

# EL MAPA HIDROGEOLÓGICO DE SÍNTESIS 1:200.000 DIGITAL DE ALEMANIA, BASE GEOCIENTÍFICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA DIRECTIVA MARCO DEL AGUA

**WALTER Thomas**

Landesamt für Umweltschutz, Abteilung "Geologie, Boden, Grundwasser",  
Don-Bosco-Str. 1, D-66119 Saarbrücken, Alemania  
t.walter@lfu.saarland.de

## RESUMEN

La entrada en vigor de la Directiva Marco del Agua resalta la ausencia de un Mapa Hidrogeológico adecuado para formar la base para la descripción de los acuíferos y las masas de agua subterránea. Los Servicios Geológicos (SSGG) de Alemania acaban de iniciar la elaboración de un Mapa de Síntesis Hidrogeológico a escala de 1:200.000 (*HÜK200*, *MSH200*) que servirá de base común geocientífica para la descripción homogeneizada y estandarizada a nivel nacional. Para los programas de medidas le seguirá el Mapa Hidrogeológico a escala 1:50.000. A tal efecto, los SSGG han creado el Subgrupo de Trabajo "Directiva Marco del Agua". En los años venideros y en estrecha colaboración entre la BGR, los SSGG y las consultoras encargadas, este mapa se desarrollará como sistema de información geográfica modular y fácil de actualizar. Los temas individuales se realizarán en tres grupos temáticos (estructuras hidrogeológicas, dinámica de las aguas subterráneas y cualidad de las aguas subterráneas). El primer tema a terminar es el tema "Acuífero Superior" a través de un proceso de interpretación hidrogeológica de las unidades del Mapa de Síntesis Geológico 1:200.000 (*GÜK200*, *MSG200*), representando las propiedades hidrogeológicas de los estratos cerca de la superficie. Las propiedades hidrogeológicas (los tipos de consolidación, de roca, de vacíos, y geoquímico, la clase de permeabilidad y la presencia de capas protectoras) se añaden como atributos adicionales a la base de datos ya existente del *MSG200*. El plazo de esta fase termina a finales del 2003, para la duración del proyecto total calculamos unos 15 años.

**PALABRAS CLAVES:** Mapa de Síntesis Hidrogeológico 1:200.000, Mapa de Síntesis Geológico 1:200.000, Alemania, BGR, Servicios Geológicos, Directiva Marco del Agua, Hidroestratigrafía, acuífero, masas de agua subterránea, tipo de vacíos, tipo de roca, tipo geoquímico, permeabilidad, capas suprayacentes, cartografía hidrogeológica.

## INTRODUCCIÓN

La entrada en vigor de la Directiva Marco del Agua (DMA) marca un paso importante en cuanto a las exigencias de cualidad y cantidad de datos sobre las aguas tanto superficiales como subterráneas. Al mismo tiempo ha crecido la importancia de una homogeneización y estandarización de datos y métodos a nivel europeo, ya que el enfoque territorial habitual de las administraciones tiene que dar lugar a uno de cuencas hidrográficas muchas veces transfronterizas y por lo tanto internacional.



**Figura 2.** Los Servicios Geológicos de Alemania y sus sedes (gris oscuro: dependencia del Ministerio de Economía, Gris claro: dependencia del Ministerio de Medio Ambiente)



**Figura 1.** Cuencas hidrográficas de Alemania

El elemento central de la DMA es el procedimiento coordinado dentro de una cuenca hidrográfica, requiriendo de las autoridades competentes una armonización muy amplia. El éxito de la DMA depende pues significativamente de la disposición a colaborar a través de las fronteras de los estados y de los *Länder* (LAWA, 2001). Esto implica que los organismos competentes tendrán que iniciar a vista larga o mediana este proceso de homogeneización de datos y métodos, si no en un plazo corto ya.

