

Stellungnahme: Grundwasser, Trinkwasser, Feldberegnung im LK Celle

Grundwasserstände in Niedersachsen seit 20 Jahren rückläufig

- **Entwicklung der Grundwasserstände in NDS bereits vor 2014 eher rückläufig**

Betrachtet man die Grundwasserpegel in Niedersachsen, liegen sie laut UBA seit 2003 bis 2017 konstant unter dem „Normallevel“ [1]. Die nachfolgenden Dürrejahre 2018, 2019 und 2020 haben die Situation mit Sicherheit noch mal verschlechtert, wozu es bezeichnender Weise noch keine offiziell verfügbaren Daten der zuständigen Landesbehörden und Ministerien gibt. Der angeblich „jährlich erneuerte“ Grundwasserstandbericht der NDS-Landesregierung stammt aus 2014. Er zeigt allerdings in einer Karte auf, dass bezogen auf 1984 bereits 2014 der Grundwasserstand in NDS überwiegend „fallend“ bis „stark fallend“ war [2].

- **Optimistische Projektion der Grundwasserneubildung in Niedersachsen bis 2050**

Modellrechnungen des LBEG aus dem Jahr 2019 sehen bis 2050 kein Problem mit der Grundwasserneubildung in Niedersachsen. Noch in 2020 wurde vom Umweltministerium NDS behauptet, dass derzeit die Grundwasser-Reserven nur zu 68% „ausgeschöpft“ werden (zitiert nach [1]). Allerdings verwenden diese Modellrechnungen völlig veraltete Grundwasserneubildungsdaten aus den Jahren, bevor der Klimawandel wirksam wurde, worauf übrigens im März 2022 eine TV-Dokumentation [4] hinwies. In Bayern und Rheinland-Pfalz wird übrigens von den dortigen Landesumweltämtern die Grundwasserneubildung und die Grundwasserstandentwicklung mit aktuellen realistischeren Daten „projiziert“, was zum Ergebnis führte: >> bleibende (!) Verminderung der Grundwasserneubildung (- 16 % bzw. - 25 %) und je nach Region bereits bestehender bzw. drohender Grundwassermangel << [13, 14].

- **Realistische Hydrogeologie zeigt extremen Grundwasserabbau in NDS**

Will man den tatsächlichen Stand des Grundwasserabbaus in NDS wissen, ist man allerdings nicht mehr auf die Hydrogeologen „alter Schule“ und ihre fiktiven Berechnungen angewiesen. Das Deutsche GeoForschungszentrum GFZ des Helmholtz-Zentrums Potsdam erforscht und misst in internationaler Zusammenarbeit (mit Global Institute for Water Security in Kanada GIWS, National Aeronautics and Space Administration NASA und Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt DLR) den realen Grundwasserstand aufgrund der Gravitationsmessungen von Satelliten. Das erschreckende Ergebnis: Fast alle Gebiete Deutschlands zeigen sehr starken Grundwasserabbau, besonders extrem ist er in der Lüneburger Heide, mit der weltweit höchsten Abbaurate [5, 6, 7].

Trotz tendenziell steigender Niederschlagsmenge sinkt die Grundwasserneubildung

- **Nur theoretisch ausreichende Niederschläge im LK Celle**

Norddeutschland und mithin auch der LK Celle liegt in einer Zone, die mit dem Klimawandel eher steigende Niederschläge erleben wird [15]. In den letzten 10 Jahren lagen die jährlichen Niederschlagsmengen im Landkreis Celle (Durchschnitt über den LK) zwischen ca. 250 mm/a und 650 mm/a [9]. Das würde bis auf ausgesprochene Trockenjahre theoretisch reichen, um bei gleichbleibendem Wasserverbrauch das Grundwasser wieder aufzufüllen. Doch das wird durch mehrere mit dem Klimawandel verbundene Effekte verhindert (s.u.).

- **Bereits vor 2010 Grundwasserzehrung in Teilgebieten des LK Celle**

Ausgehend von Durchschnittswerten 1981 bis 2010 gehen die Modellrechnungen des LBEG von einer durchschnittlichen Grundwasserneubildungsrate für Gesamtniedersachsen von ca. 140 mm/a aus [8]. Im Landkreis Celle lagen sie im Zeitraum 1981 bis 2010 je nach Ortslage in wenigen Gebieten bei bis zu ca. 400 mm/a. Doch bereits damals gab es größere Gebiete mit Grundwasserzehrung, d.h. keine Neubildung und nur noch Abbau [8]. So dass die Grundwasserneubildung (im Verhältnis zur Entnahme) auch im LK Celle nicht nur temporär in ausgesprochenen Trockenjahren, sondern auch langfristig absinkt.

