

7 Substratverteilung in den untersuchten Bühnenfeldern

Bühnenfelder wirken als Sedimentfallen, die sowohl den örtlichen Bedingungen im Hauptstrom unterliegen, als auch, insbesondere bei Feinfraktionen, durch den Ferntransport beeinflusst sind. Wechselnde Abflussbedingungen im Jahresverlauf, die durch die Bühnen in ihren Folgen modifiziert werden, führen zu unterschiedlichen Prozessen. Dies ist an den Korngrößenverteilungen erkennbar. Neben der zeitlichen Komponente führen innerhalb der Bühnenfelder kleinräumig wechselnde Strömungen zu heterogenen Substratverhältnissen.

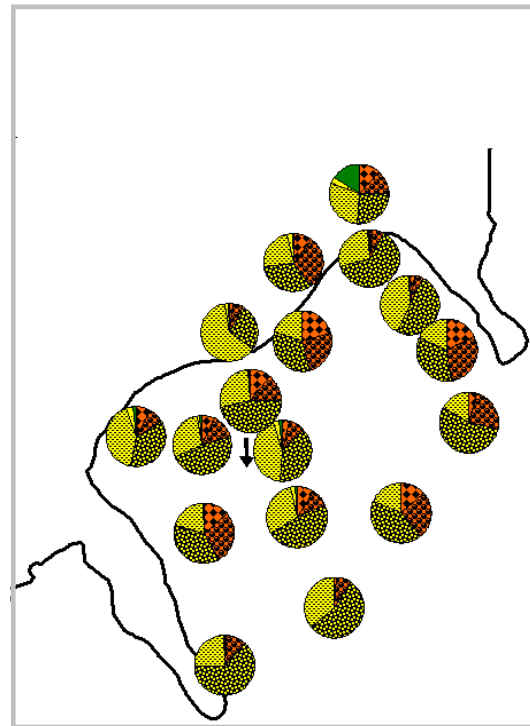
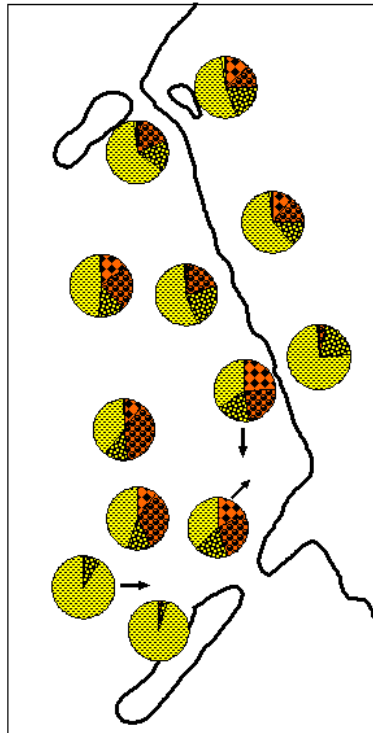
7.1 Räumliche Verteilung von Korngrößenfraktionen

Die beiden Untersuchungsräume von EI-km 418,2 bis 425 und von EI-km 440,2 bis 443,9 unterscheiden sich bezüglich durchschnittlicher Korngrößen des Hauptstroms erheblich, wie Untersuchungen der BFG (1994) zeigen (Kapitel 3, Abb. 3-6 und 3-9). Demnach nimmt die mittlere Korngröße (dm) von EI-km 425 bis EI-km 438 von 3,86 mm (Feinkies) auf 1,45 mm (Grobsand) ab. Dieser Unterschied ist auch in den Bühnenfeldern deutlich erkennbar.

Die unterschiedlichen Fraktionen der Substrate in den Bühnenfeldern zwischen Sandau und Havelberg (EI-km 418,2 bis 425) sind heterogen verteilt. In den Proben sind alle Korngrößen von Mittelkies bis Schluff und Ton vertreten. Tendenziell treten die gröberen Fraktionen in den äußeren flussseitigen Bereichen und in Durchrissen auf, während die feinen Fraktionen vorwiegend in den strömungsberuhigten Sekundärwalzen an den Bühnenwurzeln sowie unterhalb der Bühnenköpfe zu finden sind. Hier kommen auch Mudden vor. Diese Verteilung konnte in allen Bühnenfeldern festgestellt werden. Heterogene Korngrößenverteilungen werden durch die unterschiedlichen Strömungsverhältnisse innerhalb der Bühnenfelder verursacht. Die wechselnden Wasserstände und variierenden Strömungen im Jahresverlauf sowie Abweichungen von typischen Jahresganglinien führen innerhalb der Proben zu häufigen bimodalen Verteilungen verschiedener Fraktionen. Zu berücksichtigen ist, dass die Frachtmengen an Schwebstoffen in Abhängigkeit von den Abflussverhältnissen jährlich stark variieren können (SCHMIDT, DRÖGE 1999). Verschiedene Bereiche der Bühnenfelder weisen allerdings unabhängig von den Abflussverhältnissen weitestgehend gleichbleibende Bedingungen auf. Dies trifft vor allem auf ufernahe Bereiche sowie den Bereich am Bühnenkopf zu. Hier sind die Proben meistens gut sortiert.

In dem Bühnenfeld bei EI-km 418,2 liegen die feinsten Substrate unterhalb der stromaufgelegenen Bühne sowie im Bereich der stromaufgelegenen Bühnenwurzel. Die größten

Substrate befinden sich unterhalb des oberen Durchrisses sowie in der verlängerten Linie davon und sind durch die höheren Fließgeschwindigkeiten bedingt, die hier bei Mittel- und Hochwasser auftreten (Abb. 7-1).



Korngrößenverteilung (nach DIN)

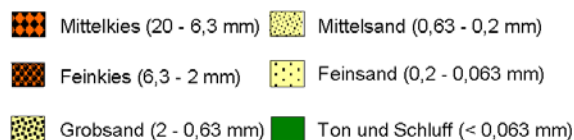


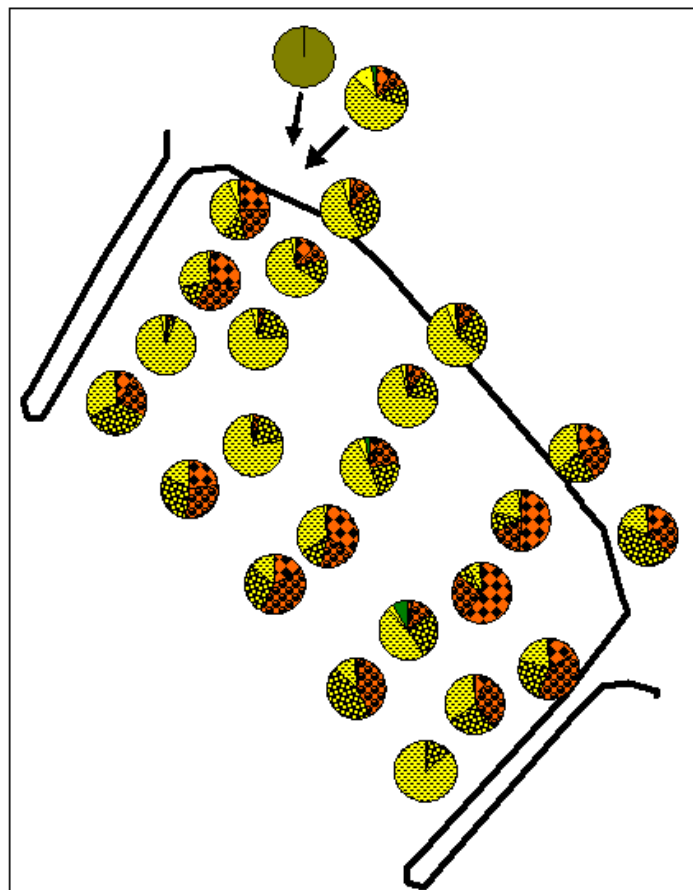
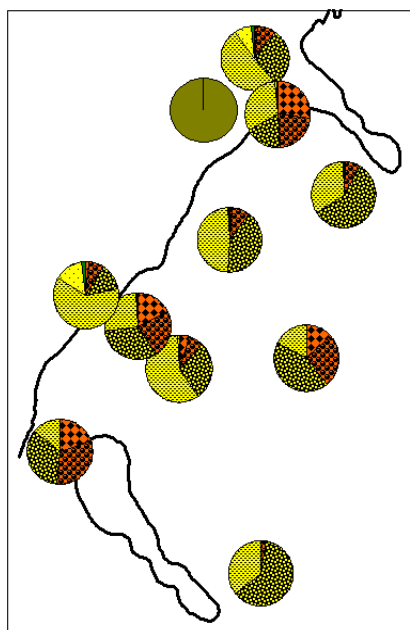
Abb. 7-1: Korngrößenverteilung in Bühnenfeld EI-km 418,2

Abb. 7-2: Korngrößenverteilung in Bühnenfeld EI-km 421

Ähnlichkeiten im Verteilungsmuster zwischen den in relativer Nähe zueinander und an einem Gleithang gelegenen Bühnenfeldern bei EI-km 421 (Abb. 7-2) und 421,8 (Abb. 7-3) bestehen entlang der Uferlinie sowie am stromaufgelegenen Bühnenkopf. Die Proben hinter dem Bühnenkopf weisen hohe Anteile an Feinsedimenten auf, was mit den dort auftretenden Verwirbelungen, den reduzierten Fließgeschwindigkeiten und den erhöhten Absinkbewegungen, besonders während der ausgeprägten Niedrigwasserperioden, zusammenhängt. Insgesamt sind in Bühnenfeld 421 entlang der Uferlinie die Korngrößen ebenfalls relativ kiesig und grobsandig, im zentralen Bereich sowie im Kolk unterhalb der reparierten Bühne jedoch feiner als in Bühnenfeld 421,8. Relevante Unterschiede wurden somit im mittigen Bereich der

Bühnenfelder festgestellt, wo aufgrund des Durchrisses in Bühnenfeld 421,8 höhere Kiesanteile als in Bühnenfeld 421 vorkommen. Auffallend ist in Bühnenfeld 421 im Kolkbereich ein bei Störung der Sedimente festgestellter intensiver Schwefelgeruch, was auf anaeroben Abbau organischen Materials hindeutet.

Das an einem Prallhang bei El-km 423,4 gelegene Bühnenfeld weist in den äußeren Bereichen sowie unterhalb der stromaufgelegenen Buhne hohe Kiesanteile mit über 75 % auf (Abb. 7-4). Insbesondere die unterhalb der oberstromigen Buhne festgestellten hohen Mittelkiesanteile sind allerdings mit hoher Wahrscheinlichkeit auf anthropogenen Einfluss zurückzuführen, da hier in einem Fall die Ablagerung von Material beobachtet werden konnte. Feinere Substrate treten in der unterstromigen Hälfte, sowie am oberstromigen Bühnenkopf und an der unterstromigen Bühnenwurzel auf.



Korngrößenverteilung (nach DIN)



Abb. 7-3: Korngrößenverteilung in Bühnenfeld EI-km 421,8

Abb. 7-4: Korngrößenverteilung in Bühnenfeld EI-km 423,4

Die größten Sedimente innerhalb des Untersuchungsgebietes wurden im stark verlandeten Bühnenfeld bei Havelberg bei El-km 425 (Abb. 7-5) gefunden. Hier bestehen abnehmende Gradienten der Kiesfraktionen von den zentralen Bereichen zu den stromseitigen und ufernahen Flächen. In den zentralen Bereichen liegen die Anteile zwischen 55 und 70 %. Ähnlich hohe Kiesanteile wurden in den Bühnenfeldern nur im Durchriss des Bühnenfeldes 421,8, an Einströmungsbereichen der Bühnenköpfe der stromabgelegenen Bühnen und an einer zentralen Stelle des Bühnenfeldes 423,4 (Abb. 7-4) entnommen, wobei an der letztgenannten Stelle abgelagertes Material vermutet wird. Das stark verlandete Bühnenfeld bei El-km 425 (Abb. 7-5), dessen überwiegend zerstörte Bühnen keine hydraulischen Funktionen mehr besitzen, bietet Vergleichsmöglichkeiten zur Beurteilung des Einflusses von Bühnen. Die Verteilungen sind wesentlich homogener als in den übrigen Bühnenfeldern, da strömungsberuhigte Abschnitte kaum vorkommen und der Sedimenttransport relativ ungestört ist. Auffallend sind die höheren Anteile an Grob- und Mittelsand in den äußeren Abschnitten in Nähe des Flussschlauches, während die ufernahen Bereiche überwiegend hohe Kiesanteile aufweisen.

