



Merkblatt Nr. 1.2/7

Stand: 01 Januar 2010

alte Nummer:

Ansprechpartner: Referat 93

Wasserschutzgebiete für die öffentliche Wasserversorgung

Anlage 2

Möglichkeit zur Gliederung lang gestreckter Grundwassereinzugsgebiete in Porengrundwasserleitern

Inhalt

0	Problemstellung	2
1	Theoretische Grundlagen	2
2	Bemessungsansatz	3
3	Bemessungsverfahren	4
4	Bemessungsbeispiel	6
5	Wertung der Ergebnisse	7
6	Schlussbemerkung	7
7	Literatur	9

0 Problemstellung

Die Abgrenzung und Gliederung des Einzugsgebietes (EZG) einer Fassungsanlage im ausgedehnten und quasihomogenen Porengrundwasserleiter mit hoher Transmissivität, sei es

- zum Zweck einer Schutzgebietsausweisung
- für die Konzeption einer Sanierungsmaßnahme
- als Fachgrundlage einer raumbedeutsamen Planung

bereitet oft Schwierigkeiten, wenn geologische Randbedingungen nicht in Erscheinung treten. Die im DVGW-Arbeitsblatt W101 für diese hydrogeologischen Situationen empfohlene Vorgehensweise, nämlich die stromaufwärtige Verlängerung der theoretischen Grenzstromlinie bis zur flächenhaften Übereinstimmung mit der Grundwasserneubildungsfläche F_N

$$F_N = \frac{Q_a}{G} \quad (\text{Gl. 1})$$

Q_a : mittlere Entnahme (l/s)

G : Grundwasserneubildungsrate im EZG (l/km² • a)

bietet keine anwendbaren Lösungsansätze, da auf diese Weise lediglich die Gesamtgröße des Einzugsgebietes abschätzbar ist. Wird wegen Dispersion und Fließrichtungsänderungen eine seitliche Richtungsvariation in Ansatz gestellt, so führt dies im Fall lang gestreckter fluvioglazialer Porengrundwasserleiter mit vorherrschend hohen Grundwasserneubildungsraten zum bekannten Bilanz-Paradoxon, da die durch Zuspiegungsgrenzen umschriebene Fläche ein Mehrfaches der Neubildungsfläche F_N betragen kann (siehe Abb. 1).

Im Regelfall werden weder die theoretische Grenzstromlinie noch die Zuspiegungsgrenze einschließlich der zugehörigen rechnerischen Reichweiten R_1 bzw. R_2 ein realistisches Bild der Bedeutung einzelner Teilbereiche dieses qualitativ relevanten Gesamteinzugsgebietes der Fassungsanlage liefern, wenn der wesentliche Gesichtspunkt der Zuspiegungswahrscheinlichkeit außer Betracht bleibt. Gelingt es, neben bilanzierenden und hydraulischen Bemessungsansätzen die Wahrscheinlichkeitsbetrachtung als zusätzliches Element in die EZG-Ermittlung einzubauen, so könnte mit Hilfe einer quantitativen Bewertung der Grundwasserzuspiegung eine wesentlich differenziertere Gliederung der Einzugsgebiete durchgeführt werden.

1 Theoretische Grundlagen

Das nachfolgend beschriebene graphisch-rechnerische Verfahren zur Abschätzung der räumlichen Verteilung der Zuspiegungswahrscheinlichkeit gründet auf dem Dispersionsphänomen, das die Verteilung von Wasserteilchen in durchströmten Porengrundwasserleitern steuert und ihre Eintrittswahrscheinlichkeit in eine Trinkwasserfassung entscheidend mitbestimmt.

Die überschlägige Einzugsgebietsabgrenzung für eine Trinkwasserfassung erfolgt im Regelfall durch die graphisch-rechnerische Bestimmung charakteristischer Elemente des fassungsnahen Anströmbereichs, beispielsweise nach BÖLSENKÖTTER (1984) und nach FRISCH (1987) entsprechend den Bestimmungsgleichungen (2) und (3) auf Abb. 1 und nachfolgender Einpassung der theoretischen Grenzstromlinie in den Grundwasserhöhengleichenplan mit gerechneten oder gemessenen Isohypsen. In Höhe des oberstromigen Beginns des ungestörten Bereichs im Abstand D von der Fassungsanlage wird die Entnahmebreite B angesetzt, die den Parallelabstand der Äste der theoretischen Grenzstromlinie beschreibt.

Die Bemessung des Sicherheitszuschlages zur Aufweitung des theoretischen Anströmbereiches erfolgt in der Praxis überwiegend auf der Grundlage verfügbarer Grundwasser-Gleichenpläne, Literaturhinweise und individueller Erfahrungswerte des jeweiligen Bearbeiters, meist in Form einer Winkelangabe. Dieser Wert beinhaltet neben der Berücksichtigung bemessungstechnischer Unschärfen im Wesentlichen folgende Hauptkomponenten:

- gefügebedingte transversale Dispersion
- hydrologisch bedingte Fließrichtungsvariation