En Alemania esta necesidad de una estandarización es aún más urgente. La constitución alemana transfiere la competencia en todas las cuestiones relacionadas con la gestión de

los recursos del agua a los estados federales (los *Länder*), dejando al gobierno central solamente el derecho de determinar el marco legislativo. Por eso en Alemania cada *Land* tiene su legislación hídrica propia y las formas tanto de la organización como del reparto de competencias de la administración hídrica varían considerablemente. Para regularizar las cuestiones de interés común, los *Länder* han creado a nivel ministerial el Grupo de Trabajo Agua (*LAWA, Länderarbeitsgemeinschaft Wasser*). Las decisiones de este grupo forman la base para la aplicación de las leyes hídricas de cada *Land*.

En lo que se refiere a la organización de los Servicios Geológicos, la situación es comparable. En cada *Land*, las distintas condiciones históricas, climáticas, geográficas, políticas etc. han llevado a un enfoque diferente en lo que se refiere a la valoración de las diferentes tareas de exploración geológica. Por lo tanto, la situación de los Servicios Geológicos (SSGG) es extremadamente variada: la gama incluye instituciones autónomas con relativamente pocos problemas de plantilla – dependiendo de los Ministerios de Economía – y servicios absorbidos por la administración medioambiental y reducidos a un núcleo mínimo de personal. Desde hace algunos años, todos los SSGG además están enfrentados a unos recortes de plantilla y de presupuesto importantes.

Para acordar programas de índole geológico a nivel nacional existen dos círculos competentes: el Grupo de Trabajo Investigación del Suelo (*BLAGeo, Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenforschung*) y el Círculo de Directores de los Servicios Geológicos (*DK, Direktorenkreis*), mientras las cuestiones específicas se coordinan en los grupos de trabajo de cada especialidad, como por ejemplo el Grupo de Trabajo Hidrogeología (*Ad-hoc-Arbeitsgruppe Hydrogeologie*).

## SITUACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA HIDROGEOLÓGICA EN ALEMANIA

En contraste a los mapas geológicos y edafológicos, la cartografía hidrogeológica no ha encontrado regularización hasta hace poco con la aparición de la Guía de Cartografía Hidrogeológica (*Ad-hoc-AG Hydrogeologie, 1996*). Fiel reflejo de este hecho es la disparidad de los mapas hidrogeológicos publicados hasta ahora: tanto las escalas como los contenidos y las formas de representación gráfica de los mapas presentan una variabilidad considerable. Además, la aplicación de métodos diferentes - como por ejemplo para determinar la recarga natural - en uno y otro lado de las fronteras políticas nos deja delante del problema de resultados poco o no comparables. En algunos *Länder*, la preponderancia de proyectos prácticos a ha impedido la elaboración de mapas hidrogeológicos mas allá de conceptos muy básicos.

Sin embargo, el conocimiento actual de la hidrogeología de Alemania a nivel regional puede considerarse muy bueno. A través de la participación obligatoria de los SSGG en la elaboración de proyectos infraestructurales, de exploración y explotación de recursos naturales etc., los servicios poseen amplios conocimientos regionales e informaciones bastante completas acerca de las propiedades hidrogeológicas del los estratos de sus regiones.

## REQUISITOS DE LA DMA

El primer paso es la elaboración de una característica general de las masas de agua subterránea y su estado de protección. Este proceso se divide a su vez en dos fases: la Descripción Inicial para una primera caracterización (ubicación y límites de las masas, características generales de las capas suprayacentes, posibles fuentes de contaminación etc.) que sirve para excluir las zonas sin riesgo del análisis de la subsecuente Descripción Adicional. Ésta debe incluir una descripción más detallada de las características geológicas e hidrogeológicas del acuífero y de los estratos suprayacentes etc.). Aunque esta fase no termina hasta finales del 2004, el plazo para terminar estos trabajos para los *Länder* es bastante mas corto, ya que para una clasificación a nivel de cuenca hidrográfica es preciso un cierto margen de tiempo para la coordinación transfronteriza. Por lo tanto, habrá que terminar la Descripción Inicial hasta mediados del 2002, mientras para la Descripción Adicional el plazo para los *Länder* previsto por el *LAWA* termina a mediados del 2003.