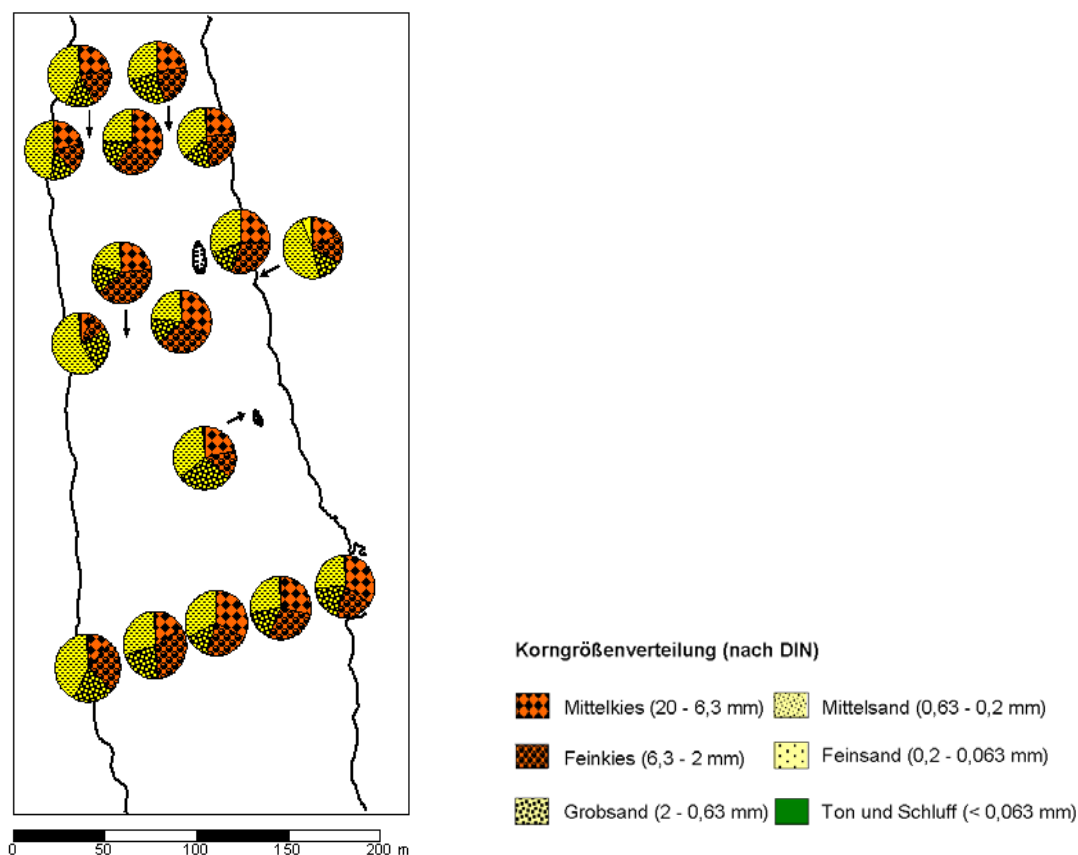


Abb. 7-5: Korngrößenverteilung bei El-km 425

Im zweiten Untersuchungsgebiet weisen sowohl die Knickbühnenfelder bei El-km 440,2-440,5 (Abb. 7-6) als auch die Regelbühnenfelder bei El-km 440,9 und 441 (Abb. 7-7) deutlich höhere Anteile feinerer Kornfraktionen auf als die ca. 20 km stromaufgelegenen Bühnenfelder im Raum Havelberg. Kiesige Fraktionen sind nur in einigen Proben enthalten und erreichen keine Anteile über 25 %. Die zusammengefassten Schluff- und Tonfraktionen sind hingegen wesentlich häufiger vertreten und erreichen Werte von teilweise über 75 %. Schluff und Ton kommen ebenfalls in den zentralen und äußeren Bereichen vor, besonders in Abschnitten, die auch bei höheren Wasserständen als eher strömungsberuhigt einzuordnen sind. Hervorzuheben sind vor allem die Proben in zentralen Bereichen der Bühnenfelder 440,3, 440, 440,5 und 441. Diese Flächen befinden sich bei nicht überströmten Bühnen (Abb. 6-28 und 6-30) im Mittelpunkt der Bühnenfeldwalzen, so dass es hier zum Absatz von Feinmaterial kommt. In den Bühnenfeldern 440,2 sowie 440,9 ist dieser Walzenmittelpunkt dagegen nicht so ausgeprägt bzw. durch die inselartige Verlandung verdrängt.

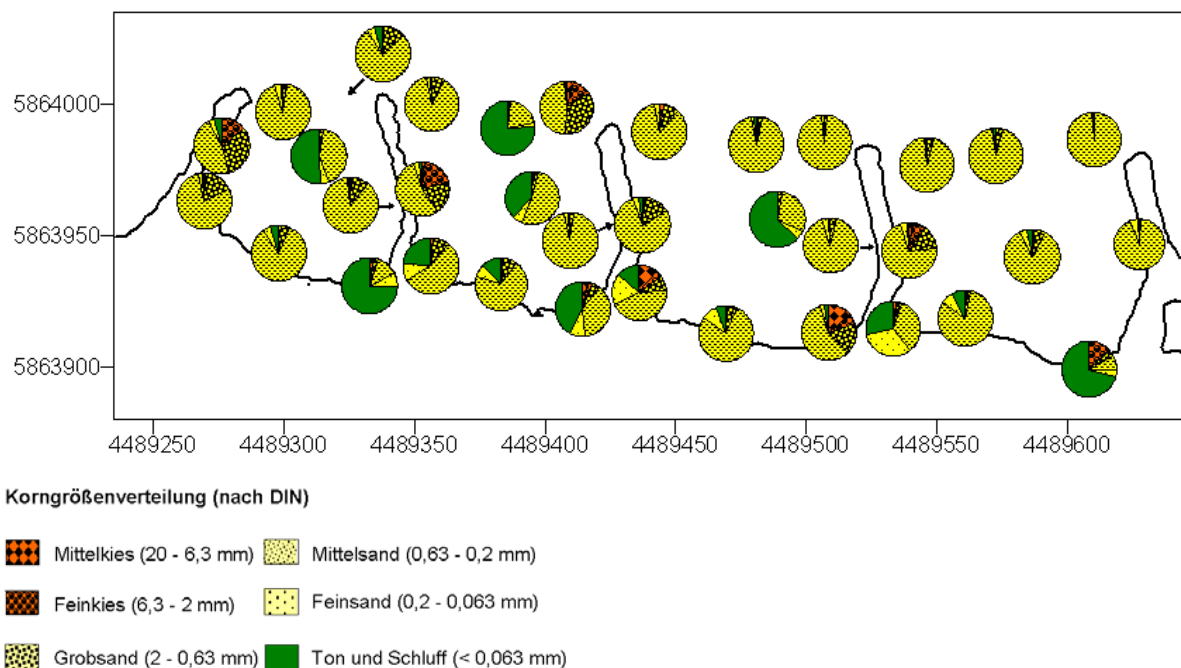


Abb. 7-6: Korngrößenverteilung in Knickbühnenfeldern El-km 440,2 bis 440,5

Das untypische Vorkommen von Kiesanteilen an den Bühnenwurzeln der neugebauten Knickbühnen ist vermutlich auf Einträge während der Bauarbeiten zurückzuführen. Ähnliche Zusammensetzungen von Proben sind in den Eckbereichen der Regelbühnenfelder 440,9 und 441 (Abb. 7-7) sowie 443,9 (Abb. 7-9) nicht nachzuweisen. Auffällig sind weiterhin Kies- und Grobsandanteile an den Knicken bzw. der Mitte der untersten Bühne bei El-km 440,5. Diese Bereiche sind sowohl bei Überströmungen als auch bei nicht überströmten Verhältnis-

sen erhöhten Fließgeschwindigkeiten ausgesetzt. Allerdings können auch hier baubedingte Einflüsse nicht ausgeschlossen werden. Hervorzuheben sind weiterhin die im Vergleich zum Raum Havelberg hohen Sand- und geringen Kiesanteile auf der äußeren Linie zwischen den Bühnenköpfen.

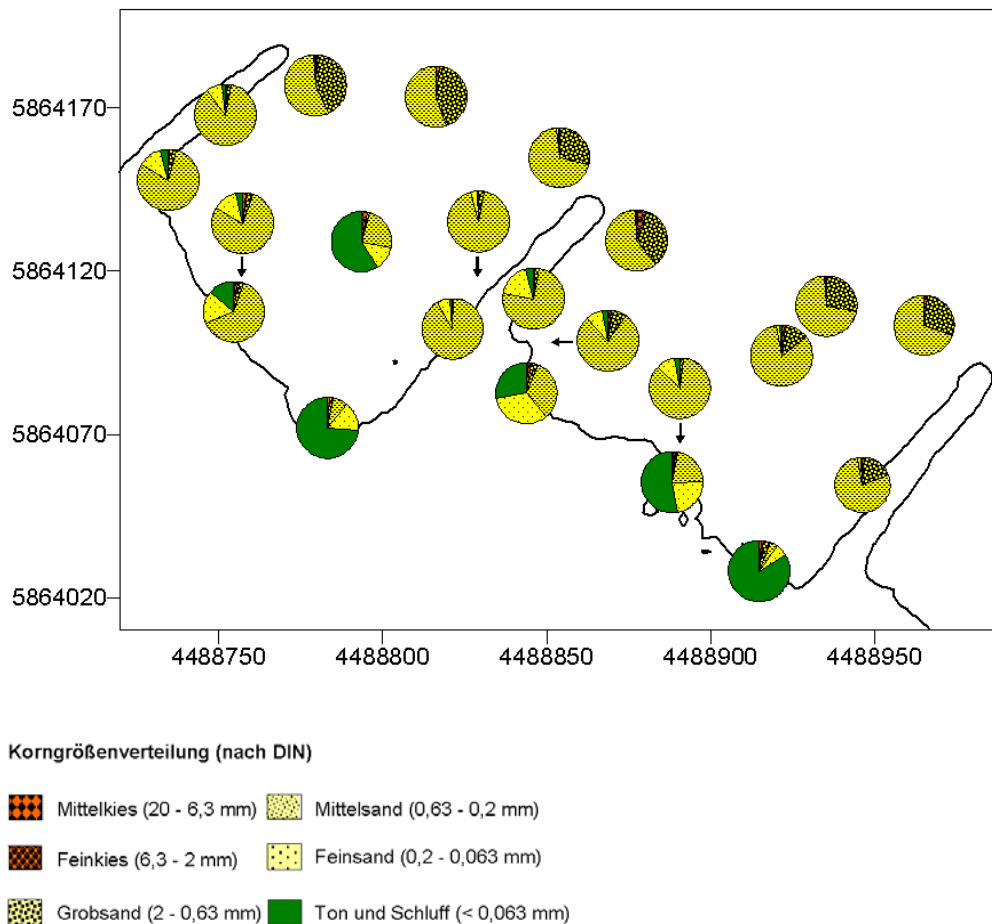
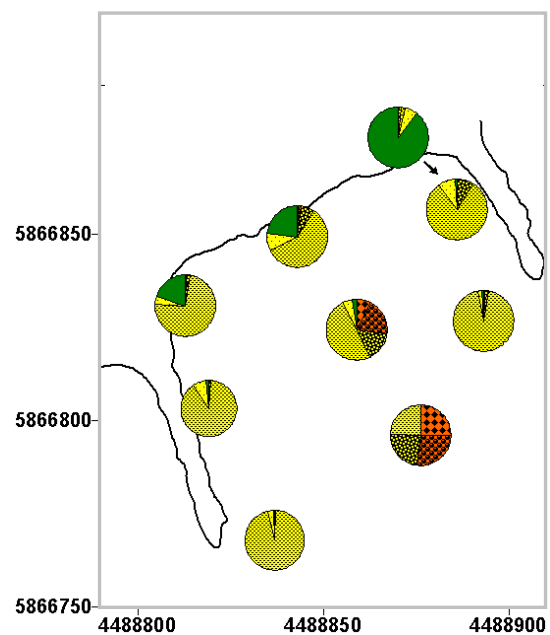
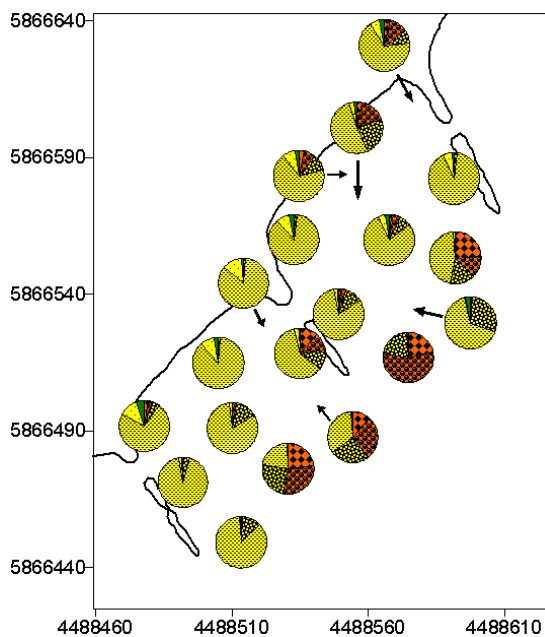


