

3 Untersuchungsmethodik

3.1 Untersuchungsgebiet

Aus den Ergebnissen und Erfahrungen der ersten Untersuchungen zum hyporheischen Interstitial der Elbe, wie sie im Arbeitsbericht I vom November 2000 dargestellt sind, wurde das mit den Projektpartnern abgesprochene, modifizierte Programm durchgeführt. Der Schwerpunkt der Untersuchungen sollte demnach auf das Gebiet der Elbe im Bereich der Flussschleife Dresden-Übigau gelegt werden. Daneben wurde die Messstelle Meißen-Siebeneichen weiter beprobt. Die Messstelle Belgern erwies sich nach den ersten Ergebnissen als ungünstig (starke Uferbefestigung, unetige z.T. erhebliche Abwasserfahnen entlang des Uferbereichs) und konnte leider nicht vor Zerstörung geschützt werden (zwei vergebliche Neueinrichtungen). Daraufhin wurde entsprechend dem Programm und in Übereinstimmung mit der konzipierten Diplomarbeit eines Studenten der Hochschule für Technik und Wirtschaft (FH) Dresden eine zweite Messstelle in Übigau (Altübigau) eingerichtet.

Der Flussabschnitt der Oberen Elbe ist gekennzeichnet durch die biozönotische Region: Barbenregion (Hyporhithral). Das mittlere Gefälle der Elbe beträgt ca. 0,26 ‰. Die Bedingungen gelten auch für die Obere Mittelelbe und damit für die gesamte Untersuchungsstrecke. Für den Flussabschnitt zwischen Dresden und Meißen gelten folgende typische morphometrischen Bedingungen als Mittelwert bei MQ (LANGE 1986):

- | | |
|---------------------------------|------------------------|
| - mittlere Querschnittsfläche | 298 m ² |
| - mittlere Tiefe | 2,21 m |
| - mittlere Breite | 148 m |
| - mittlere Fließgeschwindigkeit | 1,06 m s ⁻¹ |
| - Darcy-Weisbach-Verlustbeiwert | 0,040 |

Für die ufernahe Beprobung wurden folgende Probenahmestellen ausgewählt:

- am Wasserwerk Saloppe (durch TU Dresden): Fluss-km 52,3, rechte Seite
- Dresden Altübigau, Fluss-km 60,5, rechte Seite (zeitweise)
- Dresden Übigau, Fluss-km 62,1, rechte Seite
- Meißen Siebeneichen, Fluss-km 80,4, linke Seite
- Belgern, Fluss-km 139,1, linke Seite (zeitweise)

Die ursprüngliche Auswahl der Untersuchungspunkte erfolgte mit dem Ziel, das Interstitial unter verschiedenen Strömungs-, Körnungs- und Belastungsbedingungen zu erfassen (vgl. Tab. 1). Die Erfahrung der erheblichen Bedeutung der Wechselwirkung zwischen Oberflächen- und Grundwasser für das Interstitial durch Infiltration und Exfiltration führte zum Ziel eine weitere Messstelle in Altübigau einzurichten, an der die Beschaffenheit des Oberflächenwassers vergleichbar zur unterhalb gelegenen Messstelle Übigau sind, die aber, wie von anderen Flussschleifen bekannt, eine tendenziell höhere Infiltration aufweisen könnte. Detaillierte Ergebnisse zur Sedimentstruktur sind in Kapitel 4.2 nachzulesen.

Tab. 1: Gegenüberstellung der Charakteristika der einzelnen Untersuchungsorte

Untersuchungsort (Elbe-km)		Lage	Sediment- körnung (D50 in mm)	Ufer- gestalt	Bemerkungen
52,3	Saloppe	ufernah	25,3	leichter Prallhang	oberhalb der Einleitungen der Stadt Dresden, geringer Einfluss des WW Saloppe
60,5	Altübigau	ufernah	4,5	Gleithang	oberhalb der Messstelle Übigau und des Alberthafens
60,5...62,7	Übigau	ufernah	4,5...44,0	Gleithang	Flussschleife Dresden- Übigau
62,1	Übigau	ufernah	44,0	Gleithang	oberhalb Kläranlage Dresden
62,1...62,3	Übigau	Flussbett	8,8...18,7	-	oberhalb Kläranlage Dresden
80,4	Meißen- Sieben- eichen	ufernah	12,1	Gleithang	unterhalb Kläranlage Dresden, Einfluss des WW Siebeneichen
139,1	Belgern	ufernah	3,8	Prallhang	unterhalb Riasas, oberhalb der Einmündung der größeren Nebenflüsse
233,2...233,4	Coswig	Flussbett	2,5...4,4	-	Buhnen beidseitig
318,7...319,3	Magdeburg	Flussbett	0,8...2,1	-	Buhnen östliches Ufer

Neben der Untersuchung des Flussbettes mit dem Taucherschacht in Dresden, Coswig und Magdeburg (Kap. 3.2) wurde die Flussschleife Dresden-Übigau auf Sedimentstruktur und mittels Temperaturdatenloggern untersucht. Alle Untersuchungsorte befanden sich im Bereich der Oberelbe bzw. oberen Mittelelbe (Abb. 1).

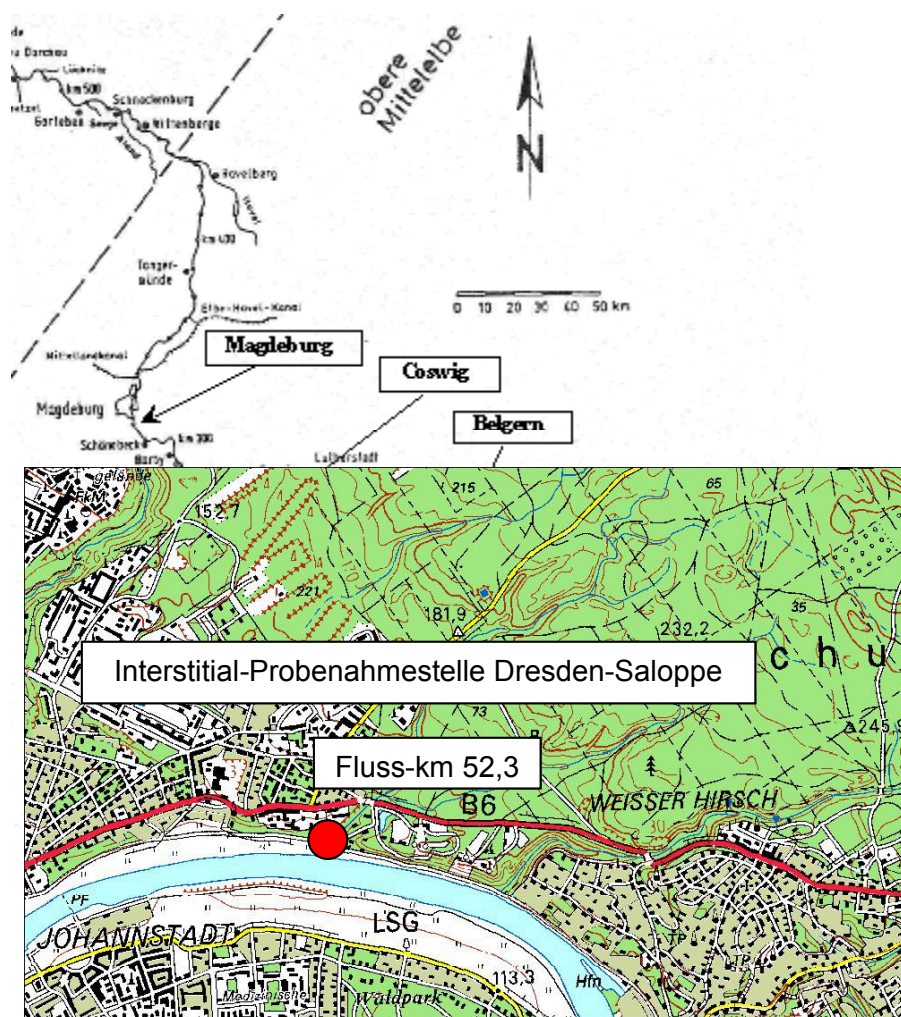
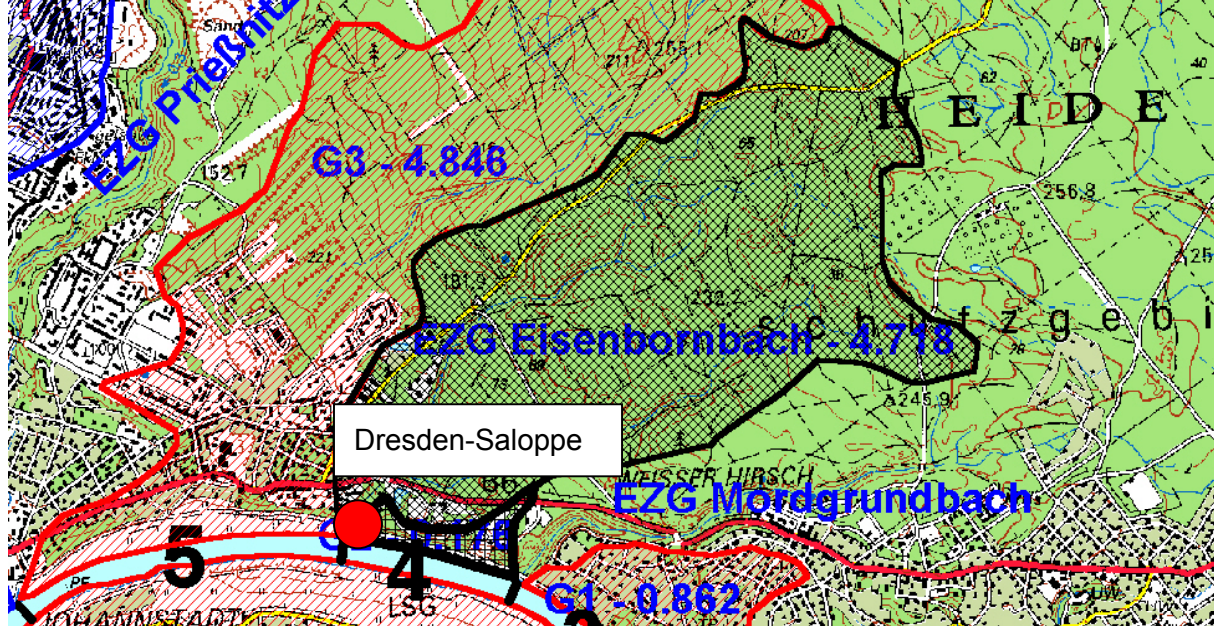


Abb. 1: Lageplan des Untersuchungsorte an der Oberelbe und der oberen Mittelelbe (verändert nach BfG 1994)

3.1.1 Dresden-Saloppe

Die Probenahmestelle Dresden-Saloppe befindet sich in der Nähe des Wasserwerkes Saloppe rechtsseitig der Elbe (Abb. 2). Dieses Wasserwerk dient nicht mehr der Trinkwassergewinnung sondern versorgt den gewerblichen Bedarf im Dresdner Norden mit Brauchwasser. Die Entnahmemenge ist gering, so dass vorwiegend ein Brunnen zwischen dem Wasserwerk und einem kleinen Nebenbach genutzt wird. Am Ufer befinden sich Brunnengalerien parallel zum Strom.