**Tabla 1.** Relación de datos disponibles con los requisitos de la DMA y el contenido del Mapa de Síntesis Hidrogeológico 1:200.000

Como base geocientífica para las Descripciones Inicial y Adicional, los Grupos de Trabajo de los *Länder* (*LAWA*, *BLGeo* y *DK*) han encargado al Grupo de Trabajo Hidrogeología de desarrollar el Mapa de Síntesis Hidrogeológico 1:200.000. Este mapa servirá de base para definir la ubicación y los límites de las masas de agua subterránea, las características geométricas, geoquímicas e hidráulicas de los acuíferos y el estado de protección de las

masas de agua subterránea. La tabla 1 relata los datos ya disponibles para este fin y las referencias temáticas entre DMA y el MSH200.

Para la fase de los Programas de Medidas, los grupos coordinadores geológicos (*BLAGeo*, *DK* y Grpo de trabajo Hidrogeología) proyectan un Mapa Hidrogeológico a una escala de 1:50.000. El primer borrador aún se encargará durante este año.

## **ESTRUCTURA GENERAL DEL MAPA DE SÍNTESIS HIDROGEOLÓGICO 1:200.000**

El mapa se proyecta como sistema modular de información digital basado metódicamente en la Guía de Cartografía Hidrogeológica de los SSGG (Ad-hoc-AG Hydrogeologie, 1996) - a la que habrá que ampliar y adaptar según los requisitos de la DMA - e integrado en los sistemas de información hidrogeológica de los *Länder* y de la BGR. Para facilitar el uso y la futura actualización del mapa, el sistema digital de administración e interpretación de los datos espaciales contenidos se basa fundamentalmente en las necesidades prácticas, especialmente en las derivadas de la implementación de la DMA.

El Subgrupo de Trabajo "Directiva Marco del Agua", formado por los representantes de los SSGG y de la BGR, se responsabiliza del contenido del mapa el bajo control del Grupo de Trabajo Hidrogeología, mientras de la realización del mapa se encargan empresas consultoras especializadas y financiadas por la BGR.

Para la subdivisión temática existe un primer borrador que prevé tres grupos temáticos. La BGR actualmente está preparando una afinación de este borrador mediante encargo de una consultora. De momento, el proyecto incluye los temas siguientes:

**1. Estructuras Hidrogeológicas:** Esta parte describirá ubicación, espesor, propiedades hidráulicas y geoquímicas de los estratos representados en el MSG200.

- 1.1. Acuífero superior: Conjunto de informaciones hidrogeológicas describiendo el acuífero superior y sus propiedades, interpretación hidrogeológica añadida a la descripción de las unidades del Mapa de Síntesis Geológico 1:200.000 (GÜK200). El procedimiento se describe detalladamente más abajo.
- 1.2. Regiones y subregiones hidrogeológicas: Regiones de estructura geológica e historia tectónica homogéneas y con una secuencia idéntica de unidades hidroestratigráficas. Diferenciamos entre macroregiones (grandes zonas de la corteza terrestre con propiedades hidrogeológicas y comportamiento de las aguas subterráneas similares, basados en una historia geológica y una estructura tectónica comunes), regiones (zonas con propiedades hidrogeológicas, condiciones hidráulicas y hidroquímicas con una variación reducida como consecuencia de estratigrafía, estructura y morfología parecidas) y subregiones. El proceso de definición y de identificación aún se está realizando, basado en la idea principal de conseguir unas delimitaciones finales alrededor de unos 1500 km<sup>2</sup>. En un estado tan densamente poblado como Alemania, la influencia antropogénica

es ubicuitaria y las áreas sin riesgo de contaminación son reducidas. Con una extensión de las masas de agua demasiado grande, la posibilidad de poder excluir áreas disminuye considerablemente.