Abb. 7-7: Korngrößenverteilung in Bühnenfeldern El-km 440,9 und 441

Hohe Anteile an Feinsedimenten kommen in den Absenkungsbühnenfeldern nicht vor (Abb. 7-8), was auf erhöhte Fließgeschwindigkeiten unterhalb der Durchrisse bzw. Absenkungen zurückzuführen ist. Das geringe Auftreten von Feinmaterial in Ufernähe unterscheidet diese Bühnenfelder signifikant von den übrigen. Entlang der Uferlinie des stromabgelegenen Bühnenfeldes 443,6 sind sogar gröbere Sedimente als in den zentralen Bereichen vorhanden. Dies deckt sich auch mit den Strömungsverhältnissen bei Hoch- und Mittelwasser (Abb. 6-6 und 6-13), bei denen unterhalb des Durchrisses ufernah deutlich höhere Geschwindigkeiten erreicht werden als im zentralen Bereich. Diese Unterschiede zwischen ufernahen und zentralen Flächen sind in dem oberen Bühnenfeld 443,5 sowohl hinsichtlich der Strömungsverhältnisse bei Hochwasser als auch der Korngrößenverteilungen

nicht so ausgeprägt. Die hohen Kiesanteile in den äußeren Bereichen sind vermutlich auf die Lagen der Probenahmestellen zurückzuführen, die außerhalb des Bühneneinflusses im Bereich des Hauptstromes oder im Übergangsbereich lagen. In Bühnenkopfnähe von Bühnenfeld 443,5 wurden die hier üblichen hohen Sandanteile entnommen. Die Übergänge zum Hauptstrom sind relativ scharf. Wenige Meter entfernt in Richtung des Flussschlauches kommen bereits wesentlich gröbere Sedimente vor, wie die Probe in Bühnenkopfnähe des unteren Bühnenfeldes 443,6 zeigt.



Korngrößenverteilung (nach DIN)

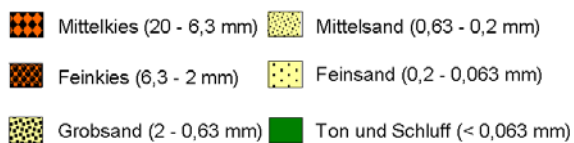


Abb. 7-8: Korngrößenverteilung in Bühnenfeldern EI-km 443,5 und 443,6

Abb. 7-9: Korngrößenverteilung in EI-km Bühnenfeld 443,9

Die Verhältnisse des Regelbühnenfeldes bei EI-km 443,9 (Abb. 7-9) gleichen denen der Bühnenfelder mit ebenfalls intakten und inklinanten Bühnen bei 440,9 und 441 (Abb. 7-7). Die ufernahen Proben weisen hohe Anteile an Schluff und Ton auf, während entlang der Bühnen die Mittelsandanteile überwiegen. Die mittlere äußere Probe ist bereits vom Hauptstrom beeinflusst. Hohe Kiesanteile treten allerdings im Zentrum des Bühnenfeldes auf. Die Ursache hierfür kann nicht erklärt werden, da hier bei allen Abflusszuständen keine erhöhten Strömungen festgestellt werden konnten (Abb. 6-7, 6-14, 6-34).

7.2 Häufigkeitsverteilung der Korngrößenfraktionen

Die unterschiedlichen Sedimentationsverhältnisse im Hauptstrom der bei Havelberg und der unterhalb der Havelmündung gelegenen Untersuchungsstrecken sind in Kapitel 3 anhand der Kornsummenkurven für die El-km 425 und 438 (Abb. 3-6 und 3-9) sowie für den gesamten Elbeverlauf anhand der mittleren Korngrößen beschrieben worden (Abb. 3-7). Abbildung 7-10 veranschaulicht die Häufigkeitsverteilung der einzelnen Fraktionen im Hauptstrom für die El-km 418 bis 444, als Grundlage für die Analyse unterschiedlicher Verteilungen in den Bühnenfeldern. Dabei lassen sich drei Flussabschnitte unterscheiden, die durch abrupte Wechsel der Kies- und Sandanteile abgegrenzt sind. Bis zum Elbeknie bei El-km 427 bestehen Kiesanteile von ca. 50 %, die ab El-km 428 von 27 % auf 3,3 % bei El-km 437 abnehmen. Die durchschnittliche Korngröße reduziert sich von 4 mm auf 1 mm. Ursachen sind der Wechsel der morphologischen Verhältnisse unterhalb der 90° -Flussbiegung sowie die drei Einmündungen der Havel zwischen El-km 423 und 438. Ab El-km 437 wechselt erneut das Verhältnis von Kies- und Sandanteilen und die Kiesanteile stabilisieren sich bei ca. 18 %. Es findet nach dem Übergang also eine Entmischung der Kornfraktionen statt, die zu einer Reduzierung der Feinanteile und über eine lange Strecke bis El-km 517 zu annähernd gleichbleibenden mittleren Korngrößen führen (vgl. Abbildung 3-7).

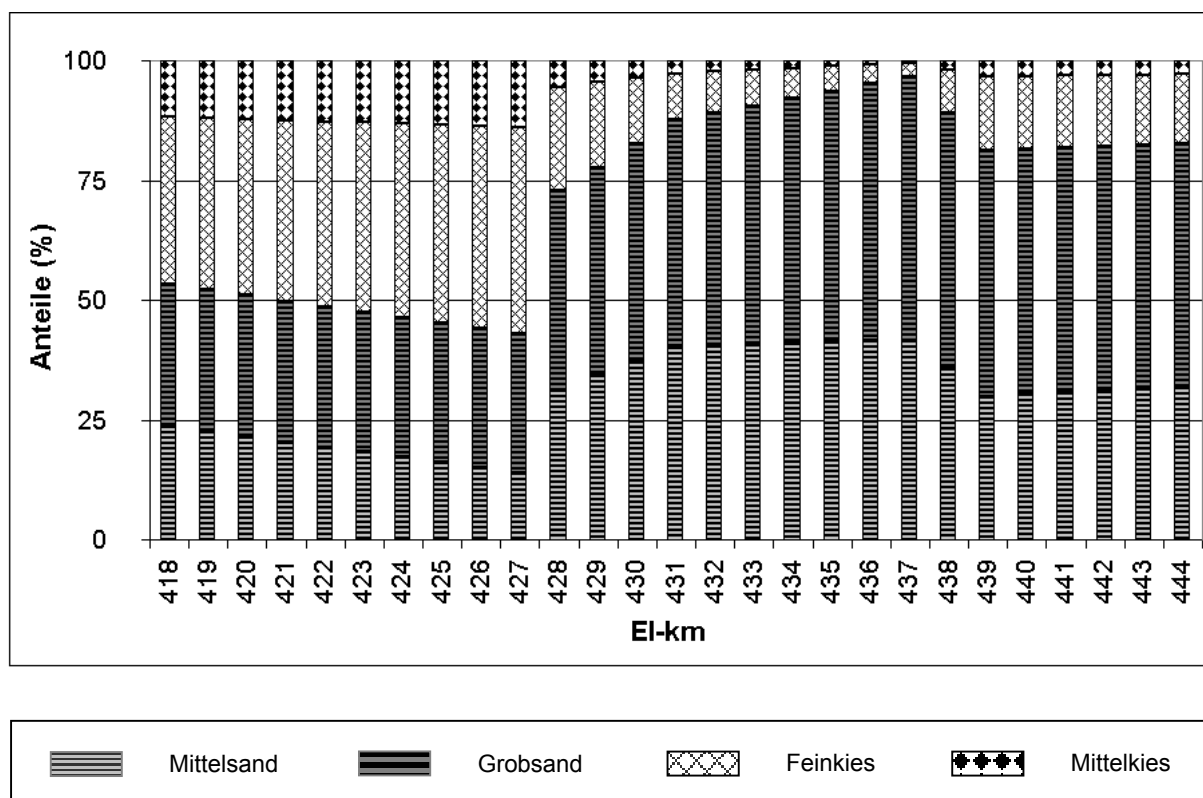


Abb. 7-10: Korngrößenverteilungen im Hauptstrom von El-km 418 bis 444 (Daten BFG 1994)

Für die kleinräumigen Verteilungen der Substrate innerhalb der Bühnenfelder sind die Strömungen der unterschiedlichen Abflusszustände relevant. Während des Winterhochwassers 1999 wurden Strömungen in dem Bühnenfeld bei El-km 423,4 stationär an repräsentativen Messstellen aufgezeichnet (Abb. 7-11) und ergänzend zu den ADCP-Strömungsmessungen (Kapitel 6) im Vertikalprofil ausgewertet. Für die tieferen Bereiche sind die Strömungsgeschwindigkeiten der unteren Abschnitte dargestellt, da die mit dem ADP von der Sohle in Richtung Wasseroberfläche aufgenommenen Vertikalprofile nur Reichweiten bis maximal 4 m haben. Das tiefste Profil wurde im Kolk hinter dem Bühnenkopf aufgenommen und verdeutlicht die Fließgeschwindigkeiten in Tiefen von 7,20 m bis 3,40 m. An der oberen Achse sind die verschiedenen Korngrößenklassen abgetragen, die nach DIN korrelierten kritischen Geschwindigkeiten für die Sohlbeschaffenheit sind der unteren Achse zu entnehmen.