Die senkrecht zur generellen Grundwasserfließrichtung wirkende transversale Dispersion ist die Folge eines hydromechanischen Vermischungsprozesses, der eine fächerartige Aufweitung des Anströmbereiches um den Dispersionswinkel α bewirkt. Nach BEHRENS & SEILER (1982) sowie KLOTZ (1982) ist in fluvioglazialen Schottern ein von der Sedimentstruktur abhängiger Öffnungswinkel von $\alpha = 5 - 6^\circ$ anzusetzen, der sich erfahrungsgemäß infolge variierender Gefügeeigenschaften entlang des Fließweges auf Werte von $\alpha \gg 6^\circ$ erhöhen kann. In umgekehrter, d.h. in oberstromige Richtung hat die Dispersion zur Folge, dass sich die Fächerbreite, auf der sich alle möglichen Zufallsbahnen innerhalb der Zuspeisungsgrenzen bündeln, stetig aufweitet. Bezogen auf die rechnerische Entnahmebreite $B/2$ im Strömungsteilfeld mit positiver y-Achse erreicht die Sektorbreite B' des Zuströmfächers zunächst den Betrag B im Abstand x^* vom Koordinatenursprung (siehe Abb. 2b) und vergrößert sich in oberstromige Richtung entsprechend der Beziehung

$$B' = B/2 + x^* \cdot \tan \alpha/2 \quad (4)$$

B' : Sektorbreite des Zuspeisungsbereiches im Strömungsteilfeld mit positiver y-Achse

x^* : Entfernung vom Koordinatenursprung entlang der Strömungsachse in oberstromige Richtung

Somit kann bei rein geometrischer Betrachtung des Dispersionsphänomens im zwei-dimensionalen Strömungsfeld (s. Abb. 2a) die Grenzlage aller Grundwasserteilchen mit größt-möglicher Eintrittswahrscheinlichkeit in eine Fassungsanlage durch die Schenkel des „kritischen Dispersionsdreiecks“ mit Grundlinie B bzw. G und der Höhe x_o^* beschrieben werden:

$$x_o^* = \frac{B}{2 \tan \alpha/2} \quad (5)$$

x_o^* Höhe des kritischen Dispersionsdreiecks

B : Entnahmebreite bzw. Grundlinie G des „kritischen Dispersionsdreiecks“ (= Mischbreite)

Ansätze für eine weitergehende flächendifferenzierte Abschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit können aus den Experimentalergebnissen von Markierungsversuchen abgeleitet werden, da nach DROST (1972) und DROST & MOSER (1988) das Dispersionsphänomen

- sowohl parallel wie senkrecht zur Fließrichtung das gleiche physikalische Verhalten aufweist
- hinreichend genau durch die Gaußsche Wahrscheinlichkeitsverteilung beschrieben werden kann.

2 Bemessungsansatz

Das nachfolgend beschriebene Schätzverfahren gründet auf der Modellvorstellung, dass die innerhalb der ausgewählten Kontrolleinheit dV konzentrierten Grundwasserteilchen infolge des Dispersionseffektes so verlagert werden, dass ihre Häufigkeitsverteilung in der xy-Ebene beim Passieren der Entnahmebreite B

durch die Gaußsche Glockenkurve beschrieben wird (siehe Abb. 2a). Ausgehend von den Verhältnissen innerhalb des kritischen Dispersionsdreiecks wird die Dichteverteilung aller Grundwasserteilchen mit beliebiger Ortslage auf dem Achsenschnitt $x^* \leq x_0^*$, $y = 0$ demnach ein Maximum in Höhe der Strömungsachse aufweisen und normal zur Fließrichtung bis zur begrenzenden Randstromlinie bei $y = \pm B/2$ praktisch auf 0 absinken. Innerhalb dieser Integrationsgrenzen ergibt sich die Eintrittswahrscheinlichkeit $F(z)$ aus dem Integral der Dichteverteilung

$$F \left[+B/2, -B/2 \right] = \int_{-B/2}^{+B/2} f(z) dz \quad \bullet \quad \text{zu } F(z) \approx 1$$

Für alle außerhalb des kritischen Dispersionsdreiecks strömenden Grundwasserteilchen wird sich die Eintrittswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von der Ortslage nach den Gesetzmäßigkeiten der Wahrscheinlichkeitsverteilung verringern. Einerseits wird infolge der Vergrößerung der Mischbreite G bei zunehmender Entfernung x^* vom Koordinatenursprung das Dichteintegral innerhalb der Integrationsgrenzen [$z_u = -B/2$ und $z_o = B/2$] abnehmen, d.h. die Normalverteilungskurve wird über die Mischbreite G gespreizt, so dass nur noch ein Teilausschnitt des Flächenintegrals die Eintrittswahrscheinlichkeit beschreibt. Das Integral der Kurvenäste jenseits der Integrationsgrenzen $z_u < -B/2$ und $z_o > B/2$ stellt dann ein Maß für die Randverluste dar. Bei exzentrischer Lage der Kontrolleinheit dV ist für die Beschreibung der Eintrittswahrscheinlichkeit nicht mehr das Maximum der Dichteverteilung maßgeblich; die zugehörigen Integrationsgrenzen liegen asymmetrisch zur Normalverteilungskurve. Der Zusammenhang zwischen Eintrittswahrscheinlichkeit von Grundwasserteilchen, Ortslage der Kontrolleinheit dV (Fälle 1 – 4) und Mischbreite G , mit

$$G = x^* \cdot 2 \tan \alpha/2 \quad (5a)$$

G : Grundlinie eines beliebigen Dispersionsdreiecks (= gesamte Mischbreite)

x^* : Höhe eines beliebigen Dispersionsdreiecks

α : Dispersionswinkel

ist auf Abb. 2b qualitativ anhand verschiedener Dichtefunktionen von Normalverteilungen einschließlich zugehöriger Flächenintegrale $F(z)$ unter der Normalverteilungskurve dargestellt.

3 Bemessungsverfahren

Die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Grundwasserteilchens als Einzelelement einer Kontrolleinheit mit beliebiger Lage im Strömungsfeld ($x, y; y \neq 0$) soll durch die Normalverteilung mit Dichtefunktion

$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \cdot e^{-\frac{(z-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

beschrieben werden, wobei die Standardabweichung σ als Mischbreite G und μ als Mittelwert der Verteilung zu interpretieren sind; die theoretischen Grundlagen hierzu sind in BAHRENBERG et al. (1990) beschrieben.