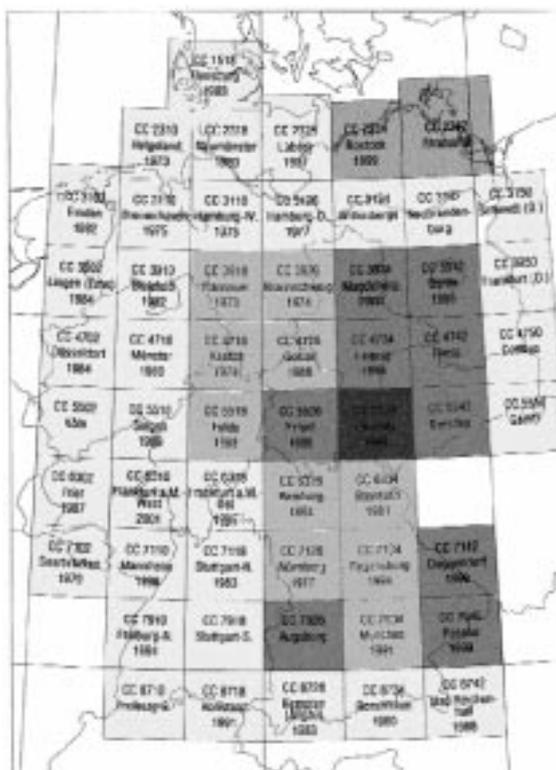
- 1.3. Espesor y profundidad de acuíferos importantes: Geometría de los acuíferos importantes; en el caso de utilización de varios acuíferos también se representarán los acuíferos profundos con la indicación de la profundidad de muros y techos mediante curvas de nivel.
- 1.4. Cortes hidrogeológicos: Representación tridimensional del modelo hidrogeológico del subsuelo con las unidades hidroestratigráficas, probablemente sobre trazas E-O con una distancia de 20 km enlazadas de una hoja a la otra.
- 1.5. Caracterización de las capas suprayacentes: Para esta tarea de momento existen dos métodos diferentes, aunque sistemáticamente relacionados (Höiting et al. 1995, Voigt et al. 2001).

## **2. Dinámica de las aguas subterráneas:** Aquí se describirán las condiciones hidráulicas esenciales, incluidos los datos de recarga/descarga y de extracción.

- 2.1. Nivel piezométrico/ superficie de los acuíferos confinados: Representación en isolinéas, como informaciones adicionales se representarán fuentes y piezómetros de las redes de muestreo estatales.
- 2.2. Distancia de la superficie del terreno: superposición del mapa 2.1 con la superficie del terreno.
- 2.3. Recarga natural/artificial: aún se usan métodos diferentes en los SSGG para determinar la recarga natural (por ejemplo Bamberg et al. 1981, Dörhöfer & Josopait 1980, Glugla et al. 1976, Renger & Strebel 1980), por lo tanto urge una homogeneización de la metodología; para la representación de recargas artificiales habrá que recurrir a informaciones de las administraciones hídricas.
- 2.4. Extracción, perímetros de protección: habrá que integrar las informaciones de las administraciones hídricas.

## **3. Calidad de las Aguas Subterráneas:** estos mapas contendrán la distribución espacial de parámetros hidroquímicos, de la temperatura, edad de las aguas subterráneas etc.

- 3.1. Parámetros hidroquímicos: representaciones espacial y puntual regionalizadas de datos hidroquímicos y relacionada con los polígonos del mapa 1.1.
- 3.2. Clasificación hidroquímica: clasificaciones clásicas y genéticas (por ejemplo a través de diagramas PIPER, según el modelo genético del SG de Brandemburgo etc.).
- 3.3. Fuentes minero-medicinales: informaciones puntuales con representación de las propiedades hidroquímicas y térmicas de las aguas; integración de datos de las administraciones hídricas.
- 3.4. Influencia antropogénica: representación del impacto de la influencia antropogénica en las aguas subterráneas, basada en un método desarrollado por el Instituto Federal de Medio Ambiente (UBA, Umweltbundesamt) con los datos de la red de muestreo de la calidad de las aguas subterráneas de los *Länder*.



**Figura 3.** Distribución de las 55 hojas del tema "Acuífero Superior" con la fecha de terminación (gris oscuro: terminado, gris medio: 2001, gris claro: 2002, gris muy claro: 2003). Los números debajo de los nombres de las hojas indican la fecha de publicación de la hoja del Mapa de Síntesis Geológico.

3.5. Salinización: ubicación de los diápiros salinos y de las intrusiones salinas en los acuíferos costeros etc., acompañados de la representación gráfica de las curvas de nivel de la zona límite entre aguas saladas y dulces.