Zulässige mittlere Fließgeschwindigkeit für Sohlenbeschaffenheit (DIN 19661) für

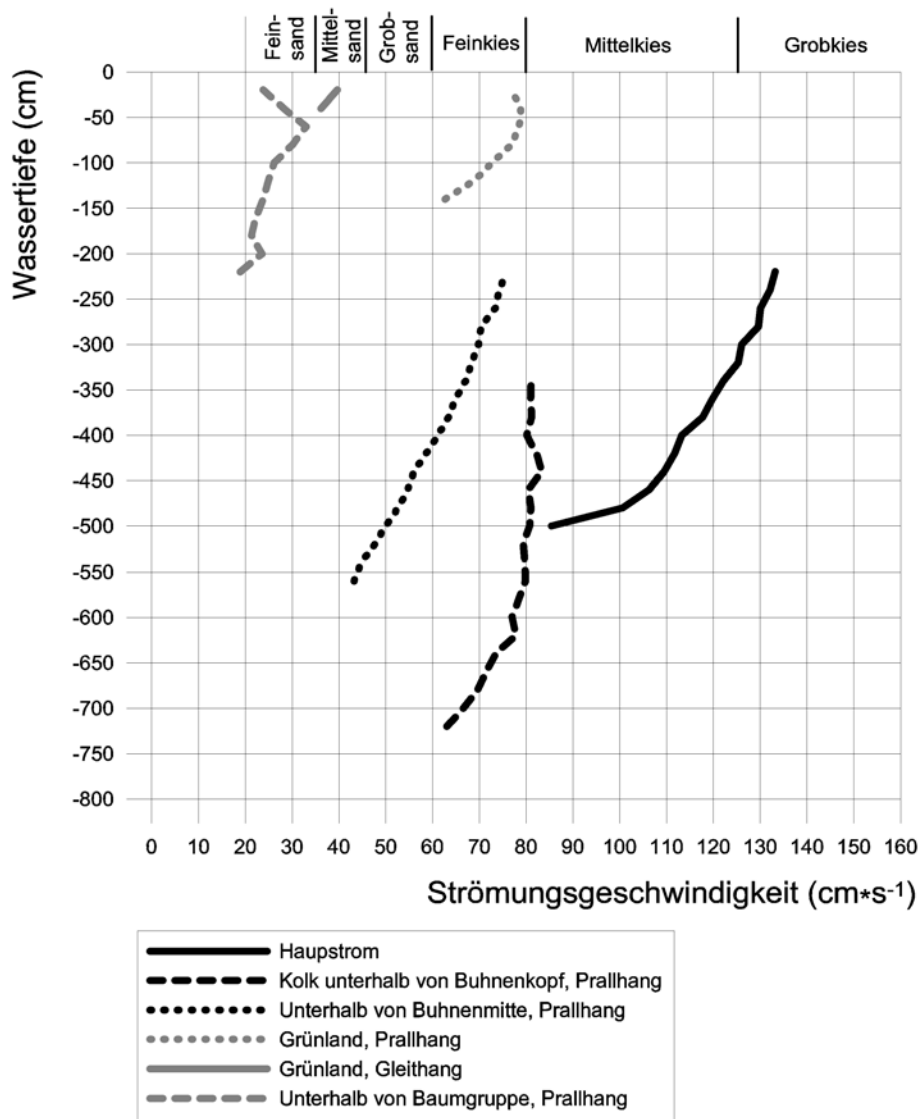


Abb. 7-11: Vertikalprofile der Strömung an ausgesuchten Stellen von Bühnenfeld 423,4 (Prallhang) und 421 (Gleithang) bei Hochwasser vom 11.3.1999, (Pegelstand Havelberg: 615 cm)

Im Hauptstrom wurden bei einem Wasserstand von 615 cm (Pegel Havelberg) mittlere Fließgeschwindigkeiten von bis zu $133 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ erreicht. 60 cm oberhalb der Sohle (der sohlennächste technisch mögliche Messwert) wurden allerdings Werte von $85 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ gemessen, womit Transport von Mittelkies möglich ist. Grobkies wurde in den Bühnenfeldern nicht festgestellt und ist in diesem Streckenabschnitt auch nicht vorhanden, wie Untersuchungen der Kornzusammensetzung des Hauptstroms durch die BFG (1994) belegen. Innerhalb von Bühnenfeld 423,4 sind die mittleren Fließgeschwindigkeiten deutlich geringer und erreichen nur noch 60 bis $80 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ innerhalb des Kolkes in Nähe des Bühnenkopfes, bis zu $75 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ mittig unterhalb der Bühne und $45 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ufernah. Die Strömungsgeschwindigkeiten werden demnach durch die Bühnen, auch bei einer deutlichen Überströmung von bis zu 2 m um ca. 50 % reduziert und nehmen von den stromseitigen zu den uferseitigen Bereichen stetig ab. Entsprechend verringern sich auch die Anteile gröberer Kornfraktionen in Richtung des Ufers wie die Abbildungen 7-4 und 7-15 belegen.

Hinter Gehölzen sind die Fließgeschwindigkeiten stark reduziert, mit entsprechend hohen Anteilen an Feinsedimenten im Strömungsschatten. Die Fließgeschwindigkeiten unterhalb einer Baumgruppe am Prallhang waren mit 20 bis $30 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ noch geringer als auf überströmtem Grünland am Gleithang bei Stromkilometer 421 und deutlich geringer als auf dem anschließenden Grünland am Prallhang bei Stromkilometer 423,4 (60 bis $80 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$). Gehölzen kommt deshalb aus ökologischer Sicht bei Hochwasserereignissen eine hohe Bedeutung als Ruhezone zu.

Zum Vergleich der Sedimente aller untersuchten Bühnenfelder wurden die entlang der mittigen Querprofile liegenden Proben analysiert, da diese am wenigsten von Baumaßnahmen beeinflusst sind und die wechselnden kleinräumigen Verhältnisse gut wiedergeben. In der Tendenz nehmen die gröbereren Korngrößen vom Ufer Richtung Hauptstrom in allen Bühnenfeldern zu, größere Anteile gröberer Fraktionen befinden sich in den äußeren Bereichen der Bühnenfelder, größere Anteile feinerer Fraktionen in den ufernahen Bereichen. In einigen Bühnenfeldern ist eine bimodale Verteilung mit Gipfeln beispielsweise im mittelsandigen und feinkiesigen Bereich sowie in den Bühnenfeldern unterhalb von El-km 440 im mittelsandigen und schluffig-tonigen Bereich feststellbar. Dies ist auf wechselnde Abflussverhältnisse im Jahresverlauf zurückzuführen, die bei überströmten und nicht überströmten Bühnen in einigen Bereichen der Bühnenfelder völlig verschiedene Sedimentationen bedingen. Im Hauptstrom sind die Häufigkeitsverteilungen unimodal, da die Abweichungen der Fließgeschwindigkeiten unterschiedlicher Wasserstände von durchschnittlich $80 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ bis $130 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ relativ geringer ausfallen als in Teilbereichen der Bühnenfelder.

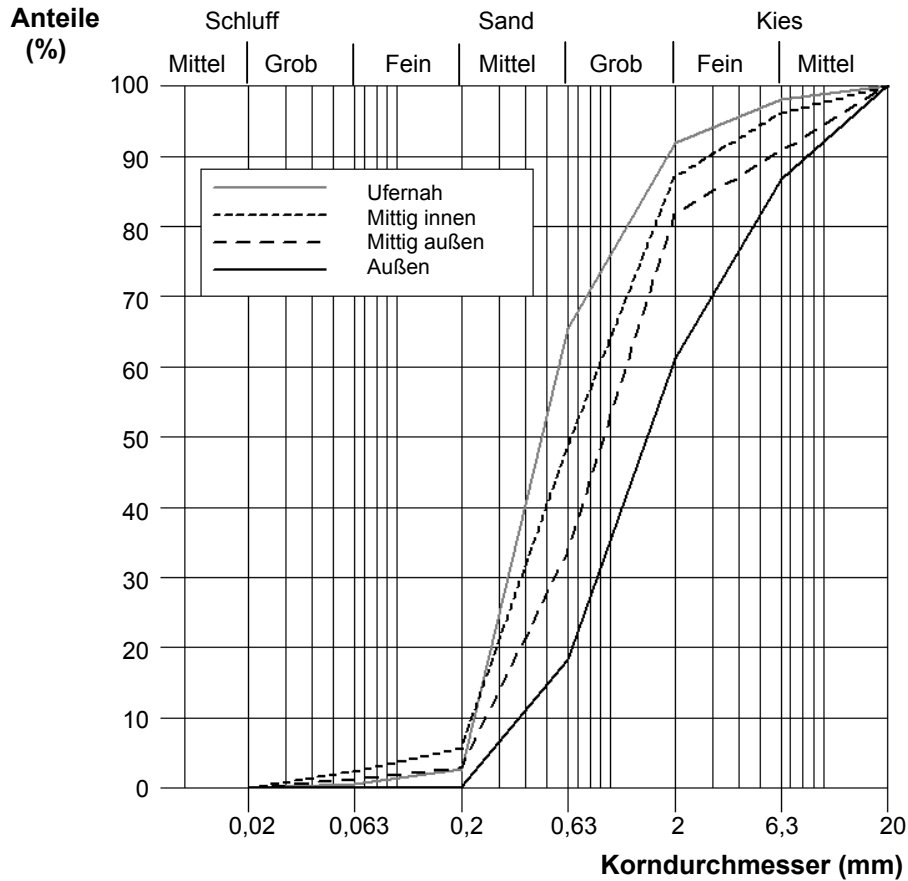


Abb. 7-12: Kornsummenkurven an Querprofil in Bühnenfeld bei El-km 421

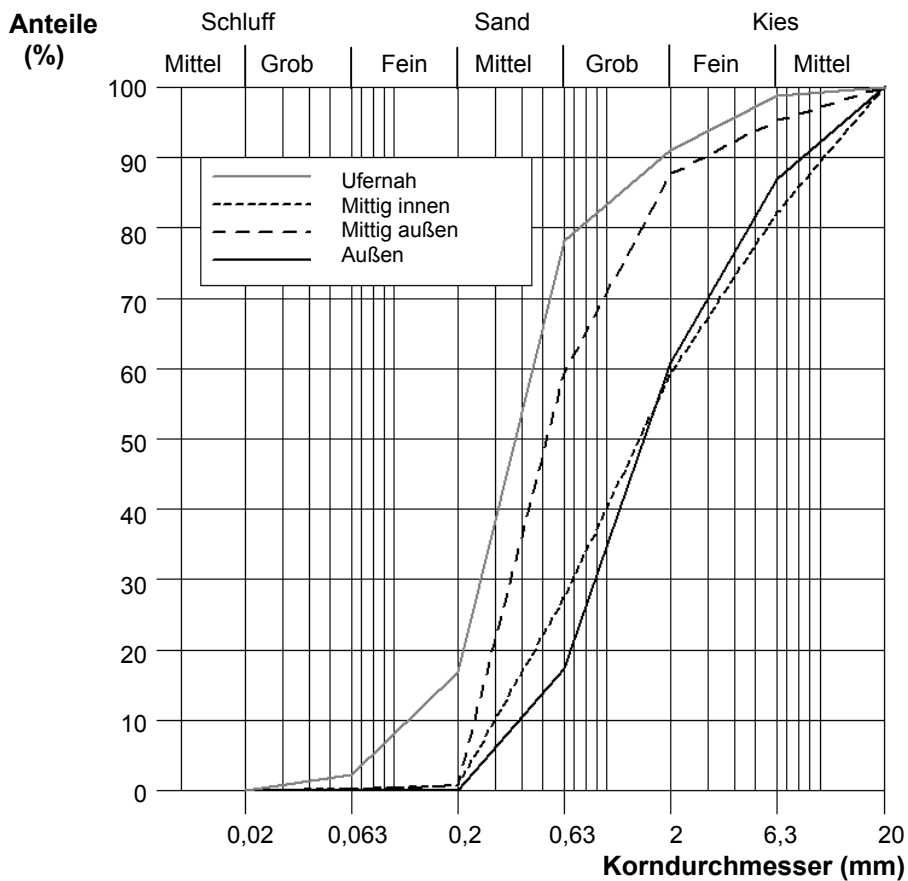


Abb. 7-13: Kornsummenkurven an Querprofil in Bühnenfeld bei El-km 421,8

Die beiden Gleithangbühnenfelder bei El-km 421 (reparierte Bühne, Abb. 7-12) und bei El-km 421,8 (durchrissene Bühne, Abb. 7-13) weisen hohe Anteile der mittelsandigen und grobsandigen Fraktionen auf. Die Fraktionen der ufernahen und der flussseitigen Proben beider Bühnenfelder sind ähnlich verteilt, was auf die gleiche Lage zurückzuführen ist. Im ufernahen Bereich nehmen in beiden Bühnenfeldern, wie auch in den übrigen Bühnenfeldern die Anteile von Fraktionen größer als Mittelsand stetig ab. Die stromseitigen Proben sind in beiden Bühnenfeldern unimodal mit den Höchstwerten im grobsandigen Bereich, was auf ausgeglichene Verhältnisse der Strömung im Jahresverlauf hinweist. Die Verteilungen der mittigen Proben sind hingegen verschieden. Sowohl die unterhalb der stromaufgelegenen Bühne vorhandene Sandbank als auch der Durchriss unterscheiden Bühnenfeld 421,8 sedimentologisch von Bühnenfeld 421. Die zweite durchrissbeeinflusste Probe (mittig innen) in Bühnenfeld 421,8 gleicht der vierten äußeren Probe, mit einem Maximum im mittelsandigen Bereich. Die Fraktionsanteile der dritten Probe außerhalb des Durchrisseinflusses nehmen dagegen, wie die der ufernahen Probe, von Mittelsand bis Mittelkies stetig ab. Diese komplexere Verteilung in Bühnenfeld 421,8 entspricht auch den heterogeneren morphologischen Strukturen als in Bühnenfeld 421.