Abb. 2: Probenahmestelle Dresden-Saloppe (Probenahmestelle TU Dresden)



Die obere Sedimentschicht wird von großen Steinen gebildet. Der Probenahmepunkt befindet sich an einem leichten Prallhang (Radius ca. 2 km). In geringer Entfernung vom Ufer wird durch einen Geländebruch das für eine Infiltration zur Verfügung stehende Einzugsgebiet des Grundwasserleiters zwischen Elbe und Steilhang begrenzt. Dieses rechtselbische Teil-EZG beträgt $A = 0,176 \text{ km}^2$ auf eine Fluss-Länge von ca. 910 m (Abb. 3). Es wird durch das EZG Eisenbornbach ergänzt, das jedoch einen oberirdischen Abfluss hat ($A = 4,718 \text{ km}^2$). Das hierzu gehörende EZG für den hypodermischen Abfluss wird für die Brauchwassergewinnung genutzt.

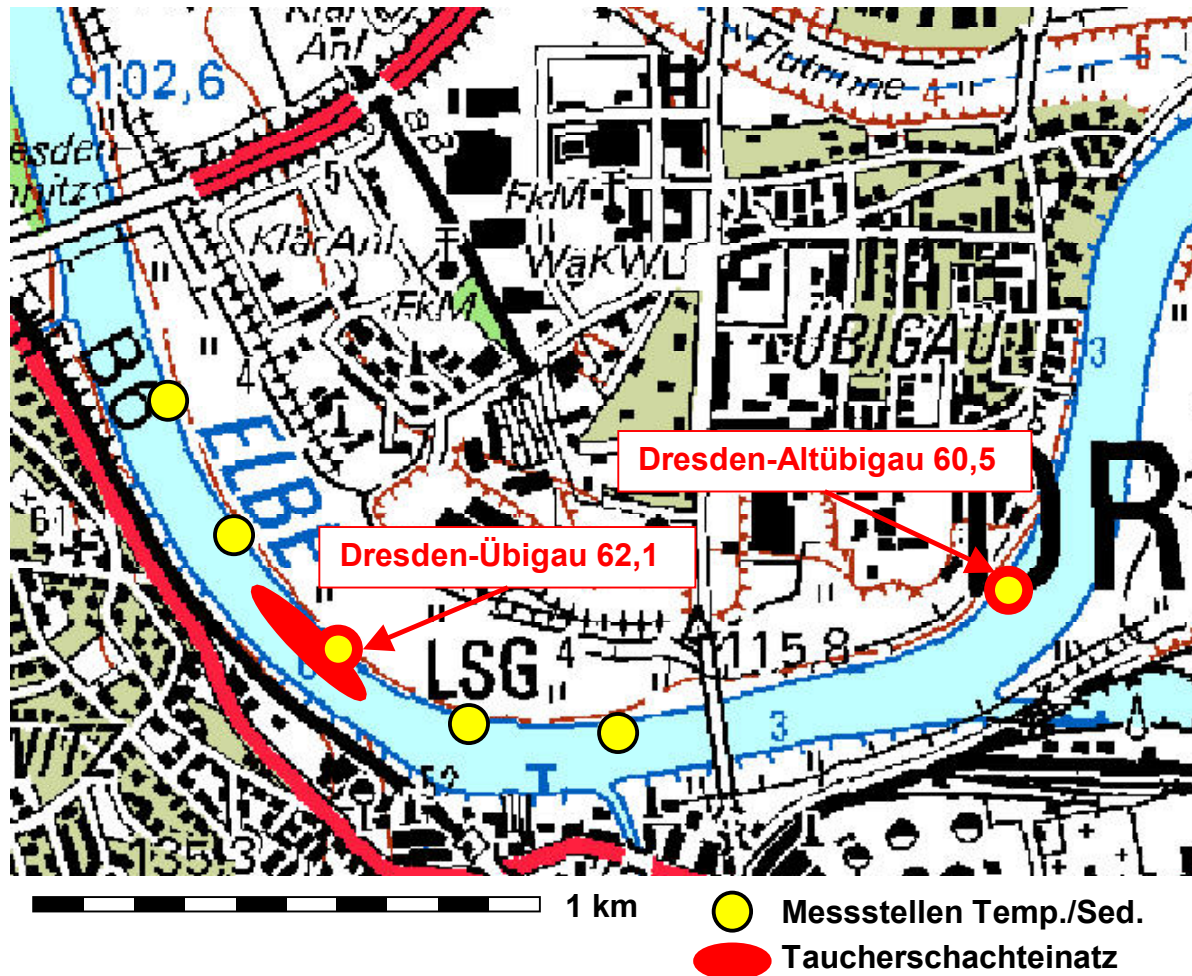
Bezogen auf einen Fluss-km ist das Einzugsgebiet relativ klein. Es reicht im Mittel ca. 200 m von der Elbe in das Hinterland ohne Berücksichtigung des Eisenbornbaches. Die folgende Abbildung (Abb. 3) zeigt das für diese Probenahmestelle zugehörige geschätzte unterirdische EZG. Die potentielle Grundwasserneubildungsrate wird mit $2,5 \text{ l km}^{-2} \text{ s}^{-1}$ eingeschätzt.

Abb. 3: Zuordnung der eingeschätzten unterirdischen Teil-EZG zu der Probenahmestelle Saloppe

3.1.2 Flussschleife Dresden-Übigau

In der Flussschleife Dresden-Übigau wurden umfangreiche Untersuchungen an mehreren Stellen durchgeführt (Abb. 4). Der Kurvenradius der Elbe beträgt nur ca. 1 km. Deshalb befindet sich nördlich der Probenahmestelle eine Flutrinne. Die Standardmessstelle Dresden-Übigau befand sich bei km 62,1 oberhalb der Einleitung der Kläranlage Dresden. Sie ist ebenfalls auf der rechten Elbseite positioniert. Im Unterschied zur Saloppe befindet sie sich an einem Gleithang. Dieser Gleithang ist im Bereich Niedrigwasser - Mittelwasser ausgebaut. Im Bereich dieser Messstelle erfolgten die Taucherschachteinsätze in Dresden. Ein genauer Lageplan zum Taucherschachteinsatz ist in (Abb. 12) enthalten. Oberhalb der

Standardmessstelle wurde die Messstelle Dresden-Altübigau bei km 60,5 installiert, an der Untersuchungen ufernah und mehr vom Ufer entfernt mit einer Schute stattfanden. Analysen zum Transport mittels Temperatursonden und zur Sedimentstruktur erfolgten an mehreren Stellen der Flussschleife. Die ufernahen Messprofile wurden mit Hilfe eines Nivelliergeräts WILD NA 20 von LEICA vermessen. Die genaue Vermessung der Taucherschachtaktion



führten die Wasser- und Schifffahrtsämter durch.

Abb. 4: Lage der Probenahmestellen im Bereich der Flussschleife Dresden-Übigau

Teilprofil Übigau

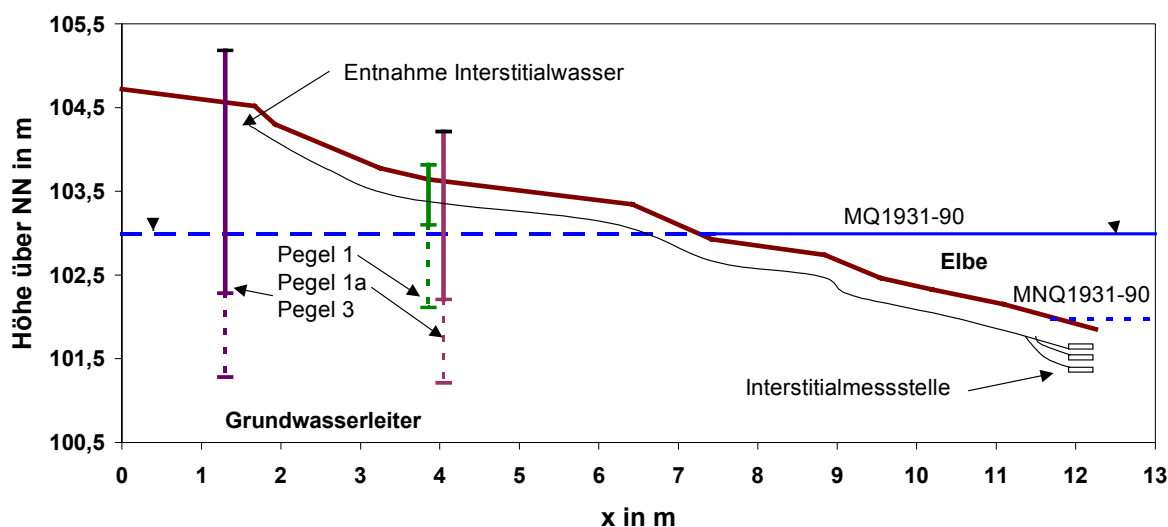


Abb. 5: Teilprofil und Anordnung der ufernahen Interstitialmessstellen und Grundwasserpegel in Dresden-Übigau (km 62,2)

Die Standardmessstelle wurde so installiert, dass eine Beprobung auch bei Wasserständen deutlich über MQ und bis zu MNQ noch möglich war (Abb. 5). Der Einsatz der fest installierten Rohre bis zu hohen Wasserständen ist ein wesentlicher Vorteil im Gegensatz zu den oft verwendeten vertikalen Einschlagrohren. Beim Einrichten der Grundwasserpegel erwies sich Hartplaste aufgrund der steinigen Bodenbeschaffenheit als zu wenig widerstandsfähig, so dass der Pegel 1 nicht bis in die erforderliche Tiefe reichte. Dieser wurde deshalb noch mal als Pegel 1a in Stahlausführung wie auch Pegel 3 installiert. Bei niedrigen Wasserständen fiel der Pegel 1 trocken.

Im Unterschied zur Saloppe liegt ein deutlich größeres Einzugsgebiet vor. Dem Flussabschnitt von 2,9 km sind ca. 9,9 km² EZG zugeordnet. Die Entfernung bis zur Einzugsgebietsgrenze beträgt bis zu 6,5 km. Die Grundwasserneubildungsrate wurde mit 2,5...3 l km⁻² s⁻¹ eingeschätzt (KNEIS 2000).