- **Zunehmende Dürren auch im LK Celle**

Die Daten des Dürremonitors des Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung UFZ zeigen, dass der LK Celle in 2022 aber auch in 2018, 2019 und 2020 besonders betroffen war bzw. ist. [16]. Doch was an Niederschlägen fehlt, bremst nicht nur in den Oberschichten des Erdbodens in 0,25 m, 1,20 bzw. 1,80 m Tiefe das Pflanzenwachstum, sondern es kommt selbst bei ergiebigem Regen kein Sickerwasser mehr im Grundwasser an.

- **Alles Grundwasser stammt letztlich aus versickerten Niederschlägen**

Die Grundwasserneubildung hängt ausschließlich davon ab, wie viel Niederschlagswasser von oben durchsickert, bis es auf eine erste schwer wasserdurchlässige Schicht stößt, auf der es sich ansammelt und einen ersten „Grundwasserhorizont“ bildet. Evtl. gibt es auch noch tiefere Grundwasserhorizonte, die aus weiterer Versickerung aus der ersten Grundwasserschicht gespeist werden. Aber es gibt auch horizontale Grundwasserströme, die den lokalen Grundwasserstand jeden Horizonts durch Nachströmen aus Sickerwasser in weiter entfernten Flächen auffüllen können. Kurzum: Alles nachhaltig nutzbare Grundwasser stammt letztlich aus versickerten Niederschlägen.

- **Auch Grundwasserströme sorgen nicht unbegrenzt für Nachschub**

In vielen Gutachten wird rein rechenstechnisch von nie versiegenden Grundwasserströmungen ausgegangen. D.h.: Wird an bestimmten Stellen durch Brunnen Grundwasser für Trinkwasser, Industrie, Gewerbe oder Landwirtschaft entnommen, strömt aus der Umgebung mit einer gewissen Geschwindigkeit im sog. Grundwasserleiter (Aquifer) Wasser nach. Aufgrund dieses Nachfließverhaltens wird die Förderrate [m^3/s] bestimmt, mit der diese Entnahme betrieben werden kann. Doch diese hydrogeologischen Berechnungen stimmen nur, solange genug Niederschlagswasser von oben in den Aquifer durchsickert. Wird das nicht beachtet, wird irgendwann das für den Brunnen verfügbare Wasser komplett verbraucht sein. So blamierte sich im TV-Bericht „Bis zum letzten Tropfen“ [4] selbst ein Hydrogeologie Professor, der verkündete, es sei genug Grundwasser vorhanden, da bei seinen Pumpversuchen bei Lüneburg mehr als genug Grundwasser nachgeflossen sei. [17, 18, 19]

Warum sinkt die Grundwasserneubildung?

Das hat mehrere Gründe:

- **Die ungleichmäßige Verteilung der Niederschlagsmengen**

Sowohl jahreszeitlich als auch mengenmäßig fallen in Folge des Klimawandels die Niederschläge in fast allen Jahren extrem ungleichmäßig. D.h. trockene Winter, länger andauernde Hitzeperioden im Sommer ohne Niederschläge oder mit nur gelegentlichen, schwachen Niederschlägen und kurze Starkregenereignisse treten immer häufiger auf. Dies ist durch die geänderten Jet-Ströme (Hochwindbänder) unmittelbare Folge des Klimawandels und wird voraussichtlich zumindest auf Jahrzehnte so bleiben [12].

- **Die sinkende Aufnahmefähigkeit der ausgetrockneten Böden**

Durch die Dürreperioden trocknet der Boden so aus, dass seine Aufnahmefähigkeit sinkt und die Masse des Wassers oberflächlich abläuft, weshalb nur wenig oder gar nichts ins Grundwasser versickert. Oder der Regen ist so stark, dass die obersten 25 cm des Bodens, sehr schnell so stark gesättigt sind, dass er nichts mehr aufnimmt und das Wasser ebenfalls oberflächlich abläuft. Zum Beispiel haben in Niedersachsen die relativ starken Niederschläge im Februar 2022 laut Pressemeldungen zwar zum Auffüllen der Oberflächenspeicherung (z.B. der Talsperren im Harz) gereicht, aber für eine Bodendurchfeuchtung reichte es nur bis maximal 1,20 m Tiefe. Im Landesdurchschnitt kam es deshalb trotz der Regenperiode zu keiner deutlichen Grundwasserauffüllung.