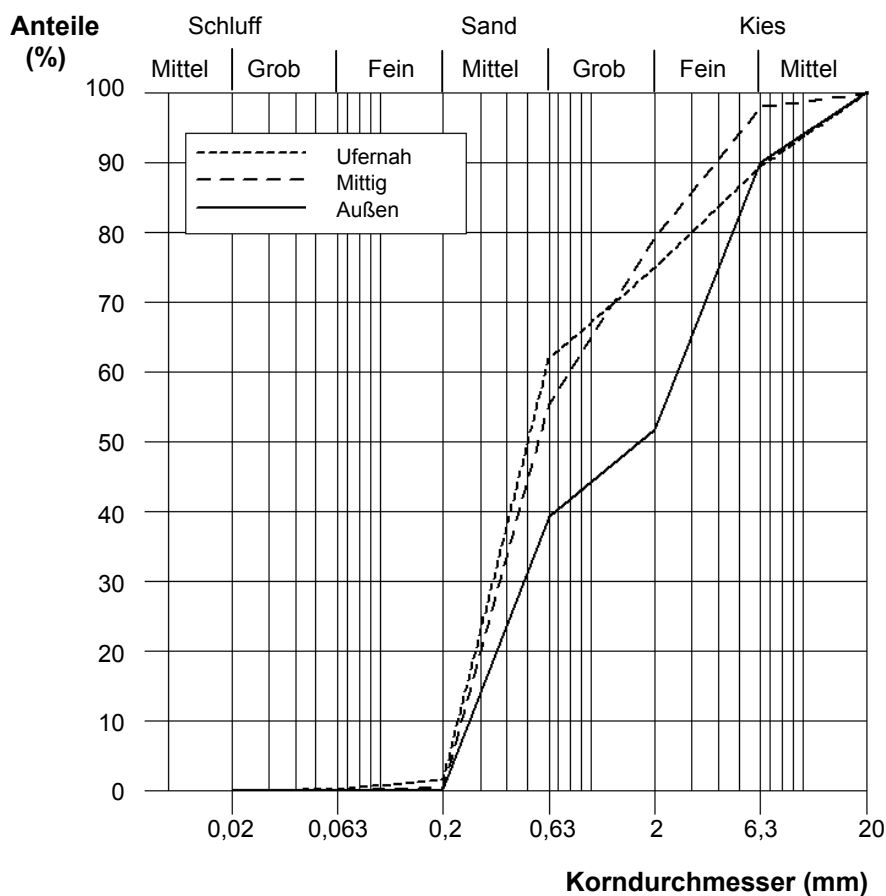


Abb. 7-14: Kornsummenkurven an Querprofil in Bühnenfeld El-km 418,2

Während am Gleithang in den äußeren Proben die mittel- und grobsandigen Fraktionen dominieren, kommt es in der geraden Fließstrecke bzw. in den Prallhanglagen zu einer Verschiebung zu den Feinkiesen (Bühnenfelder 418,2 und 423,4; Abb. 7-14 und 7-15). Dies tritt, bedingt durch höhere Fließgeschwindigkeiten bei Hoch- und Mittelwasser, vorwiegend in den flussnahen Bereichen auf. Die Mittelsandanteile der ufernahen Proben sind in Bühnenfeld 423,4 mit 69 % gegenüber den ufernahen Proben der Gleithangbühnenfelder (421: 63%; 421,8: 61,5%) dagegen nur leicht erhöht. Diese höheren Anteile sind vermutlich auf die auch in Mittel- und Niedrigwasserphasen höheren Fließgeschwindigkeiten entlang der Uferlinie zurückzuführen.

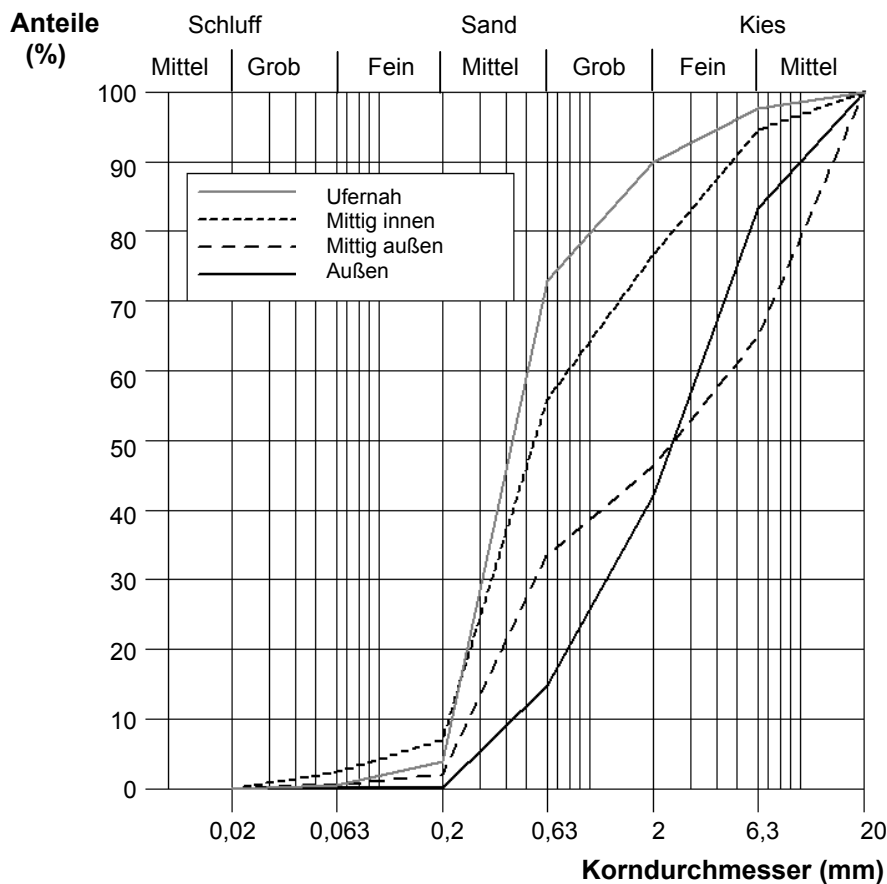


Abb. 7-15: Kornsummenkurven an Querprofil in Bühnenfeld bei El-km 423,4

Die größten Anteile gröberer Kornfraktionen innerhalb der Untersuchungsgebiete wurden in verlandeten Bühnenfeldern bei Havelberg (El-km 425) gefunden (Abb.7-16). Die Auswertung eines Querprofils ergab nur zum Teil mit den Bühnenfeldern vergleichbare Ergebnisse. Die Anteile gröberer Fraktionen (Mittelsand) verringern sich umgekehrt zu den Bühnenfeldern von den ufernahen zu den stromseitigen Flächen. Der Anteil nimmt von 34,1 % (ufernah) auf 11,6 % (stromseitig) ab. Umgekehrt ist eine deutliche Zunahme von Mittelsand vom Uferbereich (25,5%) in Richtung des Hauptstromes (42%) vorhanden. Es bestehen also ge-

genläufige Zu- und Abnahmen mit vermehrt größeren Fraktionsanteilen im ufernahen Abschnitt und zunehmend feineren im stromseitigen Bereich. Dies ist mit der geringeren Überflutungsdauer der höher gelegenen Flächen und der somit geringeren Ablagerung von Feinmaterial im höher gelegenen Uferbereich zu erklären. Die Gradienten verlaufen allerdings nicht kontinuierlich, sondern in einer bimodalen Verteilung.

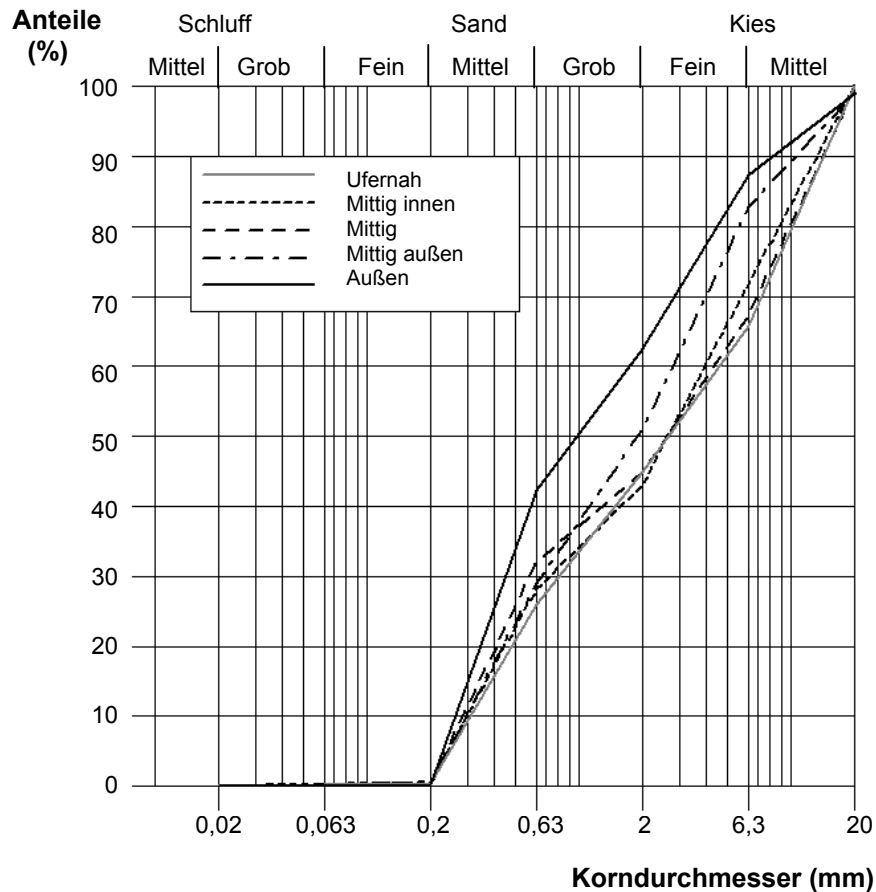


Abb. 7-16: Kornsummenkurven an Querprofil in verlandetem Bühnenfeld bei EI-km 425

Für die Bühnenfelder unterhalb von EI-km 440 bedeutet die Abnahme größerer Kornfraktionen eine deutliche Verschiebung zu den Mittelsanden, die in allen Bühnenfeldern dominieren. Das oberste Knickbühnenfeld bei EI-km 440,2 (Abb. 7-17) weist als einziges der Knickbühnenfelder eine unimodale Verteilung der entlang des mittleren Querprofils gelegenen Proben auf. Die Gründe liegen in den Strömungsverhältnissen bei nicht überströmten Bühnen, wie die Abbildungen 6-27 und 6-28 verdeutlichen. In den unteren drei Knickbühnenfeldern 440,3 bis 440,5 existiert jeweils im Zentrum des Rückstromwirbels eine stark strömungsberuhigte Zone, in welcher eindriftende Schwebfracht und organisches Material zum Absatz kommt (Schluffmudde). Diese Zone ist im obersten Bühnenfeld 440,2 von geringer Ausdehnung, so dass Feinmaterial bei der Probennahme nicht erfasst wurde.