Sobre todo para los dos últimos grupos la realización de los temas respectivos solamente será posible a través de una colaboración estrecha de todas las administraciones concernidas, ya que los datos hidroeconómicos e hidroquímicos en la mayoría de las veces quedan fuera de la competencia de los SSGG.

Por los procesos de homogeneización necesarios, aún no es posible de determinar exactamente el plazo necesario para la realización del proyecto, pero de momento estimamos aproximadamente 15 años para terminar también el Mapa hidrogeológico 1:50.000.

## METODOLOGÍA PARA LA REALIZACIÓN DEL TEMA “ACUÍFERO SUPERIOR”

Como base para la realización del tema “Acuífero Superior” se presta el Mapa de Síntesis Geológico 1:200.000, cuyas hojas recientes ya se han producido en formato digital. Las mayoría de las hojas anteriores ya existe en formato digital, pero aún tiene que pasar por un proceso de control, corrección y homogeneización. Los mapas geológicos se realizaron en un plazo de más de 30 años, así que por razones de progreso en los conocimientos estratigráfico y estructural ocurren diferencias considerables entre algunas hojas vecinas, sobre todo si hubo un lapso de tiempo importante entre la realización de las hojas.

consolidación	tipo de roca	tipo de vacíos	tipo geo-químico	permeabilidad (m/s)		capas protectoras
roca no consolidada	sedimentitas	poros	silicático	muy elevada	$> 10^{-2}$	cubierto
roca consolidada	metamorfitas	fisuras/poros	carbonático	elevada – muy elevada	$10^{-3} - 10^{-2}$	parcialmente cubierto
	magmatitas	fisuras	silic./carbon.	elevada	$< 10^{-2}$	descubierto
		fisuras/karst	orgánico	media	$< 10^{-3}$	
		karst	silic./org.	media - moderada	$10^{-5} - 10^{-3}$	
		no especificado	sulfático	moderada	$< 10^{-4}$	
			salino	baja	$< 10^{-5}$	
			sulf./salino	muy baja	$< 10^{-7}$	
			antropógeno	extremamente baja	$< 10^{-8}$	
			no especificado	muy variable		

**Tabla 2.** Atributos para la descripción hidrogeológica de las unidades geológicas, a añadir a la base de datos del Mapa de Síntesis Geológico 1:200.000 (GÜK200).

El proceso de descripción hidrogeológica se desarrolla en estrecha colaboración entre la consultora (FUGRO) y los SSGG competentes. La consultora describe primero las unidades geológicas con los atributos hidrogeológicos de la tabla 2 (tipo de consolidación, tipo de roca, tipo de vacíos, tipo geoquímico, permeabilidad y existencia de capas impermeables en la superficie), añadiendo estas informaciones en forma codificada a la base de datos de las hojas respectivas. Los SSGG revisan el resultado de este proceso, añadiendo geometrías nuevas en el caso de una superposición con estratos permeables. En el caso de recubrimientos poco permeables inferiores a 2 m se representa siempre la capa inferior. Si existen capas impermeables de mayor espesor, el procedimiento es diferente para las rocas consolidadas y las no consolidadas. Aquí se representa la capa no consolidada inferior con sus atributos hidrogeológicos sólo si ésta es permeable ( $k_f > 10^{-5}$  m/s), en el caso contrario se procede con la capa impermeable suprayacente. La unidad inferior permeable de las rocas consolidadas se representa si el espesor de la capa superficial no excede unos 20 m.