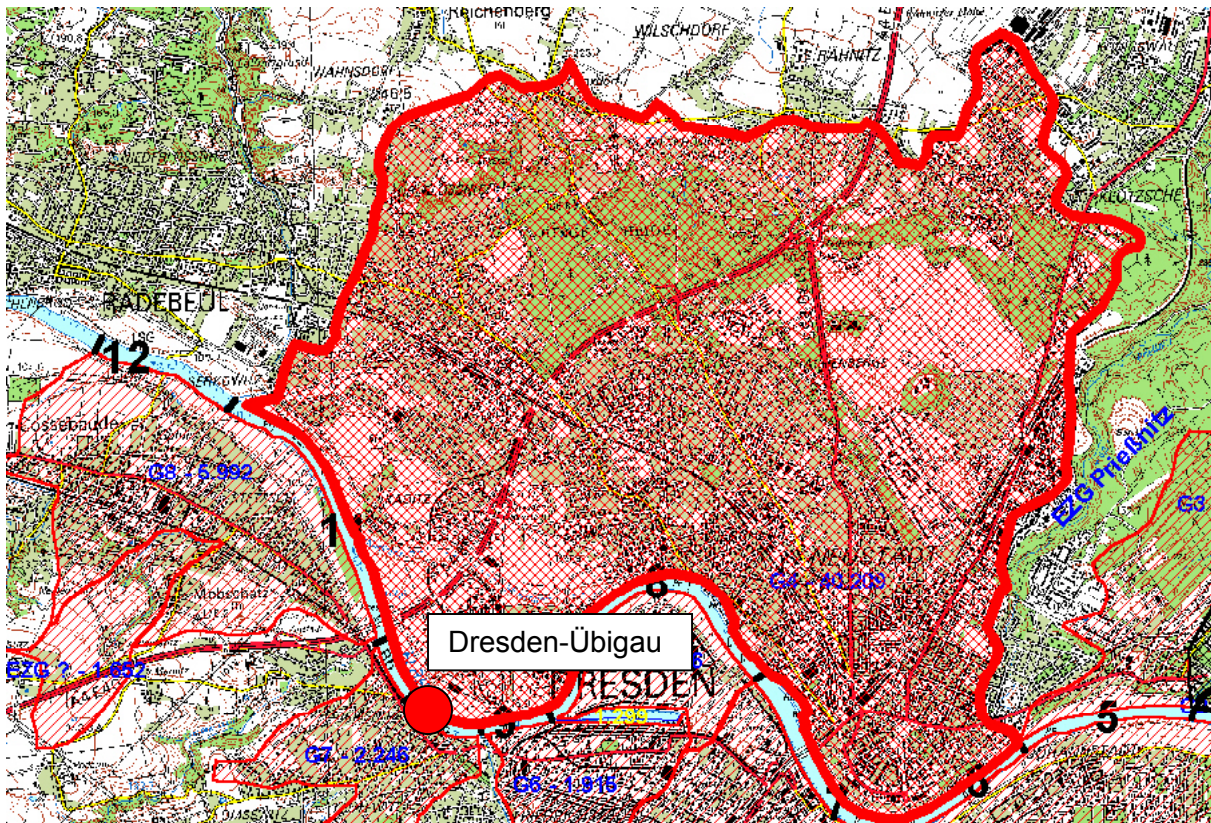


Abb. 6: Teileinzugsgebiet zur rechtsseitigen Probenahmestelle am Standort Dresden Übigau

3.1.3 Meißen-Siebeneichen

Die Probenahmestelle Meißen befand sich in der Nähe des Wasserwerkes Meißen-Siebeneichen. Eine Beeinflussung der Grundwasserfließrichtung am linken Ufer durch die Wasserförderung war offensichtlich vorhanden. Wesentlich für die Auswahl der Probenahmestelle waren der geringere Korndurchmesser des Sedimentes und die Beeinflussung durch den Ablauf der Kläranlage Dresden nach Vermischung über den Flussquerschnitt. Eine vollständige Quervermischung erfolgt in Fließgewässern oft erst nach sehr langen Fließstrecken. Für die Elbe wurde anhand der Untersuchung der Verteilung der gelösten organischen Substanzen (als CSB) aus einer Einleitung mit Zellstoffabwasser auf einer Fließstrecke von Pirna bis Riesa und der Verteilung des Salzgehaltes unterhalb der Saalemündung eine erforderliche Fließstrecke von 100 km ermittelt (LANGE 1986, UHLMANN UND HORN 2001).

Zur Untersuchung des Grundwassers in Meißen wurde der Pegel 2/1 und weitere vorhandene Pegel im Zustrom mitgenutzt (Abb. 8). Die Installation der Interstitialrohre



erfolgte wie in Dresden unterhalb MNQ-Linie und die Entnahmestelle wurde deutlich oberhalb von MQ eingerichtet.

Das zur linksseitigen Probenahmestelle zugehörige EZG ist relativ klein, mit deutlicher Hanglage und bewaldet. Die Grundwasserverhältnisse werden durch die Förderung des Wasserwerkes beeinflusst. Das dem Flussabschnitt zuzurechnende Teil-EZG beträgt ca. 0,6 km² (Abb. 9). Die Situation bezüglich der Beeinflussung durch das EZG ist dem der Probenahmestelle Saloppe ähnlich.

Messprofil Meissen Siebeneichen

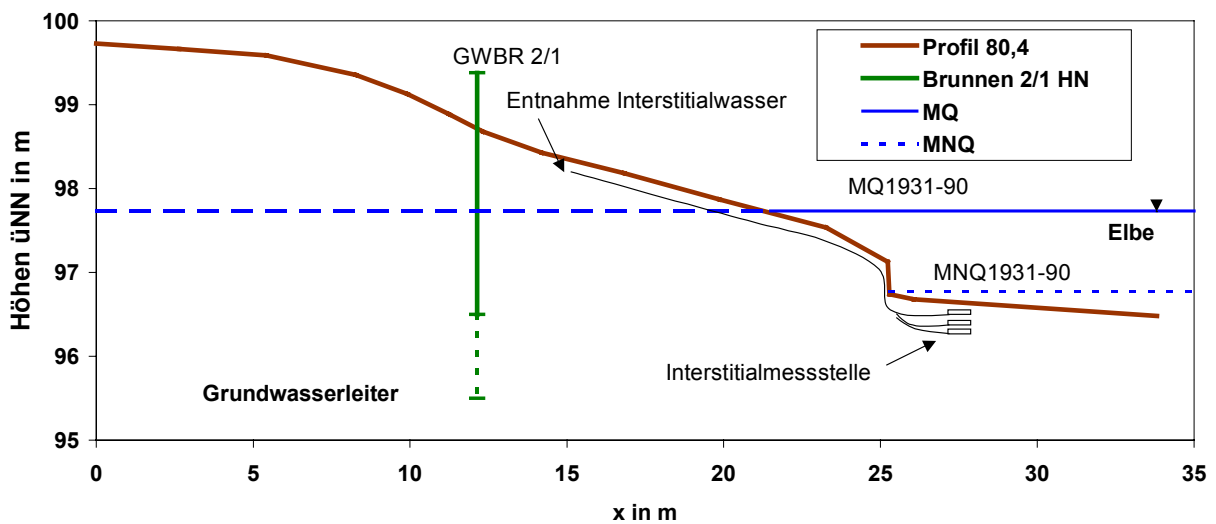


Abb. 7: Lage der Probenahmestelle Meissen-Siebeneichen

Abb. 8: Teilprofil und Anordnung der ufernahen Interstitialmessstellen und Grundwasserpegel in Meissen-Siebeneichen (km 80,4)

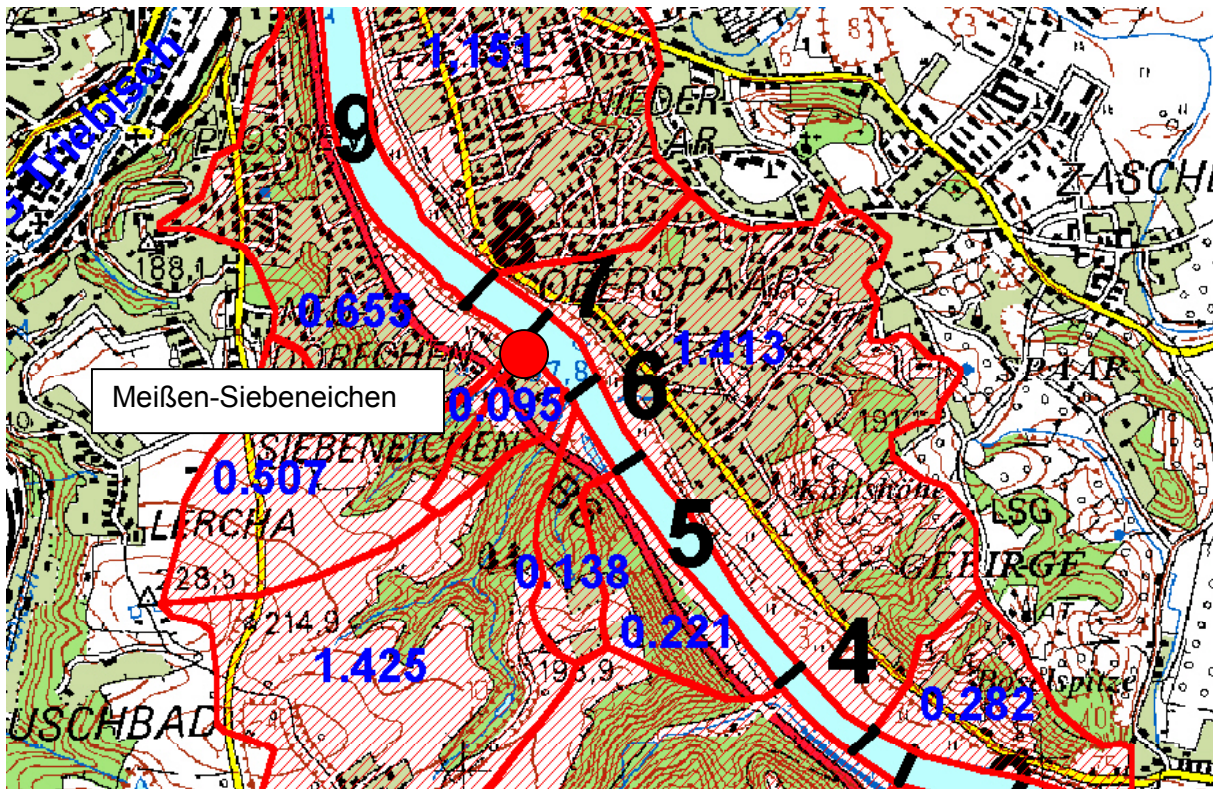


Abb. 9: Zuordnung der Teil-EZG zur Probenahmestelle Meißen-Siebeneichen

3.1.4 Belgern

Die Probenahmestelle Belgern wurde ursprünglich nach folgenden Eigenschaften ausgewählt:

- geringe Korngröße, jedoch kaum Feinsand und Schluff,
- Lage am Prallhang,
- Lage außerhalb des Einwirkungsbereiches des Wasserwerkes Torgau und
- keine Buhnen.