Um nicht für jede Ortslage die zugehörige Dichtefunktion im Sinne der Fallbeispiele 1 bis 4 auf Abb. 2b berechnen zu müssen, sind folgende Voraussetzungen für eine Vereinfachung des Bemessungsverfahrens zu treffen:

- a) Die Wahrscheinlichkeitsbetrachtung über die Mischbreite G beschränkt sich entsprechend Abb. 3 auf das $\pm 2\sigma$ -Intervall; hierbei gilt:

$$\sigma = \frac{G}{4}$$

Dies hat zur Folge, dass auf die Integration der Glockenkurve außerhalb des Bereichs $[\mu \pm 2\sigma]$ verzichtet wird. Der hierbei verursachte Fehler ist deutlich kleiner als 10 %.

- b) Die Entnahmebreite B wird zu $B = 1$ normiert, um das Wahrscheinlichkeitsintegral allgemein auf das Verhältnis $m = \frac{G}{B}$ beziehen zu können.
- c) Die Wahrscheinlichkeitsbetrachtung bezieht sich zunächst nur auf Grundwasserteilchen mit den Ortskoordinaten $(x^*, 0)$, d.h. die Symmetrieachse der Glockenkurve verläuft durch den Nullpunkt, wobei gilt:

$$\mu = 0$$

Somit sind die Voraussetzungen gegeben, einerseits für beliebige Verhältniswerte von G zu B (m -Werte) die zugehörigen Eintrittswahrscheinlichkeiten $F(z)$ graphisch zu ermitteln oder umgekehrt aus vorgegebenen Wahrscheinlichkeitsniveaus die Verhältniswerte von Mischbreite G zu Entnahmebreite B mit Hilfe des Nomogramms auf Abb. 3 abzuleiten. Die Beziehung zwischen dem Wahrscheinlichkeitsniveau und der Ortslage $(x^*, 0)$ des betreffenden Kontrollvolumens kann über Tabelle 1 und Gleichung 5a hergestellt werden.

Für alle exzentrisch bezüglich der Strömungsachse befindlichen Positionen (Fälle 3 und 4 auf Abb. 2b), d.h. für beliebige Ordinatenwerte ist die Integration mit erheblichem Aufwand verbunden. Die Endergebnisse einer graphisch ermittelten Integration sind in Form von Verhältniszahlen (n -Werten) auf Tab. 1 aufgelistet. Somit können für vorgegebene Wahrscheinlichkeitsniveaus $F(z)$ und abgestimmt auf die hierzu äquivalenten Sektorbreiten B' auch y -Werte angegeben werden, die die Bestimmung der Ortskoordinaten (x, y) von Grundwasserteilchen mit konkreten Eintrittswahrscheinlichkeiten $F_{xy}(z)$ innerhalb des gesamten Zuspeisungsbereiches erlauben. Ausgehend vom Spezialfall der normierten Entnahmebreite $B = 1$ berechnen sich für ausgewählte Wahrscheinlichkeitswerte $F_{xy}(z)$ die zu ermittelnden Ortskoordinaten nach Gleichung 5 und 4 und mit Hilfe Tabelle 1 relativ einfach zu:

$$x = \frac{m}{2 \tan \alpha/2} ; \text{ für } B = 1$$

$$y = n \cdot B' = n \left(\frac{1+m}{2} \right)$$

Mit Hilfe dieser graphisch-rechnerischen Schätzmethode sind die Voraussetzungen für die Konstruktion von Wahrscheinlichkeitsgleichungen innerhalb des Zuspeisungsbereiches gegeben; auf folgende Gesichtspunkte ist hierbei hinzuweisen:

- In vollzugspraktischen Fragen wird im Regelfall eine Genauigkeit von rund 95,5 % innerhalb des 2σ Intervalls als ausreichend erachtet. Die Zuspeisungsgrenzen entsprechen somit den Wahrscheinlichkeitsgleichungen $F_{xy} = 2,27$ %, wohingegen den Schenkeln des Dispersionsdreieckes ein Wahrscheinlichkeitswert von $F_{xy} = 97,72$ % zuzuordnen ist.

- Die aus der Dichteverteilung über die Mischbreite G ermittelten n -Werte werden einfachheitshalber auf die Sektorbreite B' bezogen.

4 Bemessungsbeispiel

Die praktische Vorgehensweise bei der Konstruktion von Wahrscheinlichkeitsgleichen innerhalb der Zusp eisungsgrenze einer Trinkwasserfassungsanlage wird am Beispiel des Vertikalbrunnens der Gemeinde "R" auf Abb. 4 erläutert. Der Bohrbrunnen ist in hochglazialen Schmelzwasserschottern eines ausgedehnten Niederterrassenfeldes abgeteuft; folgende Bemessungsdaten sind anzusetzen:

- Durchlässigkeitsbeiwert: $k_f = 0.0072 \text{ m/s}$
- Grundwassergefälle: $I = 0,004$
- Dispersionswinkel: $\alpha/2 = 8^\circ$
- Grundwasserneubildungsrate: $G = 12,7 \text{ l/s.km}^2$
- erschlossene Grundwassermächtigkeit: $m = 3,8 \text{ m}$
- Bemessungsmenge: $Q_a = 13 \text{ l/s}$
(gemittelte Jahresentnahme)

Arbeitsschritt 1 beinhaltet die Abschätzung charakteristischer Elemente des theoretischen Anström- und Zusp eisungsbereiches nach Gl. (2), (3) und (4).

Arbeitsschritt 2 umfasst die Bestimmung der Achsenabschnitte x^* für die ausgewählten Wahrscheinlichkeitsniveaus 90%, 80 % . . . 10 %, nach Gleichung 5a, wobei zunächst die zugehörigen Mischbreiten $G = m \cdot B$ unter Verwendung der m -Werte auf Tabelle 1 zu ermitteln sind.

