen Dürren im Grundwasserabfluss akkumulieren. Die Häufigkeitsverteilung verschiebt sich also von vielen kleinen Dürren in Niederschlag und Grundwasserneubildung zu wenigen, aber größeren Dürren im Grundwasserabfluss (Peters et al. 2005).

Während bei energielimitierter Verdunstung das aus meteorologischen Dürren resultierende Wasserdefizit zunächst vor allem die „blauen“ Wasserflüsse vermindert, kann unter wasserlimitierten Bedingungen auch die Verdunstung abnehmen. Das veranschaulichen Untersuchungen, bei denen Lysimeter aus einem Gebiet mit energielimitierter Verdunstung an einen tiefer gelegenen, niederschlagsärmeren und wärmeren Standort versetzt wurden (Forstner et al. 2021). Das Wasserdefizit im Jahr 2018 wurde am tiefer gelegenen, wasserlimitierten Standort vor allem durch eine verringerte Verdunstung, verbunden mit einer stärkeren Abnahme des Bodenwasserspeichers, kompensiert. Am höher gelegenen, energielimitierten Standort wurde dagegen ein Teil des Wasserdefizits durch eine Abnahme der Sickerwassermenge kompensiert und die Verdunstung war weniger stark vermindert. Ob die Verdunstung energie- oder wasserlimitiert ist bestimmt also wesentlich die Aufteilung des Wasserdefizits auf „grüne“ und „blaue“ Wasserflüsse. Aufgrund des Klimawandels wird eine zunehmende Verschiebung hin zu wasserlimitierten Bedingungen erwartet (Denissen et al. 2022). Sollte dies in derzeit noch energielimitierten Alpenregionen eintreten, wäre mit einer verstärkten Auswirkung von Dürren auf „grüne“ Wasserflüsse und damit verbunden auch verringerter Produktivität von Ökosystemen zu rechnen.

Danksagung

Diese Arbeit wurde durch das Forschungsprogramm Earth System Sciences der Österreichischen Akademie der Wissenschaften gefördert.

Literatur

- Changnon S.A. (1987) Detecting drought conditions in Illinois. Illinois State Water Survey, Champaign, Circular 169.
- Denissen J.M.C., Teuling A.J., Pitman A.J., Koirala S., Migliavacca M., Li W., Reichstein M., Winkler A.J., Zhan C., Orth R. (2022) Widespread shift from ecosystem energy to water limitation with climate change. *Nature Climate Change* 12 (7), 677-684.
- Falkenmark M., Rockström J. (2006) The new blue and green water paradigm: breaking new ground for water resources planning and management. *J. Water Resour. Plan. Manag.* 132, 129-132.
- Forstner V., Groh J., Vremec M., Herndl M., Vereecken H., Gerke H.H., Birk S., Pütz T. (2021) Response of water fluxes and biomass production to climate change in permanent grassland soil ecosystems. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 25 (12): 6087-6106.
- Haas J.C., Birk S. (2017) Characterizing the spatiotemporal variability of groundwater levels of alluvial aquifers in different settings using drought indices. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 21 (5), 2421-2448.
- Kumar R., Musuuza, J.L., Van Loon A.F., Teuling A.J., Barthel R., Ten Broek J., Mai J., Samaniego L., Attinger S. (2016) Multiscale evaluation of the Standardized Precipitation Index as a groundwater drought indicator. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 20 (3), 1117-1131.
- Orth R., Destouni G. (2018) Drought reduces blue-water fluxes more strongly than green-water fluxes in Europe. *Nature Communications* 9 (1), art. no. 3602.
- Peters E., Van Lanen H.A.J., Torfs P.J.J.F., Bier G. (2006) Drought in groundwater - Drought distribution and performance indicators. *J. Hydrol.* 306 (1-4), 302-317.

