

## Grundwasser und Grundwasserneubildung

Eine wesentliche Aufgabe im Projekt KliWES stellte die Berechnung der Grundwasserneubildung GWN dar.

Um den Begriff der „Grundwasserneubildung“ zu definieren, muss vorab geklärt werden, was unter „Grundwasser“ zu verstehen ist. Die DIN 4049 definiert das Grundwasser als „...unterirdisches Wasser, das die Hohlräume der Erdrinde zusammenhängend ausfüllt und dessen Bewegung ausschließlich oder nahezu ausschließlich von der Schwerkraft und den durch die Bewegung selbst ausgelösten Reibungskräften bestimmt wird“. Grundwasser ist i. d. R. dauerhaft vorhanden. Die Neigung der Grundwasseroberfläche bedingt durch Differenzen in der Grundwasserstandshöhe erzeugt ein hydraulisches Potential. Dadurch fließt das Grundwasser in den Hohlräumen des Gebietsuntergrundes. Grundwasser kann infolgedessen punktuell oder diffus an der Geländeoberfläche austreten (Quellen) oder unmittelbar in Oberflächengewässer hineinströmen. In diesen Fällen entsteht Grundwasserabfluss. Im deutschen Wasserrecht beschreibt das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) Grundwasser als „...das unterirdische Wasser in der Sättigungszone, das in unmittelbarer Berührung mit dem Boden oder dem Untergrund steht“. Danach muss als Sonderform auch das Stauwasser zum Grundwasser gerechnet werden. Stauwasser (WIKI Stau 2014) wird an sich nur in der Bodenkunde verwendet. Es entsteht, wenn die vertikale Versickerung durch gering wasser-durchlässige Schichten z.B. aus Schluff oder Ton bereits im Boden behindert wird. Stauwasser bildet sich primär nach länger anhaltenden Niederschlägen oder infolge der Schneeschmelze in Zeiträumen mit geringer Evapotranspiration (Winterhalbjahr). In sommerlichen Trockenperioden mit gleichzeitig hohem Pflanzenwasserbedarf und einer Lage der stauenden Schicht kleiner als ca. 130cm unter Geländeoberkante verschwindet Stauwasser im Gegensatz zum permanent vorhandenen Grundwasser in tieferen Schichten meist. Liegt die Stausohle tiefer, wird das Wasser ggf. nicht mehr komplett durch die Vegetation gezehrt und ist dann ständig vorhandenes Grundwasser. Als Schichtenwasser wird der Abfluss des Stauwassers aus dem meist oberflächennahen, vom Hauptgrundwasserleiter unabhängigen Grundwasserkörper bezeichnet. Nicht zum Grundwasser gehören:

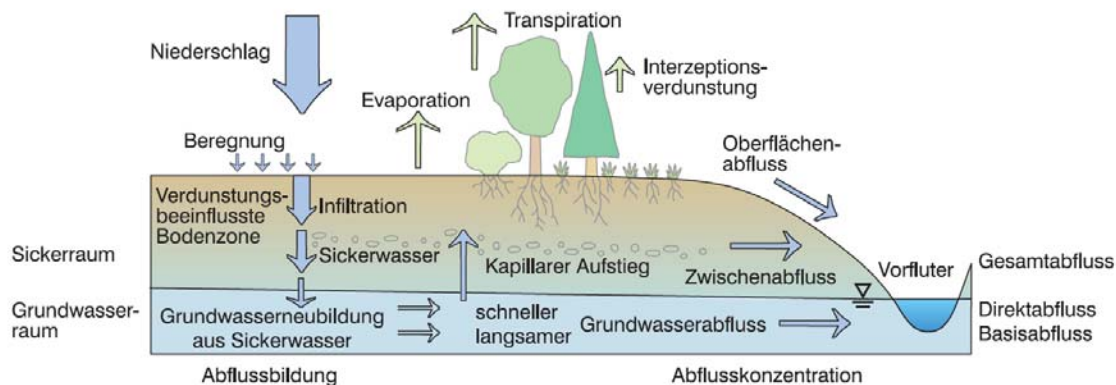
- durch Oberflächenspannung und Kapillareffekte gebundenes unterirdisches Wasser in der ungesättigten Bodenzone (Bodenfeuchte, Haftwasser) und
- Sickerwasser in der ungesättigten Bodenzone.