- **Erhöhte Wasserverdunstung**

Die FAO-Gras-Referenzverdunstung* lag in NDS Zeitraum 1971–2000 bei etwa 561 mm/a (* potenzielle Verdunstung auf einer zwölf Zentimeter hohen Grasdecke). Allerdings ist diese Verdunstungsrate je nach Art der Fläche und dem Bewuchs (Wälder, Art der Feldfrüchte, Bodenart usw.) entsprechend geringer. Trotzdem wird klar, dass mit zunehmenden Hitzeperioden, zumal wenn der Regen auf stark erwärmte Oberflächen trifft, die Verdunstung enorm zunimmt und dadurch wesentlich weniger Wasser zur Grundwasserneubildung beiträgt. Zusätzlich wird die Verdunstung noch durch die Windeinwirkung verstärkt, weshalb ein großflächiger Ackerbau ohne Waldschutzstreifen und durchgehende Feldhecken die schnelle Austrocknung noch begünstigt. Die Prognosen des *Klimareport NDS* (aus 2018) sagen eine Zunahme der Verdunstung für die nächsten Jahrzehnte voraus, optimistischer Weise jedoch nur um 7% [20]. Denn die Erfahrungen, Daten und Fakten der eigentlichen Klimawandel-Dürrejahre sind noch gar nicht Bestandteil dieser Prognose.

- **Grundwasser-Neubildung ist ein (extrem) langsamer Prozess**

Prinzipiell hängt die Geschwindigkeit, mit der das Niederschlagswasser – falls es vom Oberboden überhaupt aufgenommen wird – ins Grundwasser versickert von der Bodenzusammensetzung ab. Bei überwiegend grobkörnigem sandig-kiesigem Boden ist das Wasser bereits nach ca. einem Tag in 15 m Tiefe angelangt. Für dichtere, z.B. Lehm- und tonhaltige Böden kann das pro Meter ein Jahr dauern. So rechnet man z.B. in Lüneburg, das sein Trinkwasser aus einem 96 m tiefen Grundwasserhorizont fördert, damit, dass das Niederschlagswasser mit ca. 1m/Jahr nachsickert, also ca. 100 Jahre braucht, um zur Neubildung beizutragen. [21, 22]

Die aktuelle Situation im Landkreis Celle

- **Noch genügend Wasser im unteren Grundwasserhorizont**

Das Trinkwasser für die Stadt Celle wird bei Garßen aus einer ca. 60 m tief liegenden Grundwasserschicht gefördert, was dort dem unteren Grundwasserhorizont entspricht. In dieser Schicht scheint derzeit noch reichlich Wasser zur Verfügung zu stehen [23]. Doch auch das kann sich angesichts der abnehmenden Grundwasserneubildung in den kommenden Jahrzehnten ändern.

- **Eklatanter Wassermangel in der oberen Grundwasserschicht**

In dem oberen Grundwasserhorizont, der in den meisten Gebieten des LK bei ca. 4 m bis 12 m Tiefe liegt, ist die Lage seit den Dürrejahre bleibend katastrophal. Fast alle amtlichen Kontrollbrunnen melden trotz des relativ nassen Vorjahres und Winters im Mai 2022 einen „sehr niedrigen“ oder „extrem niedrigen“ Wasserstand, ja viele Kontrollbrunnen melden gar nichts mehr [24]. Ein Waldbesitzer aus dem LK teilte mir persönlich mit, dass ihm jetzt auch große, alte tiefwurzelnde Bäume absterben, da sie in 4,50 m Tiefe kein Grundwasser mehr fänden. Es ist offensichtlich: Angesichts der abnehmenden Grundwasserneubildung wurde und wird in weiten Gebieten des LK offenbar zu viel Grundwasser entnommen, wobei die Feldberegnung sicher eine wesentliche Rolle spielt.

Was müsste getan werden

- **Einschränkung statt Ausweitung der Grundwasserentnahme**

Als tendenziell von der Grundwasserknappheit bedrohter LK sollte mit dem Verbrauch auch im Trinkwasserbereich sehr sorgfältig und sparsam umgegangen werden. Eine Neuansiedlung von Industrie oder Gewerbe mit hohem Wasserverbrauch ist abzulehnen. Speziell im Bereich Landwirtschaft würde jede Ausweitung der Grundwasserentnahme den Landwirten vielleicht kurzfristig Entlastung bringen, aber mittel- und langfristig würden sie sich selbst das „Wasser abgraben“.