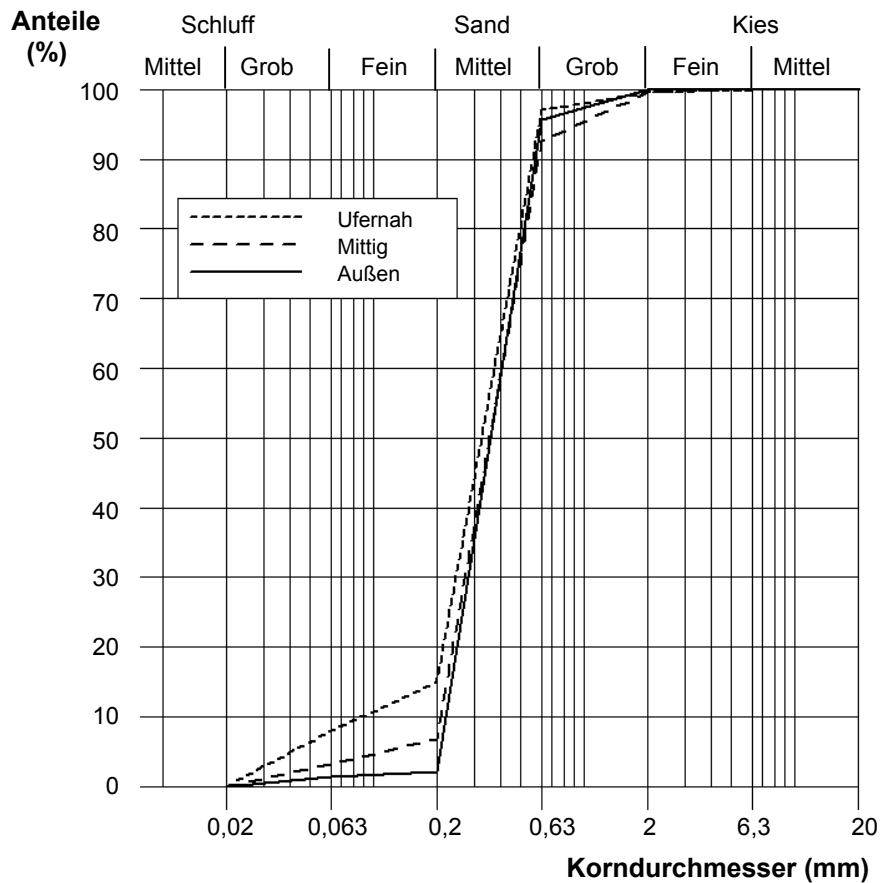


Abb. 7-17: Kornsummenkurven an Querprofil in Bühnenfeld bei El-km 440,2

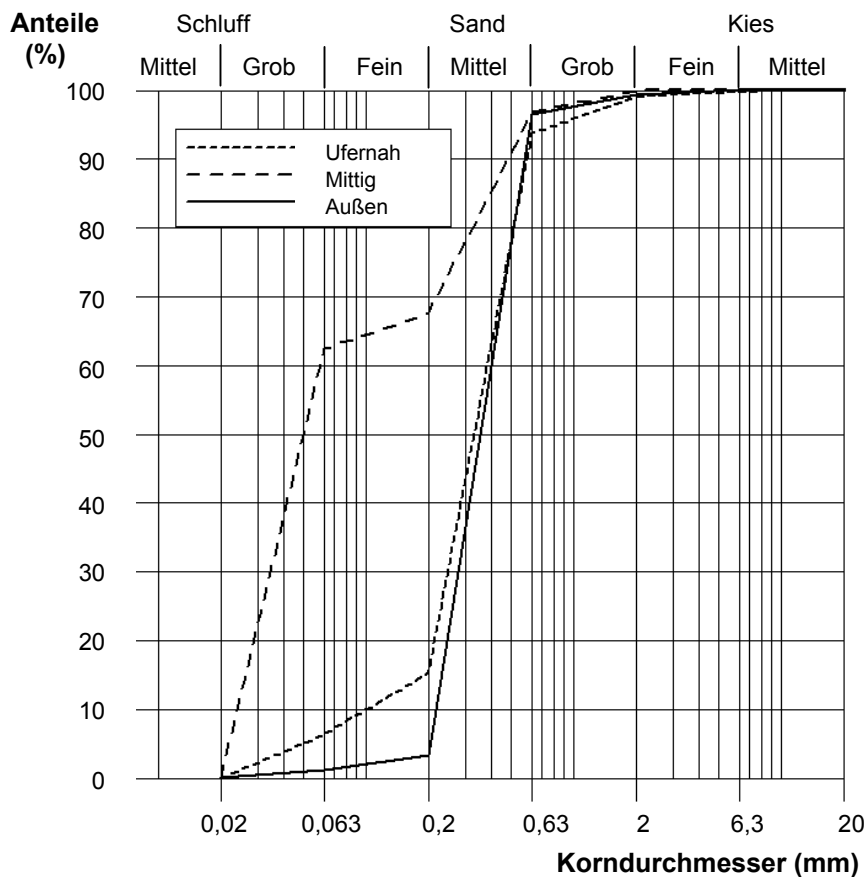


Abb. 7-18: Kornsummenkurven an Querprofil in Bühnenfeld bei El-km 440,3

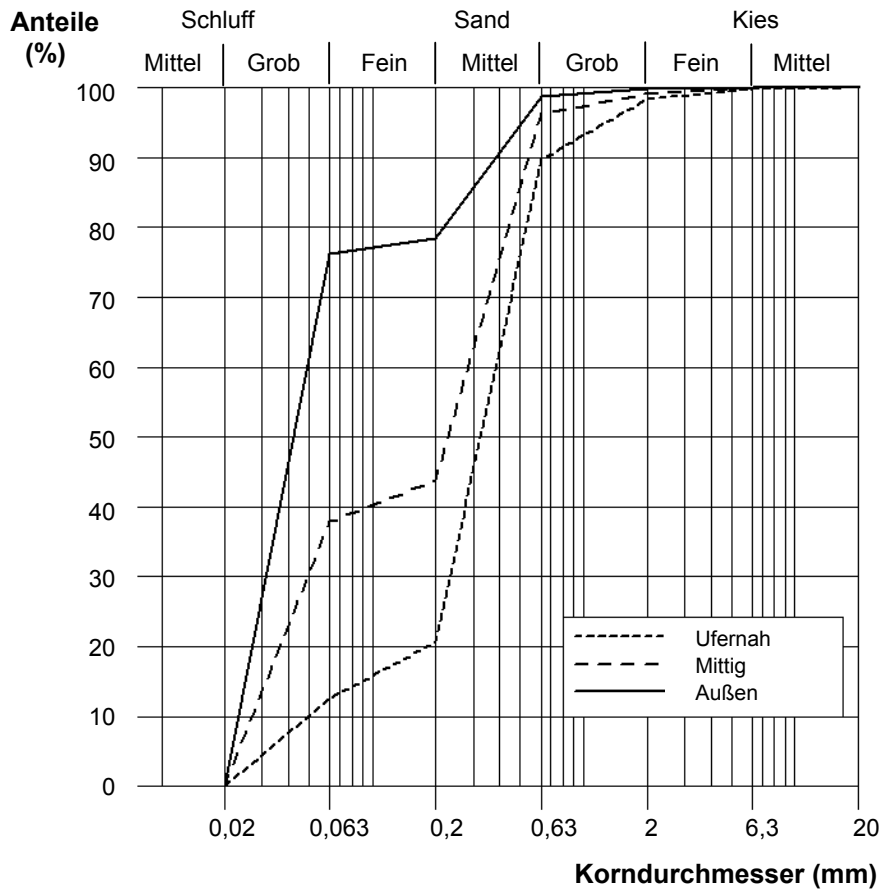


Abb. 7-19: Kornsummenkurven an Querprofil in Bühnenfeld bei EI-km 440,4

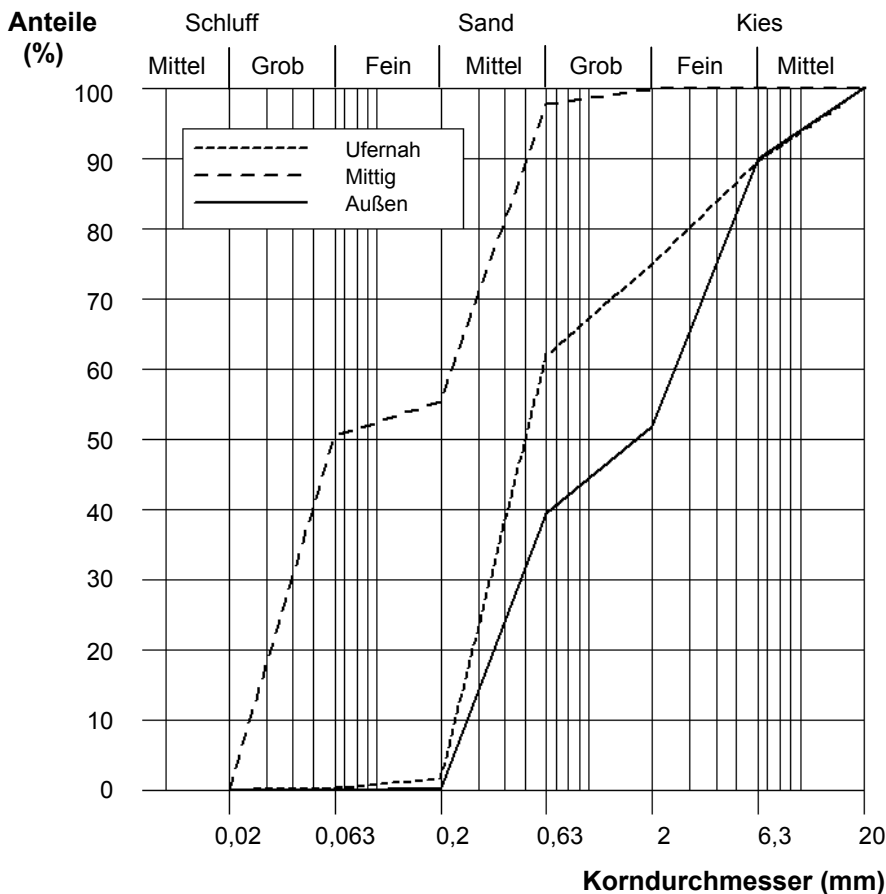


Abb. 7-20: Kornsummenkurven an Querprofil in Bühnenfeld bei EI-km 440,5

In Bühnenfeld 440,3 (Abb. 7-18) liegt die mittlere Probe mit über 60 % Schluff und Tonanteilen in einem zentralen strömungsberuhigten Bereich. In Bühnenfeld 440,4 (Abb. 7-19) weisen sogar die mittlere und äußere Probe eine bimodale Verteilung und hohe Schluff- und Tonanteile auf und deuten auf eine ausgedehntere Fläche mit Feinmaterialablagerung hin. Hier fördern neben reduzierten Geschwindigkeiten auch Verwirbelungen im Zentrum das Absinken von Partikeln (Abb. 6-27 und 6-28). Hohe Mittelsandanteile stehen in diesen beiden Bühnenfeldern in Ufernähe an. Vergleichbare Verhältnisse bestehen auch in dem vierten Knickbühnenfeld 440,5 (Abb. 7-20), in dem aufgrund der Kombination aus stromaufgelegener Knickbühne und stromabgelegener inklinanter Bühne bei nicht überströmten Bühnen in 87 % der Fläche Fließgeschwindigkeiten von unter $10 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ vorkommen (Abb. 6-42).