Grundwasser wird in Hohlräume der Erdrinde gespeichert bzw. bewegt sich in diesen. Diese werden nach der geologischen Beschaffenheit des Untergrunds unterteilt in:

- Poren (Lockergestein wie z. B. Sand, Kies, Schluff und Sedimentgesteine z.B. Sandstein),
- Klüfte (Festgesteine, wie z. B. Granit, Gneis, Basalt) oder
- durch Lösungsprozesse entstandene Hohlräume (Karst z. B. Kalkstein, Salzgestein).

Die jeweils zugehörigen Grundwässer werden unterschieden in Porengrundwasser, Kluftgrundwasser und Karstgrundwasser. Mischformen sind möglich, wie z.B. Kluft-/ Porengrundwasser in porösen Festgesteinen (z. B. bestimmte Sandsteine).

Die Grundwasserneubildung GWN wird gemäß DIN 4049-3 (1994) als "Zugang von infiltriertem Wasser zum Grundwasser" definiert. Wasser, welches aus Oberflächengewässern versickert, stellt ggf. eine weitere Quelle für die GWN dar. Gemäß HAD (2003) „...ist die Grundwasserneubildung der Wasserüberschuss, der vom korrigierten Niederschlag nach Abzug der verdunstenden und schnell abfließenden Anteile übrig bleibt. Im langjährigen Mittel entspricht dieser Rest dem aus dem Grundwasserspeicher stammenden Basisabfluss (grundwasserbürtiger Abfluss im Oberflächengewässer). Die Abbildung 1 zeigt die wesentlichen beteiligten Prozesse.



**Abbildung 1:** Wesentliche an der Grundwasserneubildung beteiligte Prozesse (Quelle HAD, 2003)

Die Grundwasserneubildung aus Niederschlägen wird primär von folgenden Faktoren bestimmt:

- Klima (Menge und Verteilung des Niederschlags, Jahresgang der Evapotranspiration, Schneeschmelze),
- Boden (Infiltrationsvermögen, Wasserleitfähigkeit, Nutzbare Feldkapazität, Wassergehalt),
- Grundwasserflurabstand (kapillarer Aufstieg, Zehrung),
- Nutzungsart (Wald, Grünland, Acker etc.) und Nutzungsform (Nutzungsdichte, Ausprägungen wie Alter oder Höhe der Vegetation),
- Versiegelungsgrad.

Nach dieser Einleitung stellt sich die Frage, wie die GWN unter Verwendung der Ergebnisse aus KliWES konkret zu ermitteln ist. Die Prozesse im Sickerraum nach Abbildung 1 berechnet das Bodenwasserhaushaltsmodell von ArcEGMO. Bezüglich der Festlegung der GWN ist die berechnete Versickerung aus der Bodenzone (Perkolations) die relevante Modellausgabe. Diese muss reduziert werden um den kapillaren Aufstieg, durch den Wasser aus dem Grundwasserraum zurück in den Bereich der Bodenfeuchte gelangt. Als Saldo ergibt sich für eine Berechnungsfläche (Hydrotop) zunächst eine  $GWN = \text{Versickerung} - \text{kapillarer Aufstieg}$ , welche den Grundwasserabfluss speist. Beim Übergang von der einzelnen Berechnungsfläche zum Einzugsgebiet muss mit der Zehrung ein weiterer Prozess berücksichtigt werden. Zehrung tritt auf Flächen mit oberflächennahem Grundwasser auf. Ist das Grundwasser so nahe der Oberfläche, dass in Abhängigkeit von den anstehenden Böden der kapillare Aufstieg bis in den Wurzelraum der Pflanzen reicht, speist der Kapillaraufstieg aus dem Grundwasser zusätzlich zum pflanzenverfügbaren Wasser in der Bodenzone unmittelbar die