- **Umstellung der Landwirtschaft bei der Bewässerung**

Die Landwirtschaft auch im LK Celle setzt angesichts zunehmender Dürren immer noch vor allem auf zusätzliche Beregnung. Dabei wird suggeriert, dass moderne Großflächen-Beregnungsanlagen in Linear- oder Kreistechnik Wasser sparerer seien als die herkömmlichen Oberflächenberegnungsanlagen. In 2020 wurden Neuanschaffungen auch vom Landwirtschaftsministerium NDS subventioniert [27], obwohl die Vorteile dieser moderneren Anlagen laut Fachliteratur [z.B. Thünen] vor allem beim Energieverbrauch und beim Arbeitsaufwand und nicht bei einer Wasserersparnis liegen [26]. Wirkliche Wasserersparnisse von bis zu 70% würden nur Mikrobewässerungssysteme (Tröpfchen- bzw. Punktbewässerung) oder Unterflurbewässerung (Tropfrohre im Wurzelbereich der Pflanzen verlegt) bringen. Das bedeutet i.d.R. mehr Aufwand und ist nicht für alle Kulturen gleich gut geeignet. [26, 28, 30; 34]

- **Umstellung der Landwirtschaft bei den Feldfrüchten**

Das heißt über Bewässerung- und Bewässerungstechniken allein lässt sich das Dürreproblem nicht lösen! Man braucht u.a. andere Fruchtfolgen, Mischkulturen, Untersaaten, Mulchsaat, Direktsaat und Bodenbedeckung im Winter. Letztlich wird auch in vielen Fällen die Umstellung auf völlig andere Feldfrüchte nicht zu umgehen sein [29, 31]. Speziell muss die im LK Celle in den letzten 20 Jahren stark ausgeweitete Anbaufläche (i.d.R. für beregnungsintensiven Biogas-Mais) mittelfristig wieder reduziert werden.

- **Umbau Richtung Agroforst-Systeme**

Große offene Anbauflächen mit fehlenden kleinräumigen Strukturen (Hecken, Grünstreifen, Baumreihen etc.), ursprünglich meist Folge sog. Flurbereinigungen begünstigen, nicht nur das Auftreten von Bodenerosion durch Wind. Auf jeden Fall wird auch das Austrocknen der Flächen bei Hitze und Dürre beschleunigt [35, 36]. Eine Alternative wären dazu sog. Agroforst-Systeme. Dazu werden Bäume und Sträucher zumeist streifenförmig angepflanzt. Zwischen diesen Gehölzstreifen liegen Flächen mit landwirtschaftlich bzw. gärtnerischen Kulturen und/oder Weideflächen. Das am Standort herrschende Mikroklima ändert sich positiv, da die Bäume und Hecken sowohl vor Wind schützen als auch Schatten spenden. Das führt zu weniger Erosion und Austrocknung des Bodens und der Unterkultur. [32, 33]

- **Aufbau von Wasserrückhaltesystemen,**

Hier ist das bereits im LK Celle laufende Projekt *"Wasserrückhalte- und Grabenmanagement"* ein erster guter Ansatz [25]. Allerdings wurden die meisten Grabensysteme im LK seinerzeit dazu angelegt, um auf den Feldern nach stärkerem Regen stehendes Wasser abzuleiten. Denn die Versickerung erfolgt auf den Ackerflächen in vielen Gebieten des LK relativ langsam, da nach der relativ schnell durchnässten Oberschicht des Ackerbodens meist schlecht wasserdurchlässige Schichten folgen, was dieses „Drainage-Gräben“ nötig machte. Auch wenn das Wasser durch Rückstau in den Gräben stehen bleibt, scheint das Problem mit Versickerung dasselbe zu bleiben. Der Augenschein zeigt: Das Wasser verdunstet schneller, als es durch die Grabenböden versickert. Es sind wohl zusätzliche die Versickerung beschleunigende Maßnahmen nötig (s.u.).

- **Einrichtung von Sickerteichen oder Sickerbrunnen**

Vielleicht ist zusätzlich die Anlegung von Versickerungsteichen für Drainerauslaufwasser sinnvoll, wie es z.B. in Kettelstorf erprobt wird [34]. Schon vor drei Jahren kam aus Kreisen der Landwirtschaft die Anregung, in dem Grabensystemen des LK Celle Sickerbrunnen anzulegen. Das ist prinzipiell richtig, doch es wird das Problem bestehen, dass evtl. von den Ackerflächen „abgespülter“ Stickstoff oder Pestizide direkt ins Grundwasser gelangen.