Die Ausrichtung der Wahrscheinlichkeitsgleichen im Zusp eisungsbereich erfolgt mit Hilfe eines Grundgerü stes, bestehend aus der Strömungsachse und ordinatenparallelen Spalten, die jeweils in Höhe der ausgewählten Wahrscheinlichkeitsniveaus mit den Lagekoordinaten (x^*, o) „eingehängt“ werden. Die jeweiligen Spaltenlängen B' werden nach Gleichung (4) oder aufgrund geometrischer Beziehungen nach

$$B' = B/2 + G/2$$

bestimmt.

Im nachfolgenden Arbeitsschritt 3 wird zur Konstruktion der Wahrscheinlichkeitsgleichen eine hinreichende Anzahl an Polygonpunkten auf den ordinatenparallelen Spalten B' abgegriffen, deren y -Koordinaten, abgestuft nach den einzelnen Wahrscheinlichkeitsniveaus, mit Hilfe der n -Werte auf Tabelle 1 entsprechend der Beziehung

$$y = n \cdot B'$$

ermittelt werden.

Aus Symmetriegründen beschränkt sich die Bestimmung der Koordinaten auf das Strömungsteilfeld mit positiver y -Achse.

Die Rechenwerte sind für den betrachteten Fall in Abb. 4 tabellarisch aufgelistet und in Form von Polygonzügen dargestellt; das Ergebnis stellen Linien gleicher Wahrscheinlichkeitswerte dar, abgestuft nach den Niveaus 95,45 %, 90 %, 10 %, 2,27 %.

Mit Hilfe eines derartigen Wahrscheinlichkeitsnetzes können hydrogeologisch ermittelte Einzugsgebiete (vgl. Abb. 6) einer Plausibilitätsüberprüfung unterzogen werden. Die Einzugsgebietsermittlung stellt sich somit als ein Optimierungsvorgang dar, bei dem die zur Bilanzdeckung erforderliche Neubildungsfläche im zentralen Anströmbereich so zu integrieren ist, dass die dispersionsbedingte Randzuspeisung minimal wird. Dies kann in iterativ durch Integration der Neubildungsfläche F_N im Umgriffbereich der 10 % Wahrscheinlichkeitsgleiche erfolgen (s. Abb. 5).

5 Wertung der Ergebnisse

Die Übertragung der Ergebnisse der vorgestellten Wahrscheinlichkeitsbetrachtung in das örtliche Strömungsfeld ist für den Einzelbrunnen „R“ auf Abb. 5 dargestellt. Die Wahrscheinlichkeitsgleichenen $F_{xy} = 50\%$, 25% umgreifen Einzugsgebietsteilflächen mit schätzungsweise hoher ($F_{xy} \geq 50\%$) und mittlerer ($25\% \leq F_{xy} < 50\%$) Eintrittswahrscheinlichkeit. Die 10 % Wahrscheinlichkeitsgleiche dient in erster Näherung der Abgrenzung des Brunneneinzugsgebietes einschließlich der Plausibilitätsprüfung durch Bilanzierung. Hierbei ist die Bemessungsmenge Q_a der Grundwasserneubildung auf der vom 10 % Polygon umgriffenen Fläche ($F_{10\%}$) und der Randzuspeisung Q_e unter Berücksichtigung der jeweiligen Eintrittswahrscheinlichkeiten gegenüber zu stellen (s. Abb. 7). Bei Ansatz der regionaltypischen Kennwerte ergibt sich eine Unterbilanzierung im Verhältnis von $Q_{Bilanz}/Q_a = 0,82$. Dies bedeutet, dass die auf der $F_{10\%}$ -Fläche rund. 80 % der Bemessungsmenge plausibel nachgewiesen werden können. Zur vergleichenden Gegenüberstellung erfolgt die Integration der Grundwasserneubildungsfläche von $F_N = 1,02 \text{ km}^2$ zum einen nach dem Trennstromlinienverfahren nach DVGW-Richtlinie (W101) und zum anderen ausgerichtet auf die Zuspeisungsgrenze (s. Abb. 5). Das Trennstromlinienverfahren ist in Anbetracht der rechnerisch ermittelten Reichweite von $R1 = 8,6 \text{ km}$, die jenseits der unterirdischen Wasserscheide anzusetzen wäre, nicht anwendbar. Im Falle der Integration des Brunneneinzugsgebietes innerhalb der Zuspeisungsgrenze ist oberstrom der konventionell ermittelten Reichweiten $R2$ kontinuierlich bedingt eine Zuflussmenge in der Größenordnung von 23 l/s anzusetzen, über deren tatsächlichen Zuspeisungsanteil in den Brunnen ohne Wahrscheinlichkeitsbetrachtung keinerlei Aussagen möglich sind. Dies entspricht einem pauschalen Bilanzüberschuss von rd. 280 %.

Anhand der unterschiedlichen Geometrien ist erkennbar, dass die 10 %-Wahrscheinlichkeitsgleiche den zuspeisungsintensivsten Kernbereich der Brunnenanströmung umgreift und somit im Sinne einer Optimierung eine ausgewogene und relativ „sensible“ Einzugsgebietsvariante darstellt. Dagegen werden bei den konventionell erarbeiteten Einzugsgebietsvarianten Bereiche relativ hoher Zuspeisungswahrscheinlichkeit nicht berücksichtigt und Bereiche relativ geringer Zuspeisungswahrscheinlichkeit überbewertet (s. Abb. 6).