Pflanzenverdunstung. Auf grundwassernahen Berechnungsflächen erreicht die reale Verdunstung dadurch Werte, die nahe bis gleich der potentiellen Verdunstung sind. In ArcEGMO wird dieses Phänomen so umgesetzt, dass auf grundwassernahen Berechnungsflächen zu jedem Zeitpunkt potentielle Verdunstung angenommen wird. Das dafür notwendige Wasser entstammt dem Bodenwasser und der Zehrung aus dem Grundwasser. Das bedeutet, dass auf grundwassernahen Flächen das Saldo aus Versickerung und kapillaren Aufstieg / Zehrung u. U. kleiner als Null ist. Diese „negative Grundwasserneubildung“ wird ausgeglichen, indem der Grundwasserabfluss aus grundwasserfernen Flächen beim Passieren grundwassernahen Flächen gezehrt wird, bis der negative Saldo ausgeglichen ist. In der Betrachtungsebene Einzugsgebiet errechnet sich die GWN für das Gesamtgebiet aus der Summe der Versickerung minus den kapillaren Aufstieg über alle Berechnungsflächen minus der Summe der direkten Verdunstungszehrung aus dem Grundwasser auf allen grundwassernahen Berechnungsflächen. Diese Grundwasserneubildung speist den Grundwasserabfluss RG aus dem betrachteten Einzugsgebiet. Wie Abbildung 1 zeigt, wird der Grundwasserabfluss in verschiedene Abflusskomponenten zerlegt. Die Ursachen für die Entstehung von Abflusskomponenten liegen in der Heterogenität des unterirdischen Abflussraumes. So herrschen in der Zersatzzone des Festgesteins andere geohydraulische Verhältnisse als in den Klüften und Poren des Gesteins. Beim Übergang vom Boden zum Festgestein ist häufig mit Stauwasser zu rechnen. Eine vertikale Abfolge von Grundwasserleitern und Grundwasser-nichtleitern hat i. d. R. die Ausbildung von mehreren übereinander liegende Grundwasserstockwerken (Horizonte) zu Folge. Diese nur beispielhaft genannten Phänomene führen im Grundwasserraum dazu, dass die GWN auf unterschiedlich schnell abfließende Grundwasserabflussanteile aufgeteilt werden muss. Zu Berechnung des Abflusses und seiner Anteile kommen mathematische Grundwassermodelle zum Einsatz. Dazu werden physikalisch begründete analytische oder numerische Grundwasserströmungsmodelle oder konzeptionelle Grundwasserabflussmodelle genutzt. Die sachsenweite Anwendung von Strömungsmodellen war wegen des hohen Aufwandes und der notwendigen Daten und Informationen nicht umsetzbar. Im Projekt KliWES wurde deshalb, wie auch allgemein üblich bei großräumigen Wasserhaushaltsuntersuchungen, ein Grundwasserabflussmodell genutzt. Das Modell SLOWCOMP wurde im Rahmen der Untersuchungen in der Säule A von KliWES entwickelt und parametrisiert. Es ist direkt in das Wasserhaushaltsmodell ArcEGMO für die Berechnung der unterirdischen Abflusskomponenten implementiert. SLOWCOMP wurde ausgehend von einer sehr großen Zahl von Abfluss- und Niedrigwasseranalysen erstellt. Es unterteilt den aus der Grundwasserneubildung entstehenden Grundwasserabfluss RG in eine langsame Komponente RG2 und eine schneller abfließende Komponente RG1. Beide entstammen gemäß den genannten Definitionen dem Grundwasser, so dass gilt:

$$\text{GWN} = \text{RG1} + \text{RG2}$$

RG1 umfasst im Festgesteinsbereich primär Stauwasser, Schichtenwasser, Abfluss aus sehr gut und schnell drainablen Störungs- und Zersatzzonen, Karstabfluss etc. Typisch für RG1 ist das häufige und regelmäßige weitgehende Versiegen dieser Komponente in sommerlichen Trockenperioden. RG2 ist dagegen eine Komponente, die in Trockenwetterabflusszeiten oftmals als einzige verbliebene Komponente noch zum Abfluss im Oberflächengewässer führt. RG2 entstammt im Wesentlichen dem Kluft- und/oder Porenraum und ist durch dessen Speichervermögen und geohydraulische Eigenschaften in Menge und Abflussverhalten ge-

prägt. Hinsichtlich einer Bewirtschaftung verkörpert RG2 ein stabiles grundwasserbürtiges Dargebot.