- **Nutzung von geklärtem Abwasser zur Feldberegnung**

Erwägenswert wäre auch die Versickerung von gereinigtem Abwasser (Klarwasser) in den zur Feldberegnung genutzten Grundwasserkörper, wie das z.B. in Bankewitz erprobt wird [34].

Quellen:

- [1] Niedrigwasser, Dürre und Grundwasserneubildung – Bestandsaufnahme zur gegenwärtigen Situation in Deutschland, den Klimaprojektionen und den existierenden Maßnahmen und Strategien; (2021); Umweltbundesamt UBA; https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2022-01-17_texte_174-2021_niedrigwasser_duerre_und_grundwasserneubildung.pdf
- [2] Landesweite Grundwasserstandsentwicklung; Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz; https://www.umwelt.niedersachsen.de/startseite/themen/wasser/grundwasser/grundwasserbericht_niedersachsen/grundwassermenge/landesweite_grundwasserstandsentwicklung/landesweite-grundwasserstandsentwicklung-105752.html
- [3] Mittlere Grundwasserneubildung im Sommerhalbjahr der Jahre 2021-2050, Projektion; (2019) Landesamt für Bergbau Energie und Geologie (LBEG); <https://numis.niedersachsen.de/trefferanzeige;jsessionid=50A800481510BEEE1E79E808AD7B8386?docuuid=f6170bd5-e36f-4127-91d0-89f3167f9796>
- [4] Bis zum letzten Tropfen; ARD 16.03.2022; <https://www.ardmediathek.de/video/bis-zum-letzten-tropfen/bis-zum-letzten-tropfen-die-doku/das-erste/Y3JpZDovL2Rhc2Vyc3RILmRIL2Jpcy16dW0tbGV0enRlbi10cm9wZmVuLzNjMDIxMGExLWVlYTAtNDNjMCO5NDhLTFhNzE3ZDY5NTUyMg>
- [5] Hydrologen warnen: Deutschland trocknet aus; (23. März 2022); National Geographic; <https://www.nationalgeographic.de/umwelt/2022/03/hydrologen-warnen-deutschland-trocknet-aus>
- [6] Mit GRACE und GRACE-FO das Grundwasser weltweit bestimmen; Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ; <https://www.gfz-potsdam.de/presse/meldungen/detailansicht/bericht-mit-grace-und-grace-fo-das-grundwasser-weltweit-bestimmen>
- [7] GRACE-Follow On liefert Daten für eine neue Weltkarte der Dürre; (2020); Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ; <https://www.gfz-potsdam.de/presse/meldungen/detailansicht/grace-follow-on-liefert-daten-fuer-eine-neue-weltkarte-der-duerre>
- [8]; Grundwasserneubildung von Niedersachsen und Bremen – Berechnungen mit dem Wasserhaushaltsmodell mGROWA18; in GeoBerichte 36; (2019); Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie LBEG; https://www.lbeg.niedersachsen.de/karten_daten_publicationen/publikationen/geoberichte/geoberichte-36-177263.html
- [9] Niederschlagssummen Celle mit Archiv ab dem Jahr 2005; kachelmannwetter; <https://kachelmannwetter.com/de/regensummen/celle/niederschlagssumme-jahr/20190819-0850z.html>
- [10]; Jährliche Dürrestärken in Deutschland seit 2014; Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ; <https://www.ufz.de/index.php?de=37937>
- [11]; Hydrogeologische Räume und Teilräume in Niedersachsen; (2016); in Geobericht 3; Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie LBEG; https://dx.doi.org/10.48476/geober_3_2016
- [12] Mehr Hitzewellen in Westeuropa wegen Veränderungen des Jetstreams; (2022); Potsdam Institute for Climate Impact Research PIK; <https://www.pik-potsdam.de/de/aktuelles/nachrichten/mehr-hitzewellen-in-westeuropa-wegen-veraenderungen-des-jetstreams>
- [13] Klimawandel in Bayern: Auswirkungen auf das Grundwasser; (2018); Bayerisches Landesamt für Umweltschutz; https://www.regierung.oberpfalz.bayern.de/mam/allgemein/aktiongrundwasserschutzveranstaltungen/2018_10_25_3_neumann_lfu_klimawandel_und_grundwasser.pdf
- [14] Auswirkungen des Klimawandels auf das Grundwasser und die Wasserversorgung in Süddeutschland; March 2021 in Grundwasser 26(8); DOI:10.1007/s00767-021-00477-z ;
- [15] Klimawirkungsstudie Niedersachsen; (2019); Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz; Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie; Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz; http://www.lbeg.niedersachsen.de/download/143866/Klimawirkungsstudie_Niedersachsen.pdf
- [16] Dürremonitor Deutschland; Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH UFZ; <https://www.ufz.de/index.php?de=37937>
- [17] Bendel, L. (1944). Grundwasserströmung. In: Ingenieurgeologie. Springer, Vienna. https://doi.org/10.1007/978-3-7091-5844-9_22;
- [18] Andreas Ogroske; Hydrogeologie und Modellierung; [2019], HGN Beratungsgesellschaft mbH; <https://www.lbeg.niedersachsen.de/download/151338>;
- Dr. Michael Huber, Beirat im Ausschuss für Mobilität, Gebäudewirtschaft und Klimaschutz; 08.2022
Stellungnahme Grundwasser Trinkwasser Feldberechnung im LK Celle