6 Schlussbemerkung

Die Dispersion bewirkt das Zerschneiden und Auseinanderdriften eines ursprünglich bei Beobachtungsbeginn zusammenhängenden Grundwasserkörpers, dessen Teilvolumina nach einer gewissen Fließstrecke die Mischbreite G nach einer durch statistische Gesetzmäßigkeiten vorgegebenen Dichteverteilung passieren. In den quasi-homogenen Porengrundwasserleitern mit hoher Transmissivität kommt aufgrund des ungenügend entwickelten pedologischen und lithologischen Rückhaltevermögens der dispersionsbedingten Verdünnung entscheidende Bedeutung bei der Trinkwasserqualitätssicherung zu. Die transversale Dispersion wirkt im Gegensatz zur longitudinalen nicht nur konzentrations- sondern auch frachtmindernd. Mit Hilfe des vorgestellten Schätzverfahrens können unter Annahme

- eines stationären Fließzustandes
- einer homogenen Schadstoffverteilung bestimmter Ausgangskonzentration

Gefährdungspotentiale im Einzugsgebiet von Fassungsanlagen bereits im Vorfeld kostenintensiver Detailstudien überschlägig beurteilt und umgekehrt die Raumansprüche von Trinkwasserversorgungen gegenüber konkurrierenden Nutzungsvorhaben abgeschätzt werden.

Der durch idealisierende Vereinfachungen im Zuge der Wahrscheinlichkeitsbetrachtung hervorgerufene Schätzfehler ist stets im Zusammenhang mit der erforderlichen Planungsschärfe zu sehen, da in frühen Planungsphasen und insbesondere bei mittleren bis kleinen Versorgungsanlagen in den wenigsten Fällen statistisch hinreichend gesicherte Gebietskennwerte (z.B. Durchlässigkeitsbeiwert) aus Feldversuchen vorliegen und demnach auf Erfahrungswerte zurückgegriffen werden muss.

Als zusätzlicher, die transversale Dispersion überlagernder Effekt ist die eingangs genannte Komponente der hydrologisch bedingten Fließrichtungsvariation einzukalkulieren, die in Kombination mit einem ausgeprägten Grundwassersohrelief in ausgedehnten Porengrundwasserleitern erhebliche Änderungen im Zu- speisungsgeschehen bewirken kann. Derartige Schwankungen der generellen Grundwasserfließrichtung können bei der Abgrenzung des Einzugsgebietes durch entsprechende Rotationen der abgegrenzten Wahrscheinlichkeitsgleichungen berücksichtigt werden.

Aufgestellt am 17.03.2005

Dr. Procher
Dipl.-Geologe
Wasserwirtschaftsamt Kempten

7 Literatur

- Arbeitsblatt W 101 (1995): Richtlinien für Trinkwasserschutzgebiete;
1. Teil: Schutzgebiete für Grundwasser. –
Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.,
DVGW Regelwerk; Bonn
- BAHRENBURG ET AL. (1990) Statistische Methoden in der Geographie 1
Univariate und bivariate Statistik – 223 S., 81 Abb., 44 Tab;
3. Auflage; Teubner Stuttgart 1990
- BEHRENS & SEILER (1982): Beziehungen zwischen der Dispersivität und der Länge des
Fließweges des Grundwassers nach Geländeversuchen in
den fluvioglazialen Kiesen des oberen Loisachtales (Oberau)
und von Dornach (Münchner Schotterebene). – In: GSF-
Bericht R290, 323-329; Neuherberg
- BÖLSENKÖTTER & AL. (1984): Hydrogeologische Kriterien bei der Bemessung von Wasser
schutzgebieten für Grundwasserfassungen. – Geol.
Jahrb.Reihe C, Heft 36, 34 S., 5 Abb., 6 Anl.; Hannover
- DROST ET AL. (1972): Isotopenmethoden in der Grundwasserkunde. –
Informationsheft des Büro EURISOTOP Nr. 61, Serie:
Monographien 16, Mai 1972
- DROST & MOSER (1988): Tracermethoden – In: „Die Wassererschließung“
Hrsg.: H. SCHNEIDER (Kap. 4.41), 3. Auflage; Vulkan-Verlag,
Essen
- FRISCH (1985): Hydrogeologische Grundsätze zur Bemessung von Trinkwasser-
schutzgebieten. – In: Informationsberichte des Bayerischen
Landesamtes für Wasserwirtschaft 5/85, 51-63; München
- KLOTZ (1982): Abhängigkeit der transversalen Dispersion von Parametern des
Grundwassers und des Grundwasserleiters. – In: GSF-Bericht
R290, 340-349; Neuherberg