Wie bereits erwähnt konnte die Messstelle nicht vor wiederholter Zerstörung geschützt werden und wurde deshalb zugunsten der Erweiterung des Untersuchungsprogramms in der Flussschleife Dresden-Übigau wieder aufgegeben. Deshalb liegen nur Daten einzelner Messkampagnen vor.



Abb. 10: Lage der Probenahmestelle Belgern (km 139,1)

3.2 Einsatz des Taucherschachtes

Die ersten Ergebnisse unserer Untersuchungen zum Nährstofftransport und –umsatz in der Elbe zeigen die komplexen hydrologischen, physikalischen und stofflichen Wechselwirkungen im Interstitial des Uferbereiches (Wasserstandsänderungen, Grundwassereinfluss, LANGE UND KRANICH 2000). Daraus wurde die Hypothese abgeleitet, dass sich die Prozesse im Interstitial in der Flussmitte von der Uferzone unterscheiden, da diese Faktoren hier einen geringeren Einfluss haben sollten. Diese Ergebnisse sind aber erforderlich, um verallgemeinerungsfähige Aussagen treffen zu können. Bisher bestand das Problem, wie es technisch und organisatorisch durchführbar wäre, in der Flussmitte einer großen Schifffahrtsstraße in Tiefen bis zu 3 Metern wissenschaftliche Untersuchungen durchzuführen (EIDNER UND KRANICH 2002; 2003). Deshalb hatte die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) zum ersten Mal eine Messkampagne initiiert, die mit Hilfe des Taucherschachts wissenschaftliche Untersuchungen und Probenahmen direkt am Gewässergrund ermöglichte. In Kooperation mit der Ecosystem Saxonia GmbH und den Wasser- und Schifffahrtsämtern (WSÄ) Dresden und Magdeburg wurden die Einsätze koordiniert und durchgeführt. Die wissenschaftlichen Untersuchungen und Probenahmen erfolgten an 8 Messpunkten in Dresden und an 9 Messpunkten in Coswig und Magdeburg. Neben den genannten Einrichtungen beteiligten sich noch weitere Institute, insbesondere die TU Dresden, Institut für Mikrobiologie und das Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei Berlin. An allen Probenahmestellen

wurden im Juni 2001 Temperatursensoren eingebracht und im Oktober / November 2001 wieder entnommen.

- Dresden Übigau, im Bereich der Standardmessstelle, Fluss-km 62,1 bis 62,3
- Coswig, Fluss-km 233,2 bis 233,4
- Magdeburg, unterhalb automatischer Messstation, Fluss-km 318,7 bis 319,3



Abb. 11: Einsatz des Taucherschachtes mit angehobenem Schacht (links) und mit abgesecktem Schacht (rechts) in Dresden

- **Prinzip des Taucherschachtes**

- Kein eigener Antrieb, Transport mit Zugschiff(en)
- Positionierung über Seilwinden, Einmessung der Messstellen durch Vermesser
- Absenkbarer Schacht bis max. Wassertiefe 3,10 m, unten offen
- Einstieg von oben über Druckschleuse im Schacht
- Arbeiten unter Überdruck direkt auf dem Gewässergrund
- Restwasserstand über dem Sediment in Abhängigkeit der Absetztiefe des Schachtes regulierbar bis auf wenige Zentimeter
- Freie Arbeitsfläche auf dem Grund ca. 2 m² und zusätzliche
- Plattformen zum Abstellen von Arbeitsmaterial
- Optimale Personenzahl für Untersuchungen 3-4 Wissenschaftler

Die Auswahl der Messpunkte erfolgte in gegenseitiger Abstimmung für Dresden - Standardmessstelle ECOSYSTEM SAXONIA, grobkörniges Sediment - für Coswig – Untersuchungsgebiet des IGB an Bühnen, feineres Sediment – und für Magdeburg - Einbeziehung sehr feines Sediment -. Die Lage der einzelnen Messpunkte kann den folgenden Abb. 12 bis

Abb. 14 entnommen werden. In Dresden musste die Verteilung der Messpunkte auf die rechte Flusshälfte beschränkt werden, da linksseitig Fels am Gewässergrund vorliegt. Dies hatte wiederum zum Vorteil, dass eine genauere Charakterisierung der Beziehung zwischen ufernaher Messstelle und Flussmitte möglich wurde.

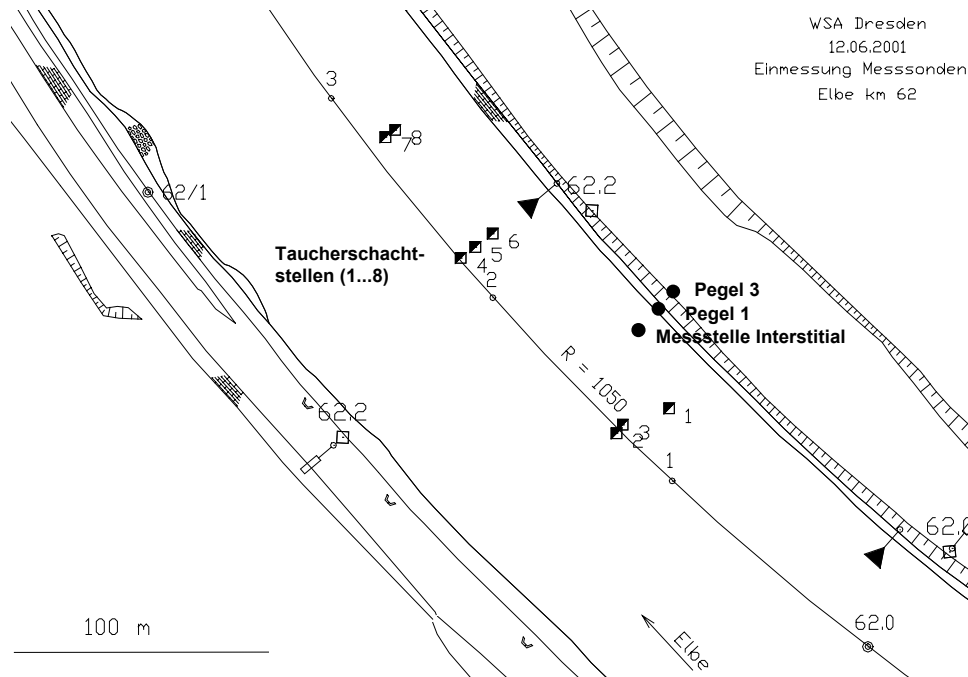


Abb. 12: Dresden-Übigau, Fluss-km 62,1-62,3 Lageplan der Messstellen des Taucherschachtes und der ufernahen Standardmessstelle

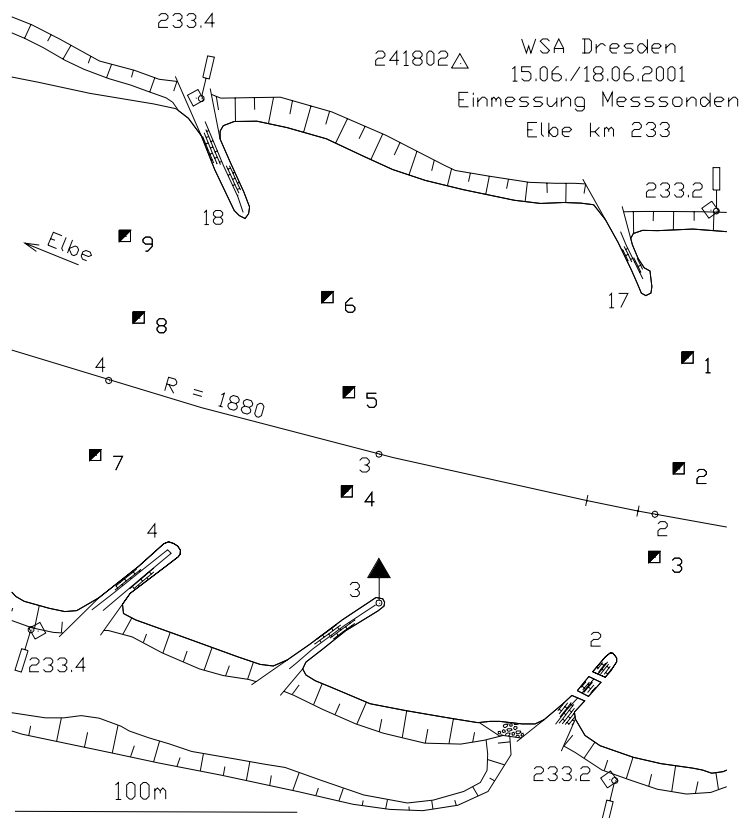


Abb. 13: Coswig, Fluss-km 233,2-233,4 Lageplan der Messstellen des Taucherschachtes

In Coswig wurden die Messpunkte im Bereich der vom IGB untersuchten Bühnen angeordnet. Im vorliegenden Bericht wird hierbei und für Magdeburg im wesentlichen auf die ausgewerteten Temperaturdatenlogger und die Korngrößenanalysen eingegangen. Soweit uns Daten vorliegen, können einige der durch die mitwirkenden Institutionen erhobenen Daten einbezogen werden.