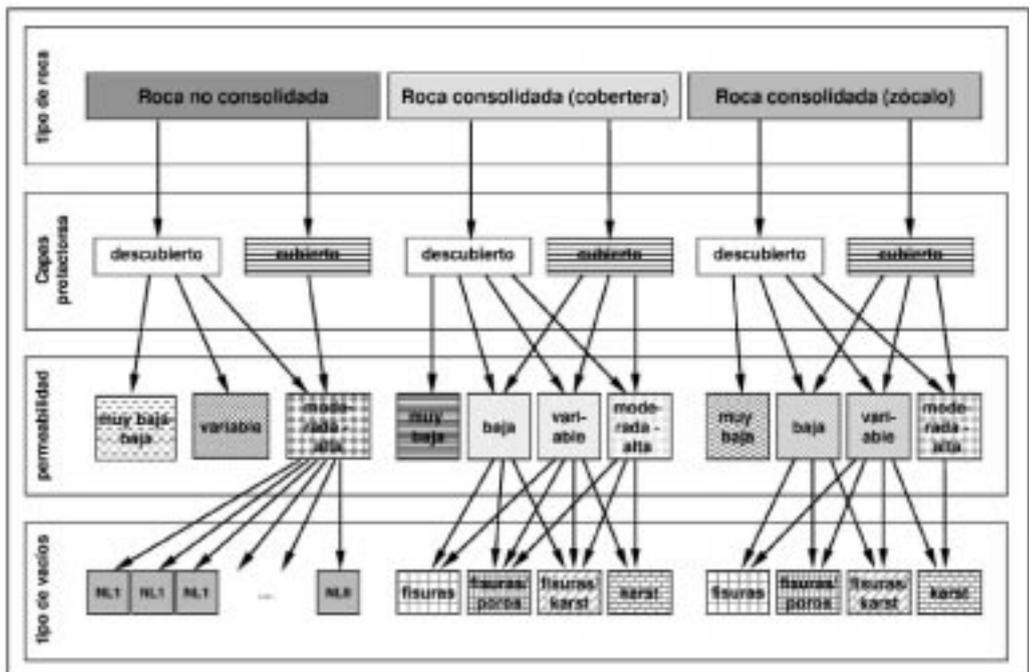
Sino, el procedimiento seguido es el mismo como en el caso de las rocas no consolidadas. Después, la consultora se ocupa de la realización de la hoja en formato SIG y de la homogeneización geométrica de hojas vecinas. También esta fase final del proceso se desarrolla en estricta colaboración entre la consultora y los SSGG.

Según las previsiones actuales, las 55 hojas se completarán hasta octubre del 2003 (véase la figura 3).

## REPRESENTACIÓN ESTANDARIZADA DEL TEMA "ACUÍFERO SUPERIOR"

Colores, tramas y signos convencionales se usan según ejemplos internacionales, sobre todo el "Mapa Hidrogeológico Internacional de Europa 1:1.500.000" (Gilbrich et al., 2001) y la leyenda normalizada recomendada por la IAH (Struckmayer & Margat, 1995).

El criterio principal para la representación de los estratos es la permeabilidad, seguido del tipo de roca (roca no consolidada y roca consolidada, esta a su vez subdividida en zócalo y cobertera) y del tipo de vacíos. Para la representación de los acuíferos cenozoicos - en su



**Figura 4.** Esquema representativo del mapa temático "Acuífero Superior". De arriba a abajo, los diferentes criterios de clasificación, de izquierda a derecha las unidades estructurales mayores. En el caso de las rocas no consolidadas, el tipo de vacíos siempre es de poros, así que se puede representar la hidroestratigrafía de los estratos cenozoicos, en este caso la clasificación del Norte de Alemania (Manhenke et al., 2001). Las flechas marcan las realizaciones más frecuentes de combinaciones (en el caso de las permeabilidades muy bajas el tipo de vacío no se representa)

totalidad no consolidados y de tipo poroso - están reservados los tonos azules, para los acuíferos de la cobertera mesozoica los tonos verdes y para los acuíferos del zócalo paleozoico los tonos rojos. Las clases de permeabilidad se representa con tramados diferentes conservando el tono original de las unidades estructurales. Los estratos de permeabilidad muy baja se caracterizan por tonos marrones, diferenciándose las unidades estructurales mediante tramados diferentes. En las regiones de roca no consolidada, como por ejemplo en el norte de Alemania, se representan las diferentes unidades hidroestratigráficas (Manhenke et al., en preparación) con tonalidades diferentes. En las zonas de roca consolidada, la hidroestratigrafía es demasiado compleja, así que se procede representando el tipo de vacíos mediante un tramado negro superpuesto. Como información lineal adicional, el mapa además contiene las delimitaciones de las cuencas hidrográficas (Dörhöfer et al., en preparación) para facilitar la delimitación de las masas de agua subterránea.