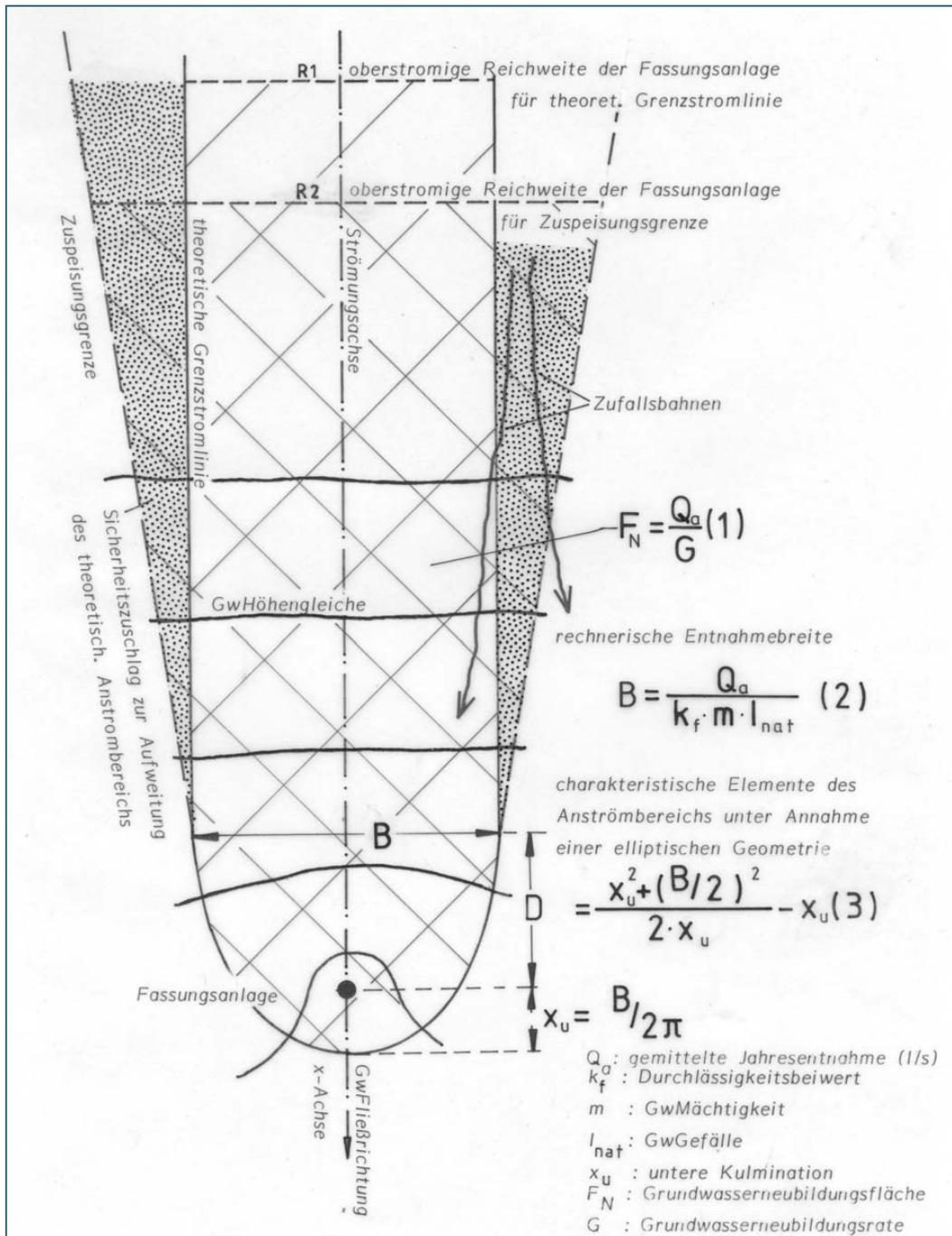


Abb. 1: Charakteristische Elemente des fassungsnahen Anströmbereichs und ihre Beziehung zur Begrenzung des Einzugsgebietes.

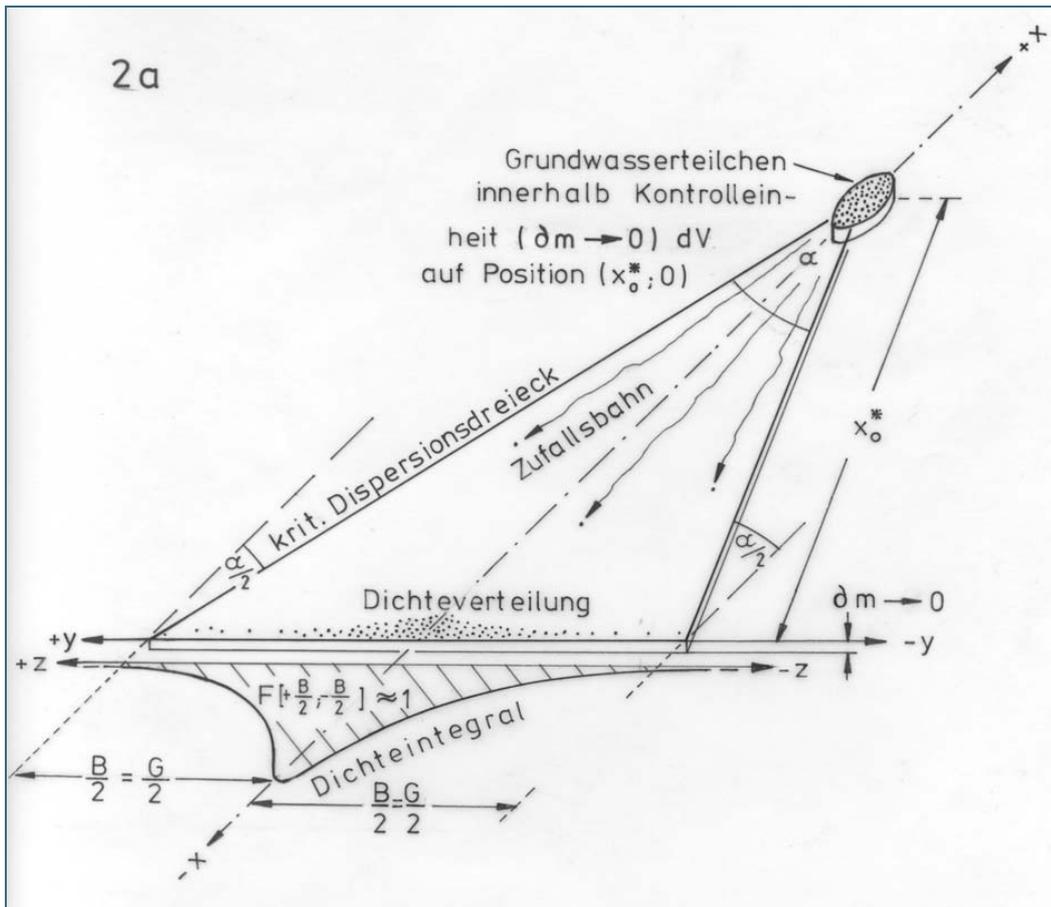


Abb. 2a: Modellansatz zur Beschreibung der Dichteverteilung von Grundwasserteilchen im zwei-dimensionalen Strömungsfeld infolge der dispersionsbedingten Streuung der Strömungsbahnen, bezogen auf die geometrischen Verhältnisse innerhalb des „kritischen Dispersionsdreiecks“.