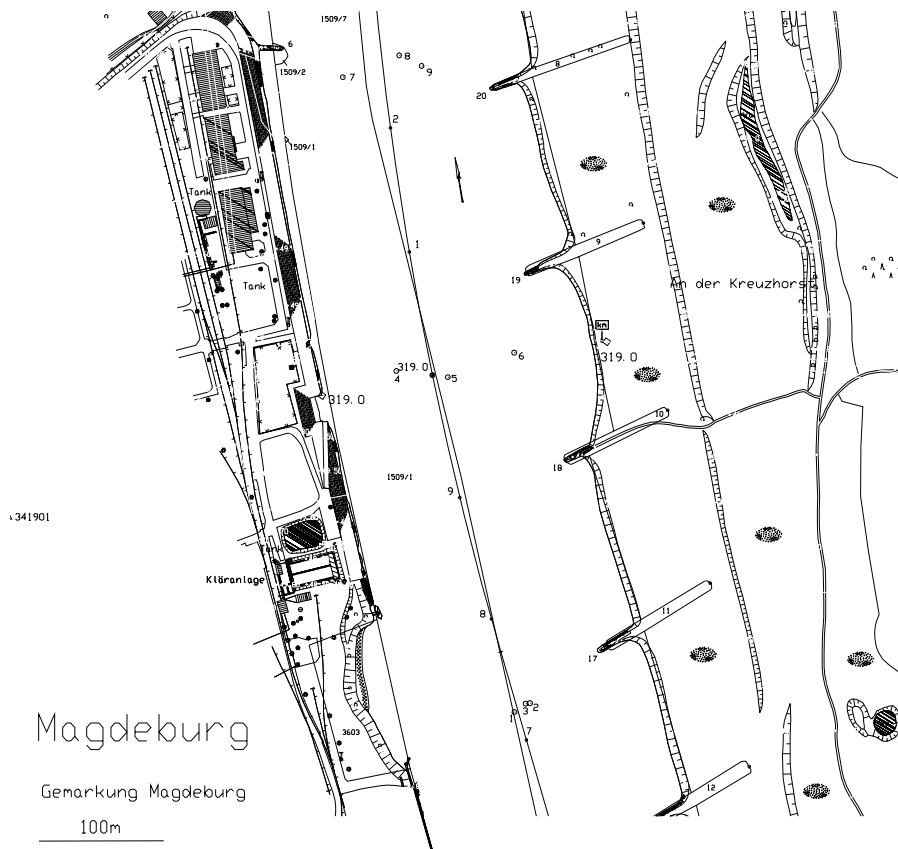


Abb. 14: Magdeburg, Fluss-km 318,7-319,3 Lageplan der Messstellen des Taucherschachtes

3.3 Abflusssituation

Der Untersuchungszeitraum 2001 unterschied sich in Bezug zur Abflusssituation vom Jahr 2000. Während im Jahr 2000 auf ein ausgeprägtes Frühjahrshochwasser eine lange Periode niedriger Wasserführung bis zum Ende des Jahres folgte, erreichte die Elbe im Jahr 2001 nicht so hohe Hochwasserereignisse. Allerdings fiel der Wasserstand nur selten auf niedrige Werte und die Ganglinie wurde immer wieder durch Anstiege des Abflusses unterbrochen. Daraus resultierte eine teilweise Beeinträchtigung des Untersuchungsregimes, die sich auch in einer zeitlichen Verschiebung innerhalb der zweiten Taucherschachtkampagne widerspiegelte. Durch die nicht so extremen Hochwässer überschritt die mittlere Abflussmenge 2001 mit $MQ = 320 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ allerdings das langjährigen Mittel der Wasserführung von $MQ = 324 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ nicht (1931-1995, Angabe hydrologisches Jahr; SMUL 1998). Der mittlere Abfluss im Jahr 2000 lag mit $310 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ etwas niedriger. Eine genaue statistische Analyse der Wasserstände wird in Kapitel 4.1 ausgewertet.

Wasserstand der Elbe am Pegel Dresden (2000 - 2001)

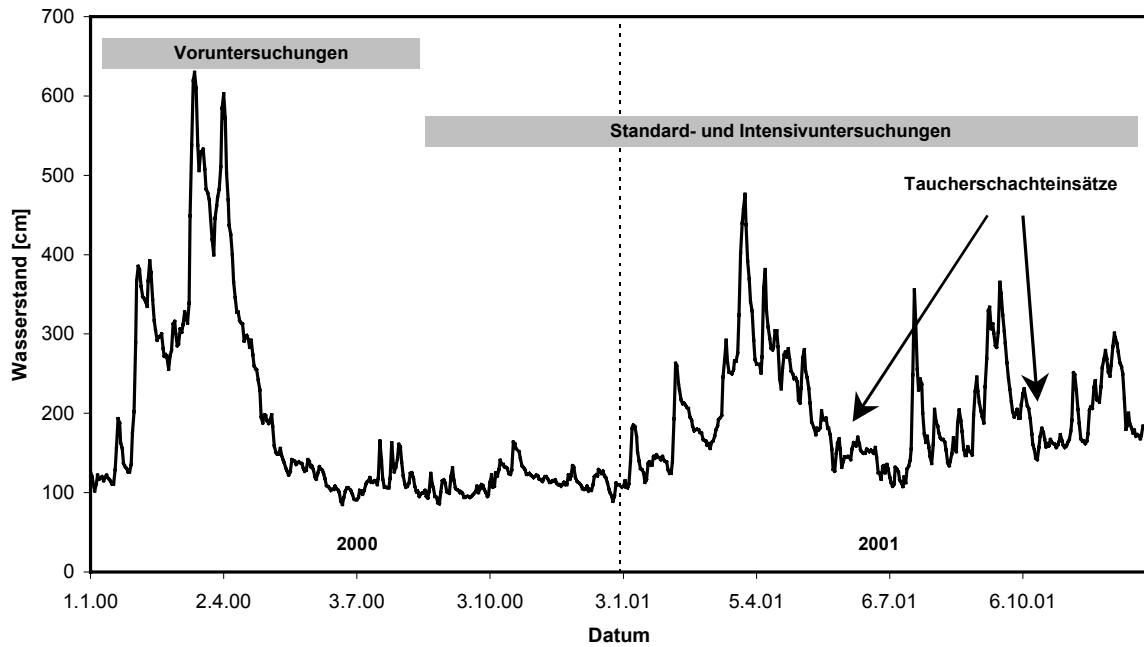


Abb. 15: Wasserstand der Elbe in den Untersuchungsjahren 2000 und 2001 am Pegel Dresden (Tagesmittel in cm)

3.4 Probenahmeeinrichtungen

3.4.1 Vertikale und horizontale Entnahmevorrichtungen

Zur Untersuchung des Interstitials sind verschiedene Methoden bekannt. Eine Methodenrecherche von PETERMEIER UND SCHÖLL (1996) trägt das vorhandene Wissen aus tierökologischer Sicht zusammen. Die Beprobung des Interstitialwassers erfolgt oft durch Rammsonden, in denen aus verschiedenen Horizonten bzw. Tiefen aus dem Interstitial Proben gezogen werden können. Eine derartige Probenahmeeinrichtung ist in der Abb. 16 dargestellt. Diese wurde z.B. an der Lahn eingesetzt (LENK ET AL. 1999). Bei dieser Beprobungsmethode können nur relativ geringe Probemengen entnommen werden obwohl dies oft nicht beachtet wird. Weiterhin begrenzen die notwendigerweise kurzen Ansauggitter die Untersuchung auf eine sehr kleine Fläche.

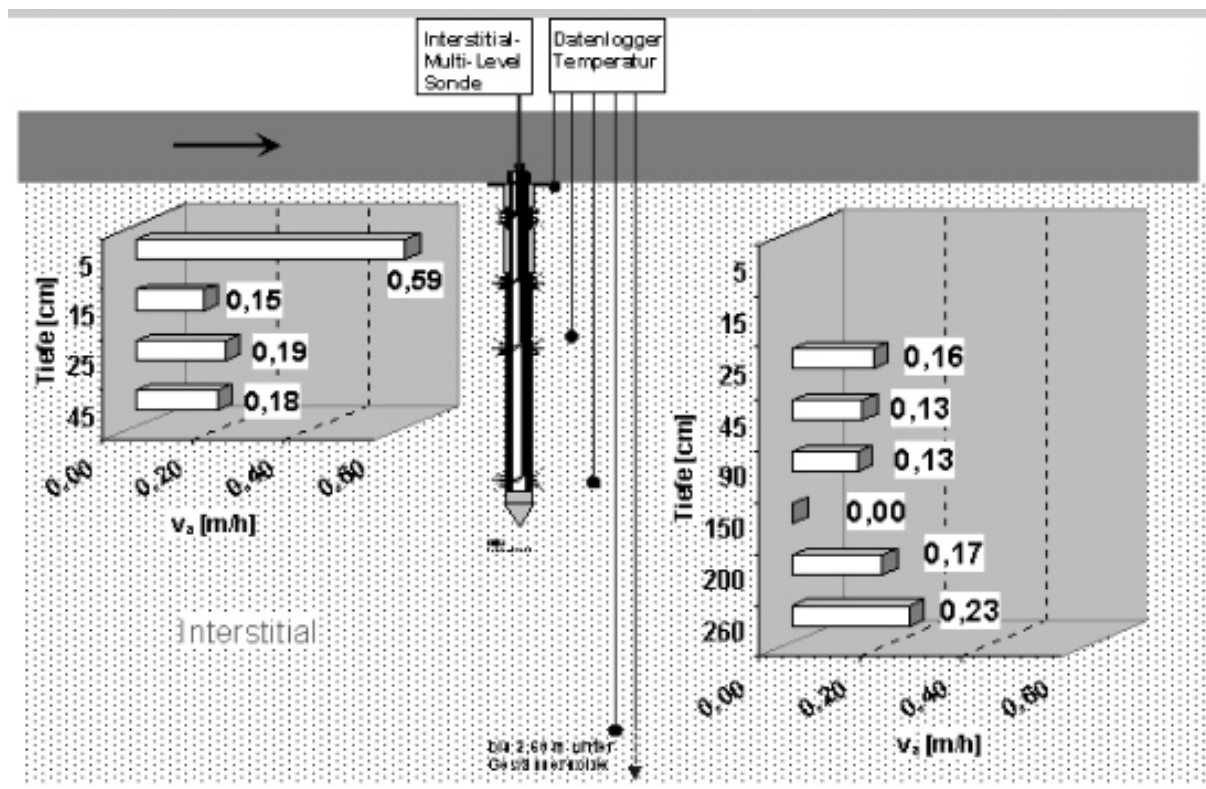


Abb. 16 Probenahmetechnik (Tracerversuch) durch Interstitial-Multi-Level-Sonde im Vergleich mit den Ergebnissen der Temperaturmessung (LENK ET AL. 2000)

Es ist zu erwarten, dass mit dieser Beprobungseinrichtung eine hohe räumliche Auflösung im Vertikalprofil erreicht werden kann. Für die punktuellen Untersuchungen beim Einsatz des Taucherschachtes wurde ein vertikales Einschlagsystem (Abb. 25) verwendet, da ein

Verlegen von Entnahmeschläuchen von der Flussmitte zum Ufer technisch nicht realisierbar und seitens der verantwortlichen Wasserbehörden in Zusammenhang mit der Schifffahrt nicht genehmigungsfähig war. Für Versuche in Altübigau vom Ufer tieferes noch ufernahes Interstitial zu beproben wurden ebenfalls die vertikale Einschlagmethode mit Unterstützung des WSA Dresden von einer Schute aus angewendet (Abb. 17). Die Schute blieb dann eine zeitlang in Ufernähe verankert und die Beprobung erfolgte direkt von der Schute, wobei die Entnahmeschläuche an schweren Ankerketten befestigt wurden. Allerdings erwies sich diese Methode als nicht so günstig, da veränderte Wasserführung und große Mengen an Treibgut trotz Verankerung die Position der Schute veränderte und wiederholt zum Abreißen von



Schläuchen führte.