Für den Lockergesteinsbereich kann gezeigt werden, dass RG1 und RG2 einem gemeinsamen Grundwasserherkunftsraum entstammen. Neben diesen für den Grundwasserabfluss aus dem für das Gebiet maßgeblichen Hauptgrundwasserleiter sind auch im Lockergesteinsbereich insbesondere in der Komponente RG1 (zeitweilig) Anteile von Abflüssen aus Stau- und Schichtenwasser möglich. RG1 versiegt im Lockergesteinsbereich deutlich seltener und kürzer als im Festgesteinsbereich.

Für die Festlegung der nutzbaren Menge an Grundwasser ist somit nicht nur die Grundwasserneubildung, sondern vor allem das stabil verfügbare und ggf. bewirtschaftungsfähige Grundwasserdargebot entscheidend.

So existieren in Sachsen viele Bereiche insbesondere in den Mittelgebirgen mit hohen klimatisch bedingten Grundwasserneubildungsraten. Häufig liegt aber nur ein geringes Speichervermögen im Kristallin des Untergrunds vor, welches einerseits zu relativ hohen grundwasserbürtigen Abflüssen in den Neubildungsperioden führt und andererseits sehr schnelle Rückgänge des Grundwasserabflusses in Trockenzeiten verursacht.

Das Grundwasserdargebot kann daher nicht zwangsläufig mit der Grundwasserneubildung gleichgesetzt werden.

Das Wasserhaushaltsportal Sachsen gibt sowohl in der Säule A (DIFGA - Ergebnisse) als auch in der Säule B (Ergebnisse verschiedener mittels ArcEGMO berechneter Wasserhaushaltsszenarien) anstatt der Grundwasserneubildung GWN die Abflusskomponenten RG1 und RG2 sowie die Summe aus beiden Größen aus.

Auch wenn unter Beachtung der genannten Definitionen für Grundwasser und Grundwasserneubildung sachsenweit an sich  $GWN = RG1 + RG2$  gilt, sollte je nach Beschaffenheit des geologischen Untergrundes die Grundwasserneubildung für wasserwirtschaftliche Fragestellungen regional unterschiedlich bestimmt werden.

Im Allgemeinen sollte im Festgesteinsbereich für die Grundwasserneubildung nur die langsame Grundwasserkomponente RG2 verwendet werden. Der Grund ist, dass die Komponente RG1 nur temporär verfügbar ist, sehr starken Schwankungen unterliegt und in den Sommermonaten nur episodisch auftritt bzw. häufig komplett versiegt.

Für den Lockergesteinsbereich wird unter der Grundwasserneubildung die Summe aus der schnellen und der langsamen Grundwasserkomponente RG1+RG2 verstanden, da sie in Porengrundwasserleitern überwiegend einem Herkunftsraum / Aquifer entstammen.