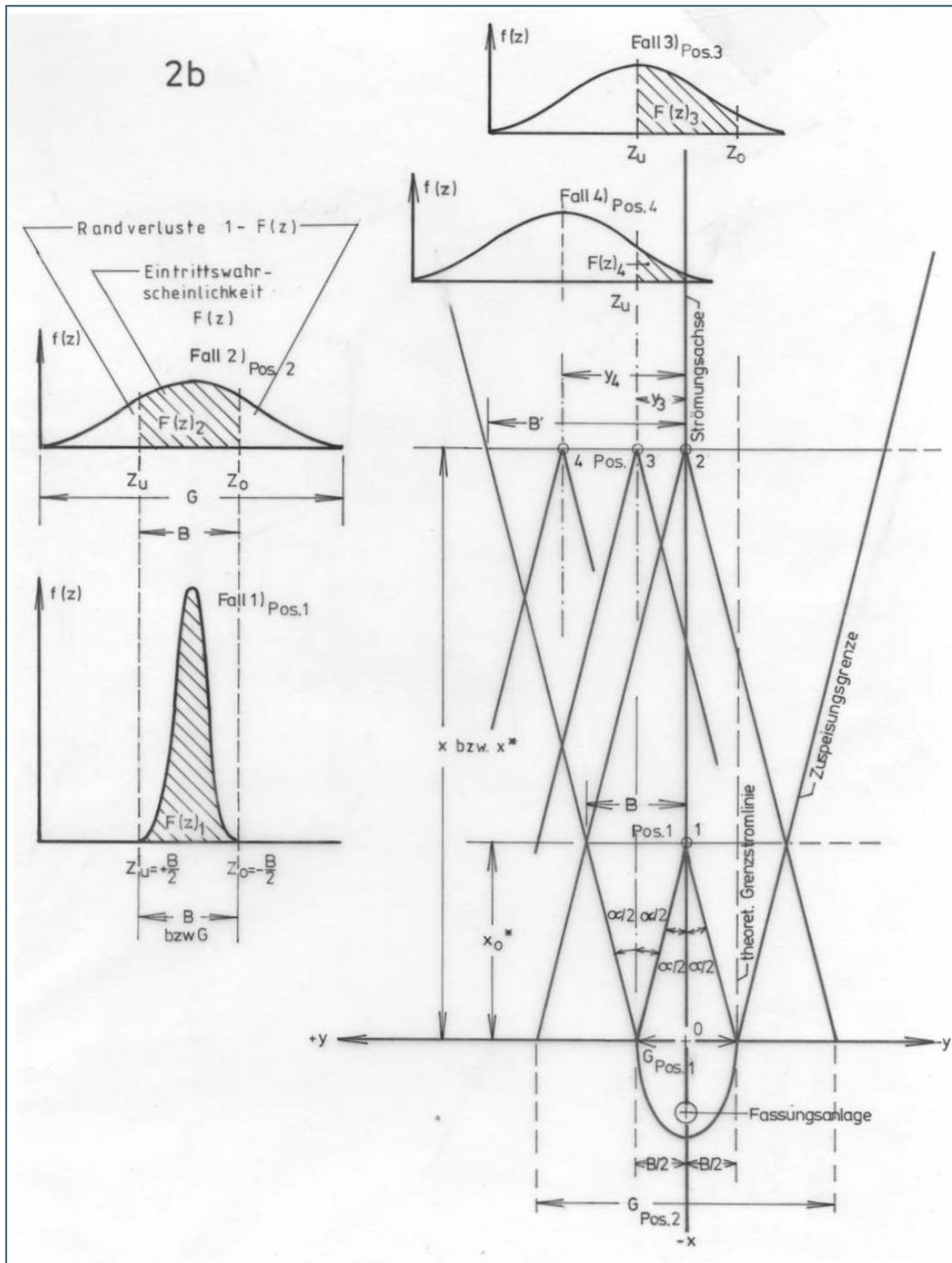


Abb. 2b: Fallbetrachtung zur Abschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit von Grundwasserteilchen in eine Fassungsanlage der Entnahmebreite B in Abhängigkeit von den Positionen 1-4 ihrer Kontrolleinheiten innerhalb der Zusp eisungsgrenzen.