Abb. 17: Installation der Probenahmestelle Altübigau mittels Verankerung einer Schute (links) und Probenahme direkt von der Schute (rechts)

Für die Bilanzierung des Stoffhaushaltes und das Ermitteln allgemeiner Zusammenhänge im Interstitial die sich aus dem kleinräumigen patch-work der Sediment- und Strömungsbedingungen ergeben, war es erforderlich die Probenahme dementsprechend zu gestalten. Aus der Grundwasserbeprobung sind vertikale und horizontale Filterausbildungen bekannt. Im Ergebnis der Beurteilung der einzelnen zu erwartenden Vor- und Nachteile der einzelnen Methoden wurde entschieden für die Standarduntersuchungen im ufernahen Bereich horizontale Filter in verschiedenen Tiefen in das Sediment der Elbe einzusetzen.

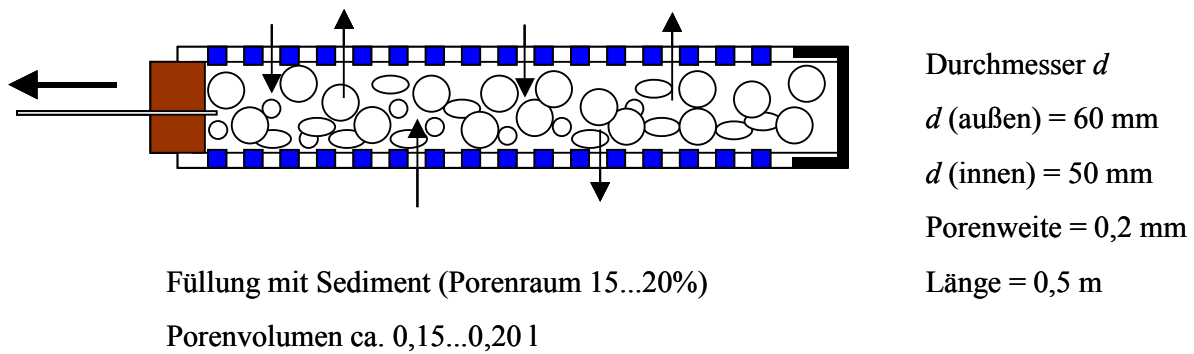


Abb. 18: Schematische Darstellung der horizontal eingebauten Beprobungsrohre (Material HDPE, geschlitztes Filterrohr)

Die Entnahme erfolgte nachdem das Schlauchvolumen entnommen und mindestens eine Mindestaustauschrate von 1,5 in der Filterstrecke erreicht wurde analog zu den Vorgaben bei der Grundwasserbeprobung. In Vorversuchen wurde anhand der Kriterien Leitfähigkeit, Sauerstoff und Temperatur das Erreichen einer weitgehenden Konstanz der Beschaffenheitskriterien überprüft und bestätigt.

Die horizontalen Beprobungsrohre wurden in drei Tiefen (Rohrmittelachse 40 cm, 25 cm und 13 cm unter Sedimentoberkante) übereinander und etwas versetzt eingebaut. Die Lage des oberen Rohres in 13 cm entspricht dem Einbau: Rohroberkante 10 cm Tiefe Rohrunterkante 15 cm Tiefe, Abgang des Entnahmeschlauches bei 13 cm. Der Einbau erfolgte jeweils in einer Uferentfernung von ca. 5 m bei Niedrigwasser ($Q < 120 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ am Pegel Dresden) um auch bei Niedrigwasserbedingungen noch beproben zu können. Zur Entnahme von Interstitialwasser wurden Membran- bzw. Doppelhubluftpumpen verwendet, wobei die Proben im Durchfluss in einer zwischengeschalteten Glasflasche ohne Kontakt zur Außenluft vorsichtig aufsteigend gesammelt wurden. Die Probenahme erfolgte über Schläuche vom Uferand, vom Boot bzw. innerhalb des Taucherschachtes.

3.4.2 Grundwasserpegel

Die Erkenntnisse aus den bisherigen Untersuchungen verdeutlichten die Bedeutung des Grundwassers für das ufernahe Interstitial. Deshalb wurden ufernahe Grundwasserpegel an der Standardmessstelle Dresden-Übigau und in Altübigau eingerichtet, wobei sich bei der aufwendigen Installation herausstellte, dass sich aufgrund der Bodenbeschaffenheit nur Pegelrohre aus Stahl eignen (Durchmesser 1½ Zoll). In Meißen wurden bei einigen

Untersuchungen vorhandene Pegelanlagen mit genutzt. Die Beprobung der



Grundwasserpegel erfolgte mittels Tauchpumpen.

Abb. 19: Ufernahe Grundwasserpegel an der Messstelle Dresden-Übigau (links) und Altübigau (rechts)

3.5 Untersuchungsmethoden

3.5.1 Bestimmung hydraulischer Gradienten

- Differenzdruckmessung mit Piezometer und Grundwasserstände

Die Bestimmung der hydraulischen Gradienten erfolgte durch Messung des Differenzdruckes zwischen verschiedenen Kompartimenten und Zonen. Dafür wurde ein spezielles Piezometer entwickelt, das kompatibel für die Beprobungseinrichtungen war (Abb. 20). An das Piezometer konnten sowohl die Entnahmerohre im Interstitial, als auch das Oberflächenwasser und die Grundwasserpegel angeschlossen werden. Über die Längenskala erfolgte die Ablesung der Druckgradienten bis auf einen Millimeter genau. Dabei wurden die Wassersäulen gemeinsam an einer „Luftblase angehängen“.

1. Wasser aus den verschiedenen Eingängen ansaugen
2. Luft einströmen lassen bis die Wassersäulen abgesenkt sind
3. Hahn schliessen und die Wassersäulen ausschwingen lassen

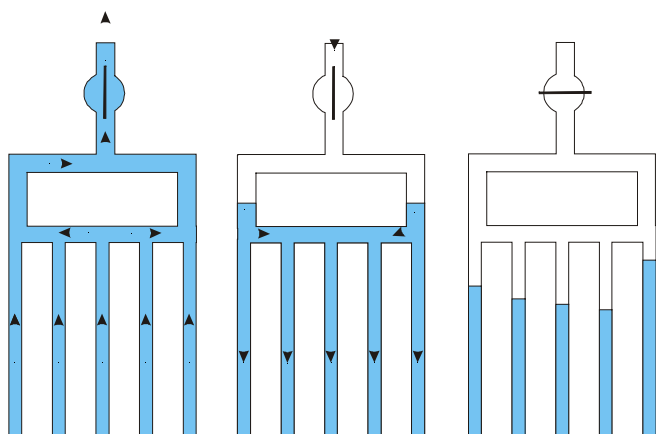


Abb. 20: Messprinzip und Abbildung des Piezometers (5fach-Anbindung) zur Bestimmung von Differenzdruckhöhen

Das Prinzip der Messung entspricht dem Prinzip der Darcy-Versuchsanordnung mit dem Unterschied, dass die Piezometerröhren nicht gegen den Luftdruck messen, sondern als Bezugsdruck einen durch die Ansaughöhe sich ergebenden Unterdruck haben. Damit wird es möglich oberhalb des Wasserdruckspiegels Messungen durchzuführen. Für die Untersuchungen an der Elbe wurden verschiedene Differenzdruckhöhenmesser konstruiert. Die maximale Säulenanzahl betrug 7 für die Messstelle Übigau (Elbe, 13 cm, 25 cm, 40 cm, Pegel 1, Pegel 1a und Pegel 3). In Altübigau wurden die Messungen von der Schute aus durchgeführt, wobei die 6 Interstitialmessstellen und die Elbe ebenfalls an das 7fach-

Piezometer angeschlossen wurden. Der gleichzeitige Anschluss des Pegels 4 in Dresden-Altübogau hat sich als nicht sinnvoll herausgestellt, weil die lange Schlauchverbindung durch ständiges Bewegen von Wind und Wasser zu ständigen Schwankungen beim Ablesen am Messgerät führte. Ebenso machte sich dieser Effekt bei der Bewegung des Bootes bemerkbar. Durch umsichtiges Anwenden mussten Fehler durch hängen bleibende Luftblasen vermieden werden. Weitere Probleme dieser Methode waren neben eingeschlossenen Luftblasen, vor allem Schwankungen durch Schiffsverkehr, böiger Wind mit erhöhten Wellenbewegungen und starke Strömungen an der Messsäule des Freiwassers. Während die realen Druckschwankungen z.B. durch Schiffe sehr schnelle Schwingungen hervorrufen und sich auch zügig wieder einpendeln, konnten Oberflächenwellen durch den Anbau eines Schaumstoffdämpfers gemindert werden. Die Validierung der Ergebnisse erforderte ein mehrfaches Einstellen der Druckhöhen.

Die Ergebnisse der ersten Untersuchungen stellten bereits die Bedeutung des Grundwassers für das ufernahe Interstitial heraus. Deshalb wurden ufernahe Grundwasserpegel eingesetzt, die sowohl die Ermittlung der Fließrichtung als auch physikalisch-chemische Beprobungen ermöglichen. Diese Brunnenrohre wurden exakt nach der Höhe zu vorhandenen Vermessungspunkten eingemessen. Durch Bestimmung der Lage des Grundwasserspiegels war dessen genaue Höhenlage ermittelbar. Der genaue Höhenbezug ermöglicht die Einordnung der anderen Kompartimente (Oberflächenwasser, verschiedene Schichten des Interstitials und weitere Grundwasserrohre) bezüglich der Höhenlage bei Messung der Druckdifferenz über das Piezometer.

- Differenzdruckmessung mit Schlauchwaage und Lichtlot

Die ersten Bestimmungen des horizontalen hydraulischen Gradienten und der Grundwasserfließrichtung im parafluvialen Bereich der Elbe erfolgte durch den Vergleich des Wasserstands der Elbe und der Grundwasserstände in den Pegeln 1 (ufernah) und Pegel 2 (uferfern). Diese Methode wurde später durch das Piezometer ersetzt. Da das Einbringen von Pegeln in die Elbe nicht genehmigt wurde, musste der Wasserstand indirekt gemessen werden. Für die ersten Untersuchungen wurde deshalb eine Wasserschlauchwaage, bestehend aus einem durchsichtigen Plastikschlauch (Innendurchmesser ca. 1 cm), verwendet. Die Enden wurde jeweils an einer skalierten Stange befestigt. Eine Stange wurde neben dem ausgemessenen Bezugspegel fixiert und die zweite in die Elbe gestellt. Nach luftblasenfreier Befüllung stellt sich durch die offenen Enden des Schlauches, die

Schwerkraft und den an beiden Seiten gleichen Luftdruck die gleiche Höhe der Wassersäule ein. Mit Hilfe des eingemessenen Pegels ist jetzt der Wasserstand der Elbe über die Schlauchwaage ermittelbar. Gleichzeitig kann die Höhe des Grundwasserspiegels mittels Lichtlot ermittelt werden. Die Nachweisgrenze dieser Methode lag allerdings nur bei ca. 1 cm Gefälle. Der Vergleich der Absoluthöhen von Grundwasser und Wasserstand ergibt dann die Druckdifferenz und die Fließrichtung. Die Verwendung des Piezometers erbrachte umfangreichere und genauere Resultate und löste deshalb diese Methode ab.