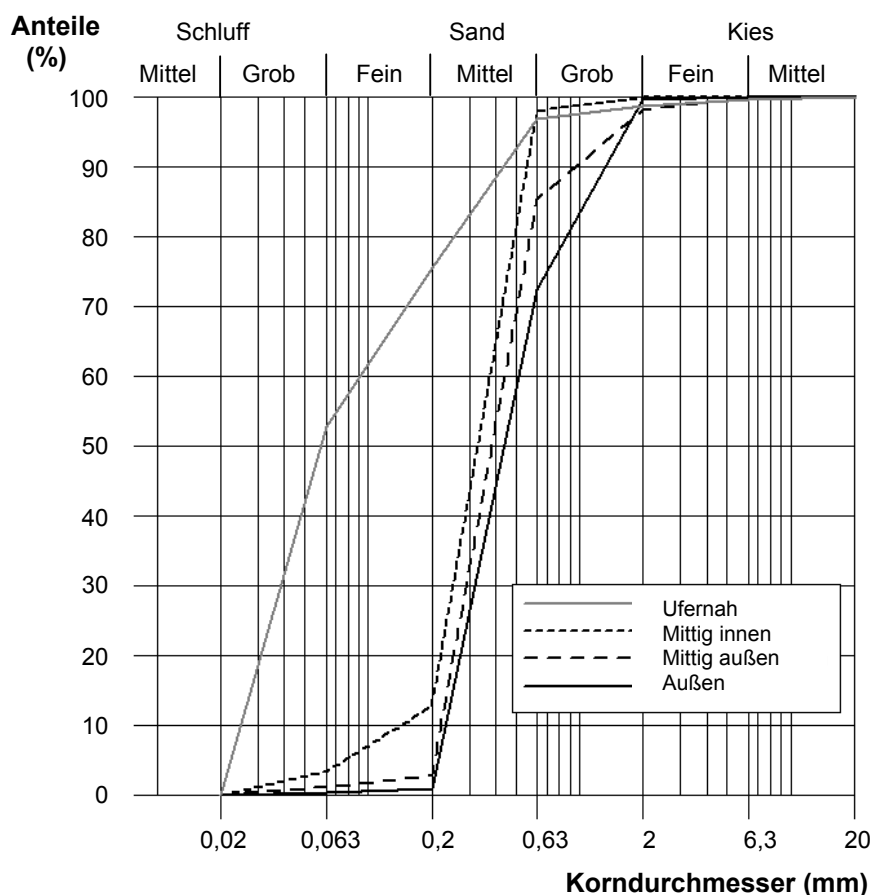


Abb. 7-21: Kornsummenkurven an Querprofil in Bühnenfeld bei El-km 440,9

Die inklinanten Bühnenfelder bei El-km 440,9 und 441 (Abb. 7-21 und 7-22) weisen in den mittigen Bereichen unterschiedliche Korngrößen auf. Die Bühnenfeldwalze ist bei nicht überströmten Bühnen nur in Bühnenfeld 441 im Zentrum strömungsberuhigt, in Bühnenfeld 440,9 ist die Strömung in diesem Teil von der inselartigen Verlandung gestört (Abb. 6-30). Ablagerungen von Feinmaterial findet in Bühnenfeld 440,9 in den stark verlandeten Uferbereichen statt (Abb. 5-17), welche aufgrund der Ufervegetation strömungsberuhigt sind. In den

zentralen Flächen hingegen dominieren Mittelsande. In Bühnenfeld 441 korrespondiert das Vorkommen hoher Schluff- und Tonanteile von annähernd 60 % mit dem Innenbereich der Bühnenfeldwalze und den geringen Fließgeschwindigkeiten von teilweise unter $5 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$. In den Außenbereichen beider am Prallhang liegender Bühnenfelder treten neben den Mittelsanden auch Grobsande auf.

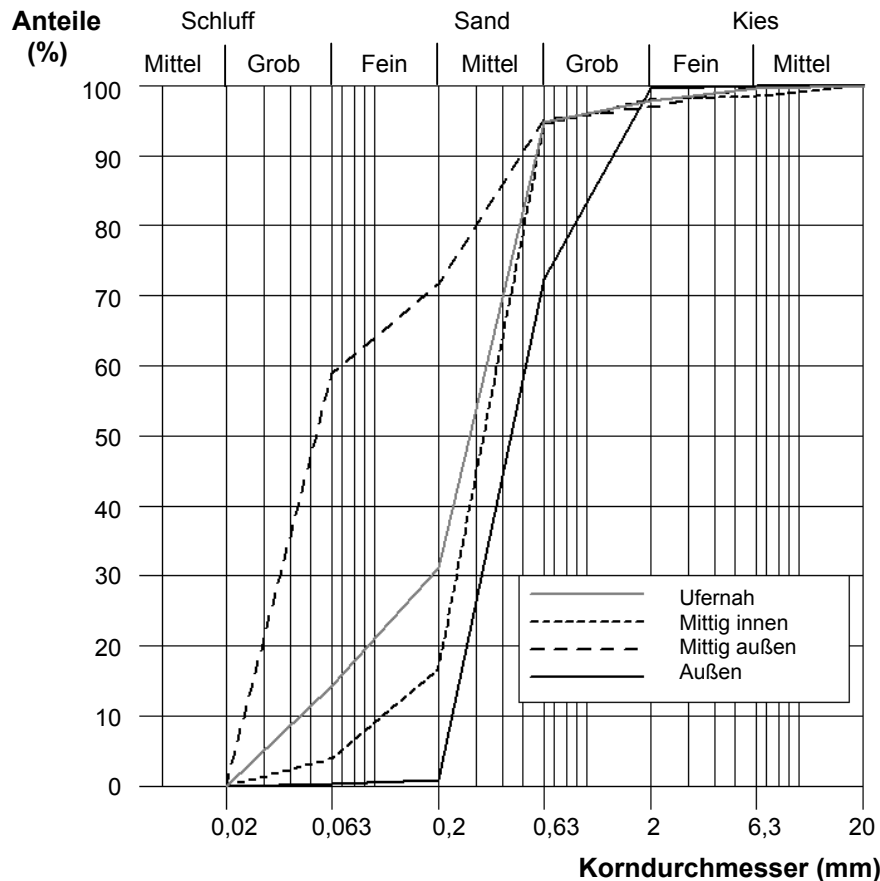


Abb. 7-22: Kornsummenkurven an Querprofil in Bühnenfeld bei El-km 441

Die drei Bühnenfelder ab El-km 443,5 (Abb. 7-23 bis 7-25) beinhalten gröbere Fraktionen als die oberstromigen Bühnenfelder zwischen El-km 440,2 und 441. Besonders deutlich wird dies in den äußeren Bereichen, in denen Kiesanteile in den Bühnenfeldern 443,5 und 443,9 überwiegen. In Bühnenfeld 443,6 wurden mittig-außen feinere Anteile festgestellt (Abb. 7-24), die benachbarten äußeren Proben weisen allerdings ebenfalls hohe Kiesanteile auf (Abb. 7-8). Erhöht sind auch die Anteile an Grobsand. Schluff und Ton kommen in den beiden Absenkungsbühnenfeldern kaum vor und in dem Referenzbühnenfeld 443,9 (Abb. 7-25) nur entlang der Uferlinie. Unterhalb der Absenkungsbereiche treten von Feinfraktionen wesentlich geringere Mengen auf als in den Regelbühnenfeldern, was auf die dauerhaft erhöhten Strömungen, vor allem bei Mittelwasserständen, in diesem Bereich und auf das Fehlen von Stillwasserbereichen hinweist. Trotz der Unterschiede liegen die Schwerpunkte in allen drei Bühnenfeldern ebenfalls im mittelsandigen Bereich.