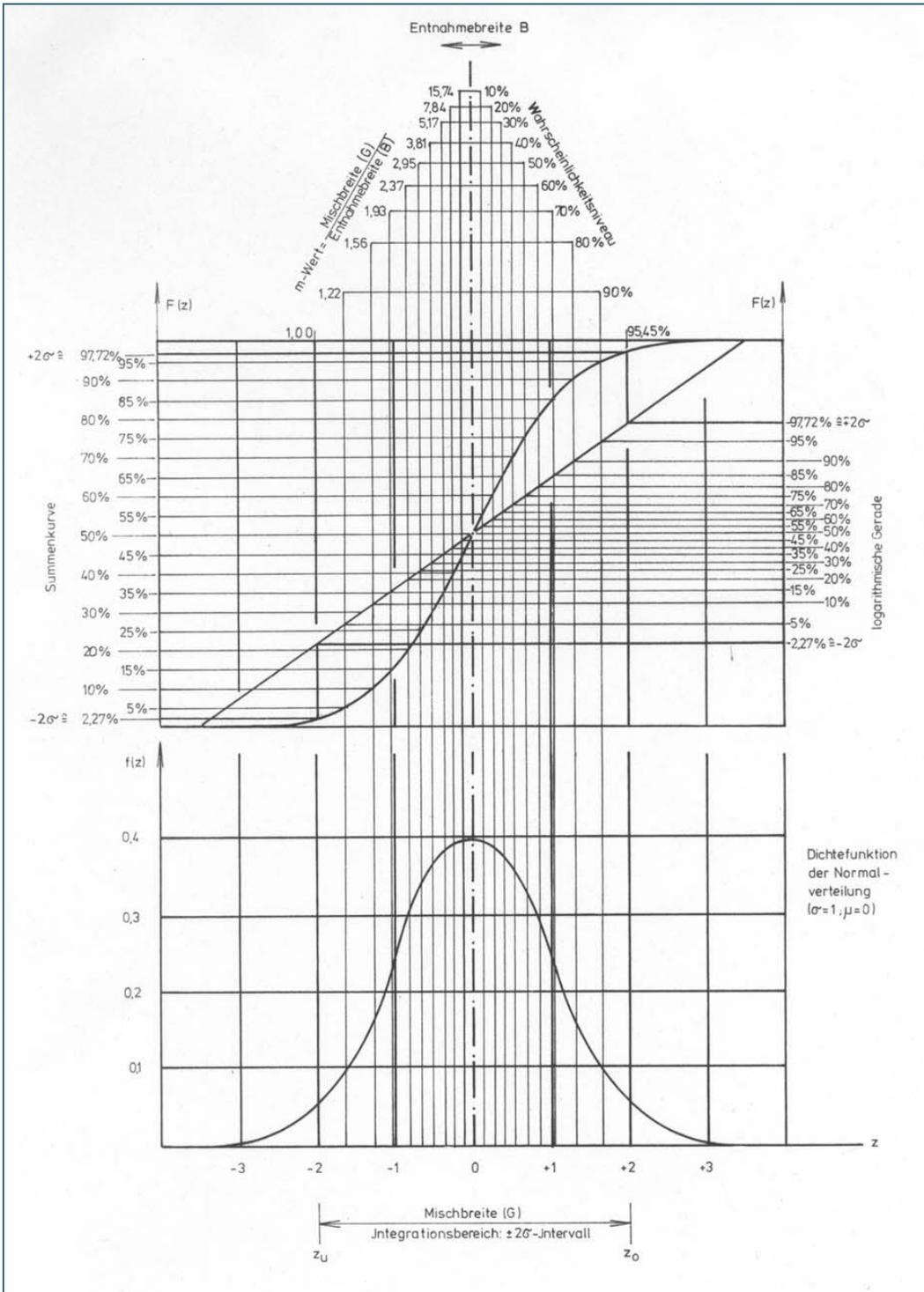


Abb. 3: Nomogramm zur Darstellung der Abhängigkeit zwischen Eintrittswahrscheinlichkeit und Verhältnis aus Misch- und Entnahmbreite unter Annahme eines ideal ausgeprägten Dispersionsfächers.

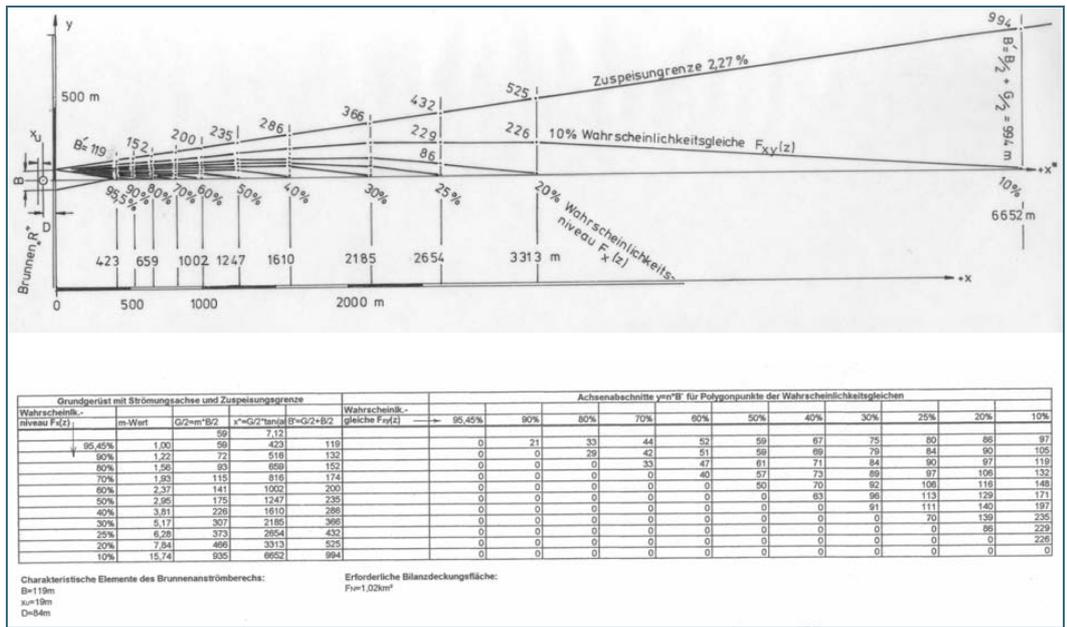


Abb. 4: Graphisch-rechnerische Konstruktion von Wahrscheinlichkeitsgleichen, dargestellt am Beispiel des Vertikalbrunnens „R“.



Abb. 5: Übertragung der Wahrscheinlichkeitsgleichen 10 %, 25 %, 50 % sowie der Zuspeisungsgrenze (2,27 %) in das regionale Strömungsfeld.