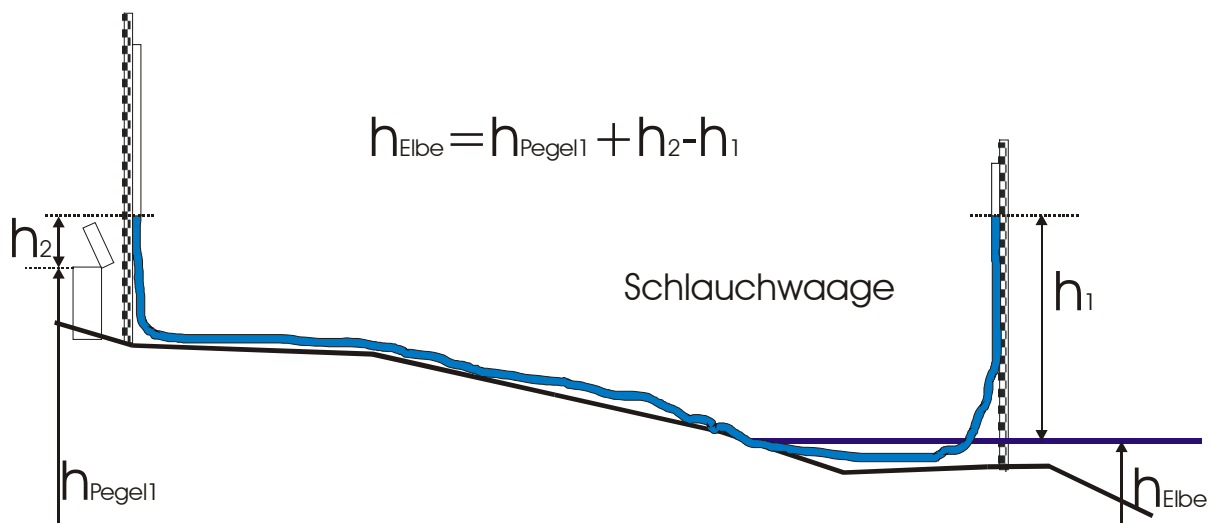


Abb. 21: Prinzip der Wasserstands- und Grundwasserstandsmessung mittels Schlauchwaage

3.5.2 Sedimentuntersuchungen

Zur Bestimmung der Sedimenteigenschaften wurden zahlreiche Sedimentproben entnommen und die Korngrößenverteilung nach DIN 18123 bestimmt. Dabei kamen entsprechende Siebe der Maschenweiten 16; 8; 4; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,125; 0,063 mm zum Einsatz. Die nur selten auftretenden größeren Fraktionen von größer 63 und 32,5 mm wurden von Hand ausgelesen. Die Abtrennung der Kornfraktionen erfolgte durch 10-minütiges maschinelles Sieben und manuelle Überprüfung mit eventueller Nachsiegung.

Es wurden die Korngrößenverteilungen von den Interstitialmessstellen, den Sedimenten aus der Flussmitte, von dem Taucherschachteinsatz und von der Rammsondierung des Pegel 1 untersucht. Aus diesen Daten können viele Informationen über die Sedimenteigenschaften gewonnen und für die Bilanzierung eingerechnet werden.

Die Ermittlung der wesentlichen Parameter D_{10} , D_{50} und D_{60} erfolgte anhand der jeweiligen Korngrößenverteilung. Das Verhältnis von D_{60} zu D_{10} bildete die Grundlage für die Bestimmung der Ungleichförmigkeit U , die sich auf die Porosität und den k_f -Wert auswirkt.

Grundlegend ist die Porosität n als Hohlraumanteil am Gesamtvolumen eines Sedimentes bzw. Bodens definiert. Die direkte Ermittlung kann aber nur bei Entnahme des Sedimentes ohne Beeinträchtigung des Gesamtvolumens erfolgen, was unter den gegebenen Bedingungen der Sedimentstruktur nicht möglich war. Die Porosität kann aber auch über die Korngrößenverteilung bestimmt werden, da eine Abhängigkeit zur Ungleichförmigkeit und zur Lagerung besteht (Abb. 22).

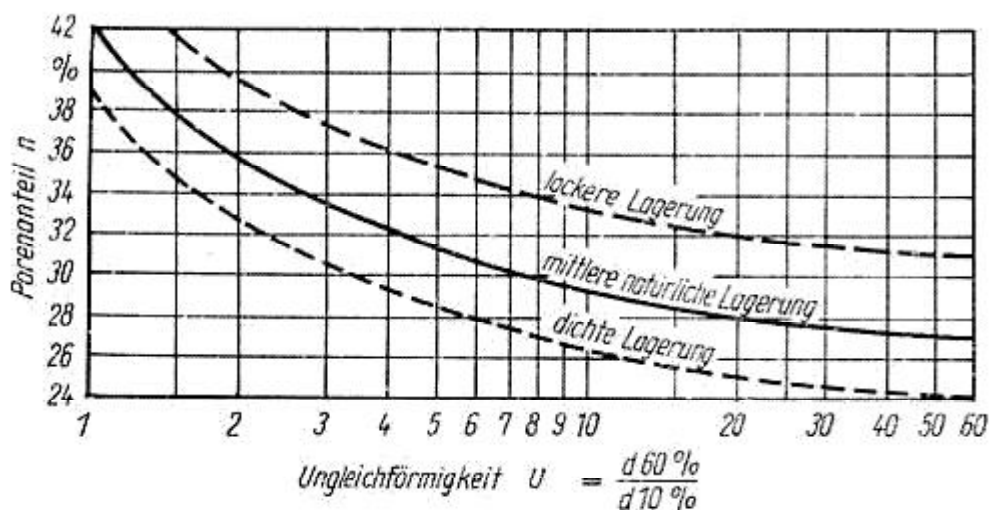


Abb. 22 Abhängigkeit der Porosität von der Ungleichförmigkeit und der Lagerung für Sande und Kiese (aus KITTNER ET AL. 1977, nach BEYER 1963)

Die beschriebene Porosität entspricht aber aufgrund adhäsiver und kapilarer Kräfte in den Porenkanälen nicht absolut der nutzbaren Porosität. Unter Betrachtung der Beziehung beider Größen (Abb. 23) wird deutlich dass nur bei sehr feinen Sedimenten die nutzbare Porosität deutlich niedriger ist. Bei den untersuchten Elbsedimenten ist von maximal 5 % nicht durchflusswirksamer Porosität auszugehen, was in die Berechnungen einbezogen wurde.

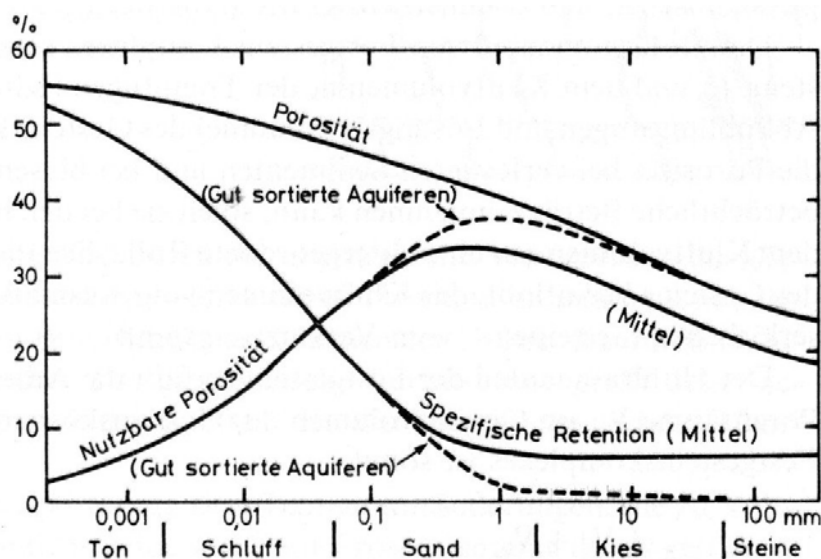


Abb. 23: Beziehungen zwischen Gesamtporen-, Nutzporen- und Haftwasserraum in Abhängigkeit von der Korngröße klastischer Sedimente (aus MATTHES UND UBELL 1983)

Für die Ermittlung des hydraulischen Durchlässigkeitsbeiwertes k_f aus der Siebkornganglinie gibt es verschiedene Gleichungen mit unterschiedlichsten Einschränkungen und Vereinfachungen. Als problematisch erwies sich, dass sich diese hydrogeologischen Gleichungen auf Grundwasserleiter beziehen und entsprechenden empirischen Versuchen entstammen, die die Besonderheiten der Flusssedimente („Stufenbildung in der Siebkurve“; hohe Ungleichförmigkeit; Beprobung der Feinsedimente für D10 als wichtige Eingangsgröße schwierig etc.) nicht integrieren können.

Häufig werden Gleichungen mit einem Bezug auf D10 und D60 eingesetzt. Da wie beschrieben das Verhältnis Porosität / nutzbare Porosität in den untersuchten Elbsedimenten eine untergeordnete Bedeutung besitzt wurde folgende, oft verwendete Beziehung nach (BUSCH UND LUCKNER 1974) eingesetzt.

$k_f = C^* \cdot d_{10}^2$	$[m s^{-1}]$	k_f	hydraulischer Durchlässigkeitsbeiwert
		C^*	Proportionalitätsfaktor $[10^4 m^{-1} s^{-1}]$
		d_{10}	Korngröße bei 10 % der Siebkurve [mm]

Den Proportionalitätsfaktor C^* kann man der Abb. 24 entnehmen. Die auf Laborversuchen basierende Kurve ist für $d_{10} = 0,006-0,6$ mm und der Ungleichförmigkeit von $U=1-20$ erstellt worden, womit die Gültigkeit einiger Proben außerhalb des Bereiches tritt und eine

Näherung nur über theoretische Verlängerung der Kurven möglich war. Noch problematischer erscheint die hohe Bedeutung von D10, da das Vorhandensein und der Nachweis der Feinststoffe in den Flusssedimenten nicht vergleichbar zu Grundwasserleitern ist und diese offensichtlich nicht in die empirischen Versuche aufgenommen wurden.