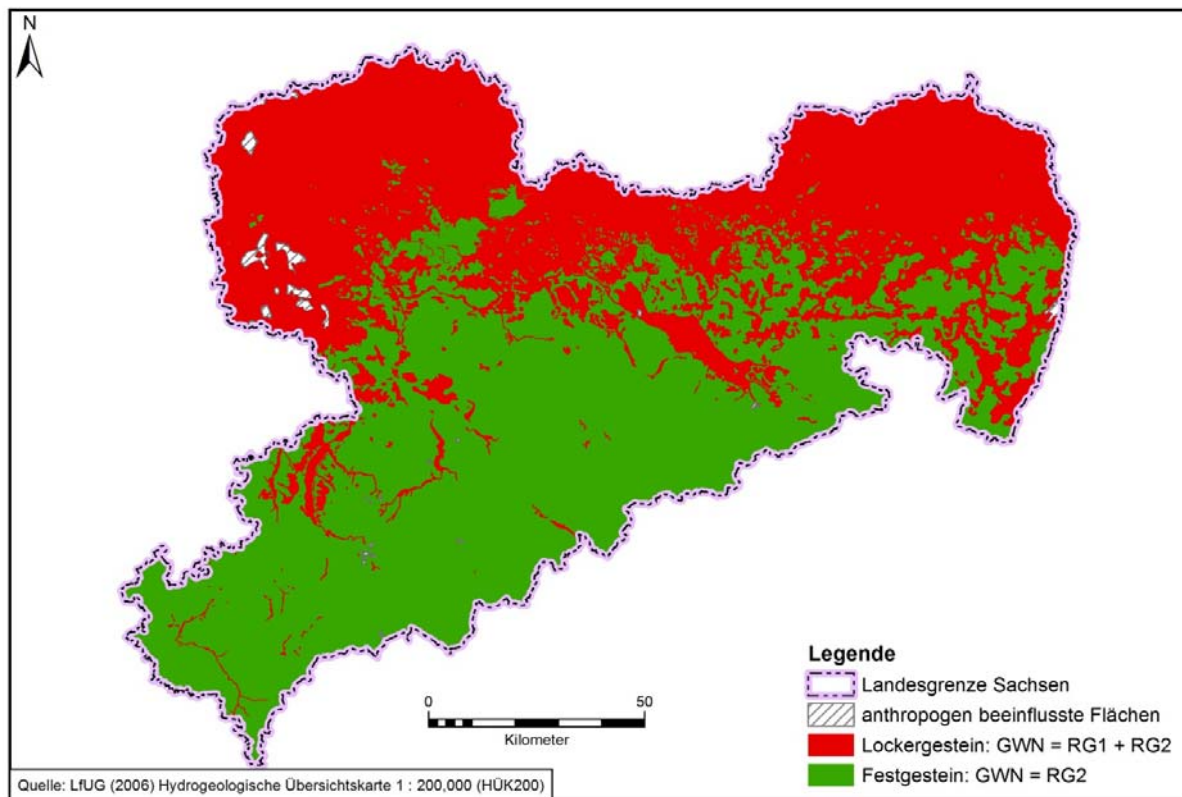
Übergangsbereiche zwischen beiden Verfestigungen müssen hinsichtlich der Grundwasserneubildung im Einzelfall geprüft werden.

Zur Bestimmung der Grundwasserneubildung wird die folgende Konvention vorgeschlagen:

1. Das gesuchte Gebiet befindet sich im Lockergesteinsbereich:  $GWN = RG1 + RG2$
2. Das gesuchte Gebiet befindet sich im Festgesteinsbereich:  $GWN = RG2$

Informationen ob das gesuchte Gebiet im Locker- oder Festgesteinsbereich liegt, können der Abbildung 2 oder den zum Download zur Verfügung gestellten Shapefiles entnommen werden.

Die Konvention ist eine begründete Empfehlung. Sie entbindet nicht davon, ihre Sinnfälligkeit im konkreten Fall in Abhängigkeit von den Gebietseigenschaften und der konkreten Aufgabenstellung zu überprüfen und ggf. die GWN abweichend festzulegen.



**Abbildung 2:** Lage der Locker- und Festgesteinsbereiche in Sachsen als Grundlage zur Anwendung der GWN - Konvention

Literatur:

DIN 4049 (1992): Teil 1: Hydrologie: Grundbegriffe. DIN Deutsches Institut für Normung e. V. Berlin

DIN 4049-3 (1994): Hydrologie - Teil 3: Begriffe zur quantitativen Hydrologie. DIN Deutsches Institut für Normung e. V. Berlin

Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz - WHG). Bundesministerium der Justiz, Erstfassung 1957, Neufassung 2009, letzte Änderungen 2013, in der jeweils aktuellen Fassung

Hydrologischer Atlas von Deutschland (HAD). Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU).

SCHWARZE, R.; DRÖGE, W.; OPPERDEN, K. 1999: Regional analysis and modelling of groundwater runoff components from catchments in hard rock areas. IAHS Publ. No. 254, pp. 221-232.

SCHWARZE, R.; DRÖGE, W.; OPPERDEN, K. 1999: Regionalisierung von Abflusskomponenten, Umsatzräumen und Verweilzeiten für kleine Einzugsgebiete im Mittelgebirge. In: Hydrologie und Regionalisierung, S. 345-370. Hrsg. Hans-B. Kleeberg et al. Weinheim. Wiley-VCH, 1999.

SCHWARZE, R. 1999: Grundwasser. In: Hydrologie und Regionalisierung, S. 78-98. Hrsg. Hans-B. Kleeberg et al. Weinheim. Wiley-VCH, 1999.

WIKI\_Stau(2014): <http://de.wikipedia.org/wiki/Stauwasser> (7.4.2014)