- [19]; Peter Hanstein Auswertung von Pumpversuchen; GeoNEt GmbH;
<https://www.grundwasser.net/pumpversuche/einfuehrung.html>
- [20]; Klimareport Niedersachsen; (2018); Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz; <http://www.umwelt.niedersachsen.de/download/132060> ;
- [21] So durstig ist Lüneburg; (30.01.2017); Landeszeitung.de;
<https://www.landzeitung.de/lueneburg/40174-grundwasser/>
- [22] Planung von Versickerungsanlagen; Stadt Burgwedel;
<https://www.burgwedel.de/portal/seiten/planung-von-versickerungsanlagen-906000221-20520.html>
- [23] Stadtrat Celle Beschlussvorlage Nr. BV/0109/22 – Neufestsetzung des Wasserschutzgebietes Garßen; (06.2022);
- [24] Umweltkarten Niedersachsen – Grundwasserstandsmessstellen; Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz;
https://www.umweltkarten-niedersachsen.de/Umweltkarten/?topic=Hydrologie&lang=de&bgLayer=TopographieGrau&layers=Grundwasserstandsmessstellen&layers_opacity=0.15&E=554000.00&N=5842000.00&zoom=5
- [25] Kreistag Celle Vorlage 0042/2022 – Klimawandelprojekt "Wasserrückhalte- und Grabenmanagement"; (03.2022);
- [26] Bewässerung in der Landwirtschaft Tagungsband zur Fachtagung; (2017); Thünen Working Paper 85;
https://www.openagrar.de/servlets/MCRFileNodeServlet/openagrar_derivate_00009786/dn059620.pdf
- [27] Zuschüsse für Beregnungsanlagen; (22.05.2020); Land & Forst;
<https://www.landundforst.de/landwirtschaft/betrieb/zuschuesse-fuer-beregnungsanlagen-562123>
- [28] Technik der Freilandbewässerung; (2014); Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft;
<https://www.ktbl.de/themen/freilandbewaesserung>;
- [29] Kann Hirse den Körnermais ersetzen; (31.08.2021); agrarheute;
<https://www.agrarheute.com/tier/rind/hirse-koernermais-ersetzen-584777>
- [30] Effiziente Bewässerungstechnik – Stand und Trends; Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE);
<https://www.praxis-agrar.de/pflanze/bewaesserung/effiziente-bewaesserungstechnik> ;
- [31] S.-W. Breckle, M. Küppers; Nutzpflanzen für aride und semiaride Gebiete; (2011); aus Warnsignal Klima: Genug Wasser für alle ; https://www.climate-service-center.de/imperia/md/content/csc/warnsignalklima/warnsignal_klima_kap4_4.10_brecklekuipers.pdf
- [32] Agroforstsysteme; Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen (LLH);
<https://llh.hessen.de/umwelt/biorohstoffnutzung/agroforstsysteme/>
- [33] Vorteile von Agroforst als Element der regenerativen Landwirtschaft; (09.2021); Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), Projektgruppe Ökolandbau; <https://www.oekolandbau.de/landwirtschaft/pflanze/grundlagen-pflanzenbau/regenerative-landwirtschaft/agroforstsysteme/>
- [34] Wassersparende Beregnung – Pilotprojekte zur Wasserbereitstellung; (06.2018); Dokumentation zur Exkursion des Projekts Netzwerke Wasser; LBEG und Landwirtschaftskammer NDS; <https://docplayer.org/105705115-Wassersparende-beregnung-pilotprojekte-zur-wasserbereitstellung.html>