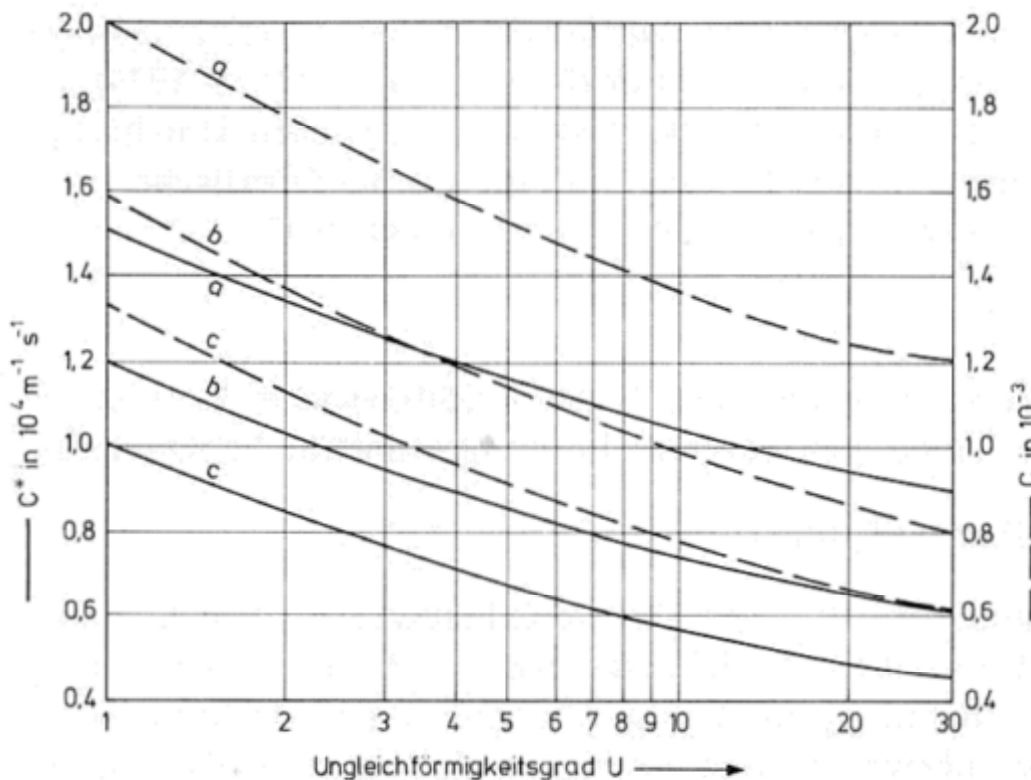


Abb. 24: Proportionalitätsfaktoren C^* und C^{**} aus der Beziehung zwischen Ungleichförmigkeit, Durchlässigkeit und Durchlässigkeitsbeiwert für Sande und Kiese a) lockere Lagerung, b) mittlere natürliche Lagerung, c) dichte Lagerung (aus MATTHESS UND UBELL 1983)

Aus beschriebenen Gründen wurde versucht vergleichsweise eine Beziehung mit Schwerpunkt auf D50 einzusetzen. Aus der Literatur wurde eine empirische modifizierte SLICHTER-Gleichung entnommen, die in der Herleitung den Zusammenhang zwischen Durchlässigkeit, Porosität, Korndurchmesser und -form sowie spezifischer Oberfläche integriert (ZUNKER 1930, aus MATTHESS UND UBELL 1983). Allerdings beinhaltet diese Gleichung nur indirekt den Einfluss der Ungleichförmigkeit über die Porosität, die bei den Flusssedimenten eine große Bedeutung besitzt. Letztendlich erwies sich diese Gleichung als nicht anwendbar für die vorliegenden Proben.

3.5.3 Analyse der Wasserbeschaffenheit und Stoffumsatzraten

Die Proben wurden auf folgende Kriterien untersucht, wobei der Schwerpunkt neben den Standardparametern auf der Analyse der Nährstoffe lag:

Tab. 2: Untersuchungsparameter und Methoden bei der Untersuchung des Elbeinterstitials

Parameter	Methode
- physiko-chemische Untersuchung	
Wassertemperatur	DIN 38404-C4 (Durchflussmesszelle)
Sauerstoffgehalt	DIN 38408-G22 (elektrometrisch, WTW-Elektrode, Durchflussmesszelle)
pH-Wert	DIN 38404-C5 (Durchflussmesszelle)
Leitfähigkeit	DIN EN 27888
Redoxpotential (zeitweise)	DIN 38404-C6
- chemische Analysen	
Ammonium-N	DIN 38406-E5-1
Nitrit-N	DIN 38405-D10
Nitrat-N	DIN 38405-D9
ortho-Phosphat-P	DIN 38405-D11
Gesamtposphor	DIN 38405-D11
CSB	DIN 38409-H41
Gesamtstickstoff (TKN, Kjeldahl-N, zeitweise) (org. gebundener N und NH ₃ /NH ₄ -N)	DIN 38409-H 28
Zehrung (7d, zeitweise)	DIN 38409-52
Chlorid (zeitweise)	DIN 38405 D1-3
Sulfat (zeitweise)	DIN 38405 D 5-1

Untersuchungen zu Stoffumsatzraten führten in Kooperation die Technische Universität (TU) Dresden, Institut für Mikrobiologie und das Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) Berlin durch (KLOEP 2002). Die entnommenen Sedimente aus dem Interstitial wurden in Laborversuchen auf Respirations-, Denitrifikations-, und Nitrifikationsraten analysiert. Die Methoden beinhalteten optimale Bedingungen für die Mikroorganismen und entsprechen damit potenziellen Umsatzraten, die im Gewässer in der Regel nicht erreicht werden. Die Respiration wurde bei 20±1°C in durchströmter Röhre gemessen. Die Bestimmung der Denitrifikation (Acetylen-Block-Methode) erfolgte bei 23°C nach Zugabe von KNO₃ und Glucose und die Analyse der Nitrifikation bei 25°C nach Zugabe von NH₄Cl durch Messung

von Nitrit nach Hemmung der Nitritoxidation mit KClO_3 . Im Unterschied zu natürlichen Gegebenheiten wurden die N-Umsatzpotenziale in geschüttelten Flaschen exponiert.

3.5.4 Temperaturmessungen

Die detaillierten Messungen von Wassertemperaturen in Oberflächenwasser und Interstitial waren Grundlage zur Beschreibung der wesentlichen Transportvorgänge. Dies erforderte den Einsatz von automatischen Datenloggern die kontinuierlich über längere Zeiträume Daten aufzeichneten. Als definierte Messintervalle erwiesen sich 10 min als günstig. Während die ersten Versuche über das Eingraben und den Schutz mittels Schlauchstücken erfolgten, zeigte sich die Entwicklung einer vertikalen Konstruktion, die ins Sediment eingeschlagen werden konnte, als günstigere Variante mit exakter Tiefeneinstellung (Abb. 25, Abb. 26). Als Messtiefen wurde die Bodennahe Freiwassertemperatur und analog zu den Beprobungsröhren in der Regel die Tiefen 13, 25 und 40 cm gewählt.



(von links nach rechts) Mehrfachsensor, Mehrfachprobenehmer für den

Abb. 26: Einschlagen der vertikalen Untersuchungskonstruktionen (links), installierte Datenloggerkonstruktion (Mitte; Magdeburg-Flussmitte) und geborgene Datenlogger im Taucherschacht (rechts)

Die Auflösung der Sensoren betrug 0,15 °C. Eine Messfehlerkorrektur konnte nicht erfolgreich durchgeführt werden, da die Messfehler sich in Abhängigkeit der Messtemperatur und der Messdauer veränderten, so dass parallel zur Messung ein genauer Kalibrierlogger erforderlich gewesen wäre, der gleichzeitig an allen Stellen gemessen hätte. Deshalb erbrachte die Durchführung von Vergleichsmessungen im Labor mit einem Kalibrierthermometer für alle Logger bei verschiedenen Temperaturen vor und nach dem Einsatz der Logger im Freiland keine einsetzbaren Korrekturfunktionen, die die zeitlichen und temperaturabhängigen Abweichungen ausgleichen. Die geringsten Fehler treten um die 20°C auf, was dem für die Untersuchungen wichtigsten Temperaturbereich relativ hoher Wassertemperaturen und damit großer Unterschiede zwischen den verschiedenen Tiefen entspricht. Als Ausgleich wurden zahlreiche Datenlogger eingesetzt um die Fehler zu minimieren und tatsächliche Beziehungen zu ermitteln. Die umfangreichen statistischen Auswertungen zeigen, dass eindeutige Ergebnisse aufgrund dieser Messungen mit zum Teil sehr hohen statistischen Sicherheiten vorliegen. Die Durchführung und die Ergebnisse der statistischen Analysen sind in Kapitel 4.10 enthalten.

3.5.5 Traceruntersuchung

Zur Charakterisierung des Längstransportes wurden an der Probenahmestelle Dresden-Übigau Untersuchungen im Interstitial durchgeführt. Hierzu wurde eine weitere Beprobungsröhre als Injektionsröhre in 1 m Entfernung vor die Beprobungsstelle in einer Tiefe von 25 cm eingebaut. Der erste Versuch wurde unmittelbar nach dem Einbau am 20.09.2000 durchgeführt. Als Tracer wurde erwärmtes mit Natriumchlorid aufgesalztes Wasser verwendet, um weitgehend Dichteneutralität herzustellen. Die Tracer-Verteilung wurde vor Ort über die Temperatur- und Leitfähigkeitsmessung registriert.

Der Versuch wurde nach dem 6.10.2000 dreimal mit Farbstoff (Lebensmittelfarbstoff E 124) wiederholt. Die entnommenen Proben wurden im Labor photometrisch (Wellenlänge $\lambda = 440 \text{ nm}$) ausgewertet.

Zur direkten Bestimmung der Abstandsgeschwindigkeit und der Dispersionskoeffizienten im ufernahen Grundwasserleiter erfolgte im Sommer 2001 die Durchführung von

Tracerexperimenten durch Injektion von Tracern in die installierten ufernahen Grundwasserpegel.

3.5.6 Statistische Untersuchungen und Modellierung

Zur Datenauswertung wurden verschiedene statistische Methoden angewendet. Dafür wurde meistens die Software WinSTAT® für Excel Version 2001.1 eingesetzt. Zu den verwendeten Verfahren zählten:

- Basisstatistiken,
- Tests auf Unterschiede,
- Kreuzkorrelationen,
- Varianzanalysen,
- Clusteranalysen und
- Faktorenanalysen.

Die Erläuterung der komplizierteren Einzelmethoden erfolgt in Zusammenhang mit der Auswertung der Daten im jeweiligen Ergebnisteil.