El sistema de información geográfica basado en ARC/INFO se constituye de las diferentes capas temáticas relacionadas con la base de datos (MS-Access) y una superficie de trabajo para conseguir la producción automatizada de los mapas temáticos estandarizados. Estos procesos automatizados incluyen la producción tanto de mapas monotemáticos como de combinaciones temáticas. Según la hoja en proceso, en función de la disponibilidad de datos se añaden automáticamente las funciones para la configuración de contenido y leyenda de los mapas y para la producción de ficheros listos para el tiraje.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ad-hoc-AG-Hydrogeologie (1996): Hydrogeologische Kartieranleitung, ad-hoc-Arbeitsgruppe Hydrogeologie, Geol. Jahrbuch, Reihe G, Heft 2, Hannover 1996).
- Arbeitskreis Grundwasserneubildung FH-DGG (1977): Methoden zur Bestimmung der Grundwasserneubildungsrate. Geol. Jb., C 19: 3-98, 30 Abb., 9 Tab., Hannover.
- Bamberg, H.-F., Busse, W., Ginzler, G., Glugla, G., Schlinker, K., Ziegler, G. 1981: KdT-Empfehlung zur Ermittlung der Grundwasserneubildung. Zentrales Geologisches Institut. Gedruckt als WTL-Sonderheft 5, Berlin.
- Dörhöfer G., Josopait V. 1980: Eine Methode zur flächendifferenzierten Ermittlung der Grundwasserneubildungsrate. Geol. Jb. C 27, 45-65, Hannover.
- Dörhöfer, G., Hannappel, S. & H.-J. Voigt: Die Hydrogeologische Übersichtskarte von Deutschland, Zeitschrift für Angewandte Geologie (en preparación).
- Gilbrich, W., K. Krampe & P. Winter (2001): Internationale Hydrogeologische Karte von Europa, 1 : 1.500.000 Bemerkungen zum Inhalt und Stand der Bearbeitung.- Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, 45. Jg., H. 3, Koblenz.
- Glugla, G.; Enderlein, R.; Eyrich, A. (1976): Das Programm RASTER - ein effektives Verfahren zur Berechnung der Grundwasserneubildung im Lockergestein. Wasserwirtschaft-Wassertechnik 26, H. 11, S. 377-382.
- Holting, B.; Haerté, T.; Hohberger, K.-H.; Nachtigall, K. H.; Villinger, E.; Weinzierl, W.; Wrobel, J.-P. (1995): Konzept zur Ermittlung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung. Geologisches Jahrbuch C63, 65 S.

- LAWA (2000): Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, „Arbeitshilfe zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie“ mit Stand vom 22.08.2001 (sin publicar).
- Manhenke, V., Reutter, E., Hübschmann, M., Limberg, A.; Lückstädt, M., Nommensen, B., Peters, A., Schlimm, W., Taug, R. & Voigt, H.-J. (2001): Hydrostratigrafische Gliederung des norddeutschen känozoischen Lockergesteinsgebietes.- Zeitschrift für Angewandte Geologie (en preparación).
- Renger, M.; Strebel, O. (1980): Jährliche Grundwasserneubildung in Abhängigkeit von Bodennutzung und Bodeneigenschaften.- Wasser & Boden, 32 (8), 362-366.
- Struckmeier, W. F. & Margat, J. (1995): Hydrogeological maps: a guide and a standard legend. - Verlag Heinz Heise, Hannover.
- Voigt, H.-J., Heinkele, T., Jahnke, C. & Hannappel, S. (2001): Kriterien zur Charakterisierung der Empfindlichkeit von Grundwasservorkommen.- Abschlussbericht des F/E-Vorhabens an das Umweltbundesamt (FKZ 299 22 278), Berlin (sin publicar).
- Wessolek, G.: Entwicklung von Verfahren zur Herstellung von Karten zu Niederschlag, Verdunstung und Versickerung aus dem effektiven Wurzelraum (1992), unveröffentlichte Studie im Auftrag des UVF.