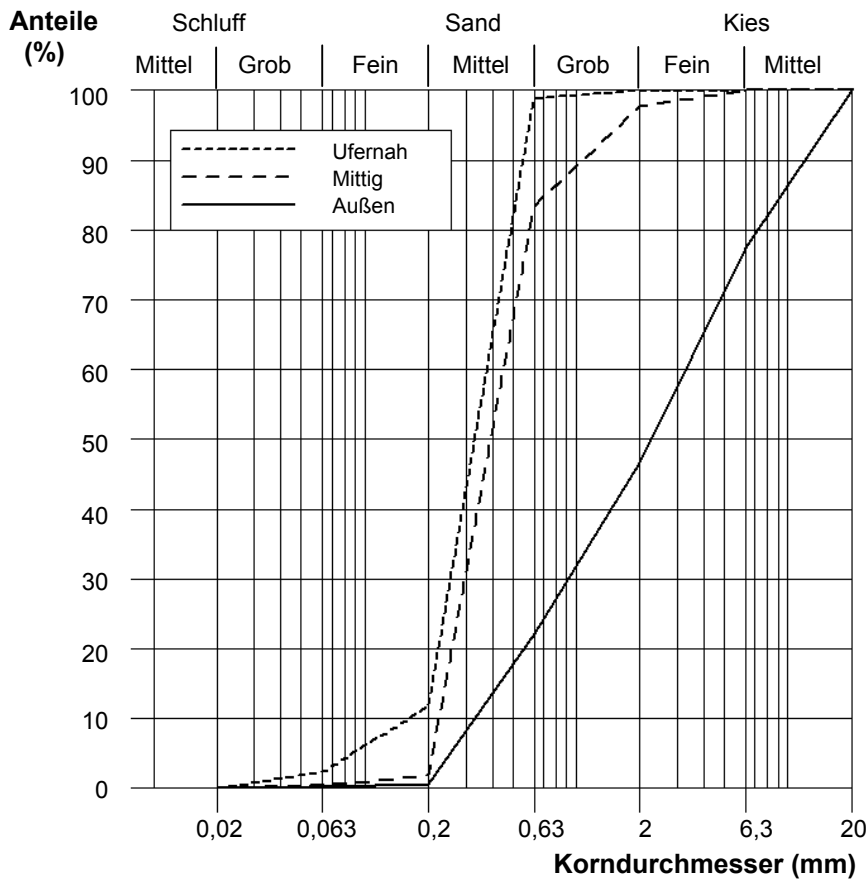


Abb. 7-23: Kornsummenkurven an Querprofil in Bühnenfeld bei El-km 443,5

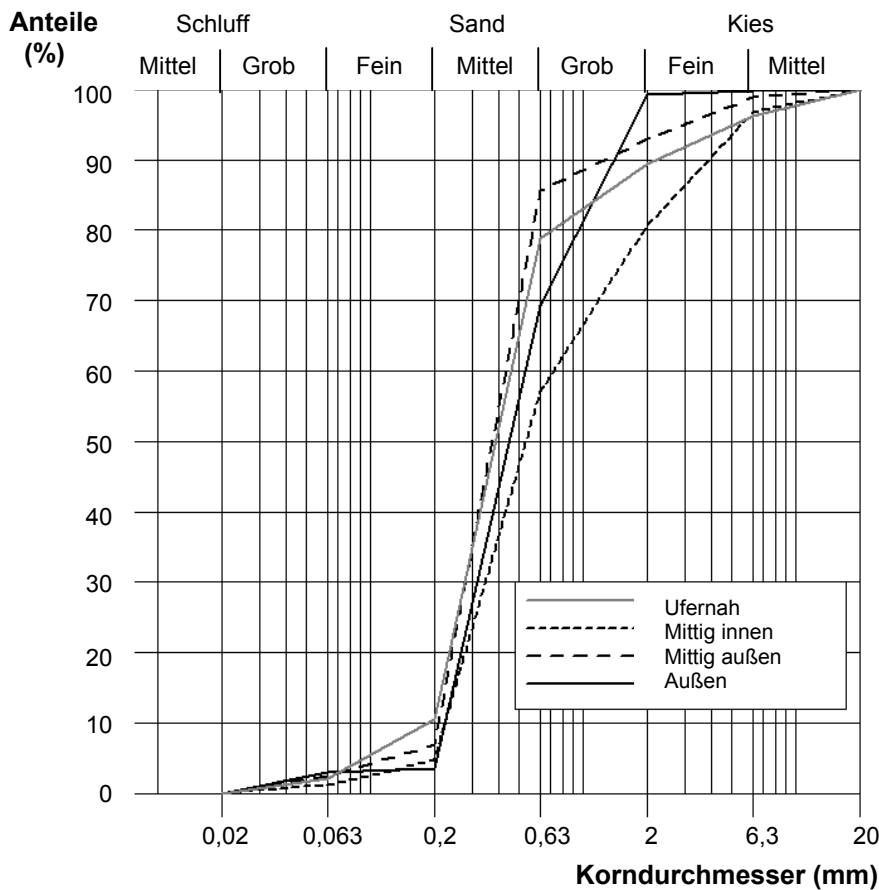


Abb. 7-24: Kornsummenkurven an Querprofil in Bühnenfeld bei El-km 443, 6

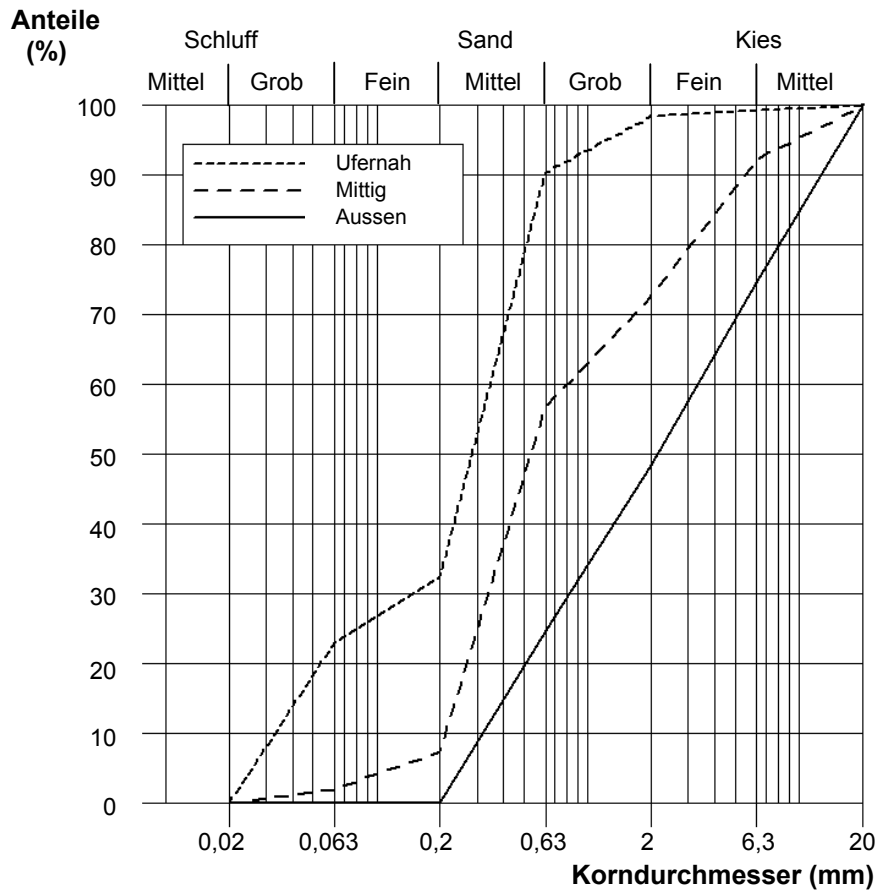


Abb. 7-25: Kornsummenkurven an Querprofil in Bühnenfeld bei EI-km 443,9

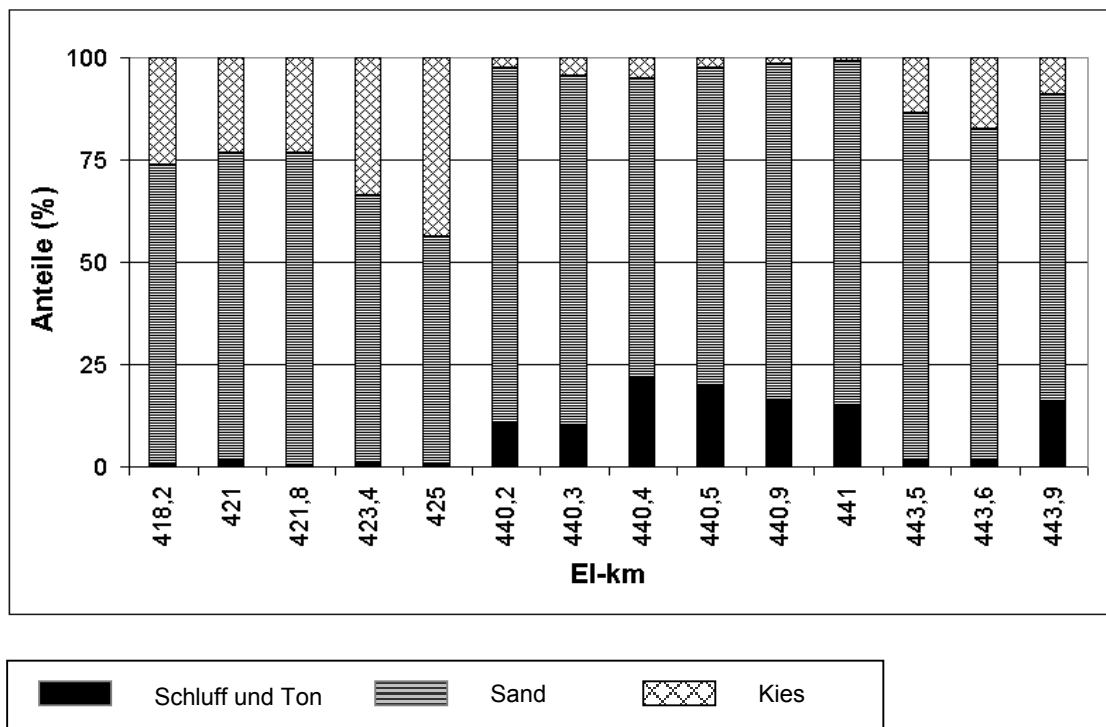


Abb. 7-26: Korngrößenverteilungen, gemittelt aus allen Proben jedes untersuchten Bühnenfeldes von EI-km 418,2 bis 443,9

Die Verteilung der aus allen Proben der untersuchten Bühnenfelder gemittelten Kies-, Sand- und Schluffanteile sind in Abbildung 7-26 dargestellt. Deutlich werden die geringeren Kiesanteile der in Gleithanlage gelegenen Bühnenfelder 421 und 421,8 gegenüber den Bühnenfeldern 418,2 (gerade Fließstrecke) und 423,4 (Prallhang). Die verlandeten Bühnenfelder (Gleithang) bei El-km 425 weisen aufgrund der nicht mehr vorhandenen hydraulischen Funktion der Restbühnen einen hohen durchschnittlichen Kiesanteil von 43,7 % auf und kommen damit dem Wert im Hauptstrom von 47 bis 55 % dieses Elbeabschnitts nahe.

Die ab El-km 440,2 dargestellten Verteilungen sind dem Projekt Ökobühne zugeordnet. Die hohen Feinsedimentanteile von bis zu 22 % in Bühnenfeld 440,4 sowie die reduzierten Kiesanteile verdeutlichen die gebietstypischen Unterschiede der Untersuchungsräume der beiden Projekte. Die ehemals durchrissenen und 2001 umgebauten Absenkungsbühnen führen zu einer Reduzierung von Feinsedimenten und einer relativen Steigerung des Kiesanteils. Auch das Regelbühnenfeld bei El-km 443,9 erreicht noch einen Kiesanteil von ca. 10 % und unterscheidet sich diesbezüglich von dem von Feinsedimenten geprägten Bereich von El-km 440,2 bis 441.

7.3 Resümee

Eine mesoskalige Betrachtung der Korngrößenverteilungen ergab ähnliche flussgebietsabhängige Einteilungen wie in Kapitel 5 die Sedimentationsmächtigkeiten. Die im Rahmen des EIFi-Projektes untersuchten Bühnenfelder von El-km 418,2 bis 425 weisen im Vergleich zu den Bühnenfeldern unterhalb von El-km 440,2 die höchsten Anteile an Kiesen und die geringsten Anteile an Schluffen und Tonen auf. Geringe Unterschiede zwischen den Bühnenfeldern innerhalb des oberstromigen Abschnitts sind vor allem durch verschiedene Hanglagen und weniger durch die Bühnen bedingt. Bühnendurchrisse machen sich nur bis zu einigen Metern unterhalb bemerkbar und sind kleinräumig von Bedeutung.

In den Bühnenfeldern von El-km 440,2 bis 441, im oberen der beiden im Rahmen des „Ökobühne“-Projektes untersuchten Abschnitte, wurden die feinsten Substrate nachgewiesen. Hervorzuheben ist, dass sich Bühnenfeld 440,9, welches sich bezüglich der Mächtigkeit der Ablagerungen von den übrigen Bühnenfeldern dieses Abschnitts unterscheidet (vgl. Kapitel 5.2.3), hinsichtlich der Substrate gleichartig darstellt. Der Mangel an ausreichendem Transport grobsandiger und kiesiger Korngrößen unterhalb der Havelmündung ist die Voraussetzung dafür, dass in den sechs Bühnenfeldern vor allem Einträge von Kornfraktionen feiner als Grobsand stattfinden, die bei Mittel- und Niedrigwasser abgelagert werden und bei Hochwässern wieder leicht mobilisiert werden können. Lediglich in dem

Bühnenfeld bei EI-km 440,9 ist, vermutlich aufgrund eines vergleichsweise weiten Bühnenabstandes, eine größere Menge an Feinmaterial dauerhaft abgelagert, die nur teilweise unterhalb eines 1996 reparierten Durchrisses regelmäßig erodiert wurde.

Die drei weiter unterstromigen Bühnenfelder von EI-km 443,5 bis 443,9 lassen sich wie in Bezug auf die Sedimentationsmächtigkeiten zwischen den beiden anderen Gebieten (EI-km 418,2 bis 425 und EI-km 440,2 bis 441) einordnen. Die im Vergleich zu den Bühnenfeldern von EI-km 440,2 bis 441 höheren Kiesanteile, die bei Hochwasser in die Bühnenfelder transportiert werden, sind mit der größeren Entfernung von EI-km 437 zu erklären. Dieser Bereich, mit der auf weite Strecken geringsten durchschnittlichen Korngröße von 1,07 mm und Kiesanteilen von unter 4 % (Abb. 7-10, 3-7), wirkt sich im Zusammenhang mit der stattfindenden Entmischung auf nahe gelegene Bühnenfelder, insbesondere am folgenden Prallhang, stärker aus und führt mit zunehmender Entfernung zu immer geringeren Einträgen an feinem Material.

Die hydraulischen Auswirkungen der Bühnen auf die Substrate werden somit von makroskaligen Bedingungen im Längsverlauf überlagert, die ebenfalls Habitateigenschaften und Artengemeinschaften beeinflussen, wie Untersuchungen von RABENI (2000) zeigen. RABENI stellte für Habitattypen von Invertebraten auf makroskaliger Ebene einen größeren Einfluss der für die verschiedene Ökoregionen typischen Eigenschaften gegenüber lokalen Unterschieden fest, was zu unterschiedlichen Artengemeinschaften der Ökoregionen führt. Innerhalb einer Ökoregion hingegen überwogen die Habitateigenschaften und führten zu ähnlicheren Artengemeinschaften gleicher Habitate unterschiedlicher Ökoregionen als unterschiedlicher Habitattypen gleicher Ökoregionen. Der an der unteren Mittelbe auf kurzer Strecke stattfindende Wechsel entspricht dem von POOLE (2002) beschriebenen river discontinuum, in dem Zuflüsse neue Akzente setzen und die Vorhersagbarkeit von Lebensraumstrukturen mindern. Ähnlich deutliche Veränderungen treten z.B. auch unterhalb der Zuflüsse von Schwarzer Elster und Saale auf (Abb. 3-6).

Mikroskalig wird die Korngrößenverteilung innerhalb der Bühnenfelder von den Walzen- und Wirbelstrukturen und den Fließgeschwindigkeiten gesteuert. So führen bei nicht überströmten Bühnen geringe Geschwindigkeiten im Zentrum von Bühnenfeldwalzen zu Ablagerungen von Feinmaterial mit oftmals hohem Organikanteil (Schluffmudde), während an der Peripherie der Walzen gröbere Substrate akkumulieren. Durchrisse führen aufgrund höherer Fließgeschwindigkeiten in ansonsten überwiegend strömungsberuhigten Abschnitten zu abrupten Wechseln der Substratverhältnisse. Bei Hochwässern und überströmten Bühnen sind die erhöhten Fließgeschwindigkeiten und die Dauer der Ereignisse ausschlaggebend für

Ein- und Austrag von Grobfraktionen. Die unterschiedlichen Bedingungen führen zu häufigen bimodalen Verteilungen. Generell ist von ufernahen zu den äußeren Bereichen ein zunehmender Trend von feinen zu größeren Korngrößen vorhanden.