

Borstenfischpass als neuartige Fischaufstiegshilfe

Pilotanlage Kraftwerk Au-Schönenberg

Von Markus Hintermann

An der Universität Kassel ist eine neuen Aufstiegsmöglichkeit für Fische und Benthosorganismen in Form eines Borstenfischpasses entwickelt worden. Die im Verbindungsgerinne zwischen Ober- und Unterwasser notwendigen Rauigkeiten werden aus einer Vielzahl vergleichsweise kleiner elastischer Störkörper, den Borsten hergestellt. Die Borsten werden zu Bündeln und Elementen zusammengefasst und über die Grundfläche verstreut angeordnet. Die Strömungsverhältnisse sind deutlich günstiger als in einer Reihe herkömmlicher Fischaufstiegsanlagen. Die wie grosse Besen in die Strömung ragenden Borstenelemente bewirken eine effektive Energieumwandlung auf engem Raum bei geringen Turbulenzen und bieten Fischen ausreichende Deckung und Ruheräume. Fische aller Arten und Grössen nehmen den Fischpass an; eine Selektivität ist nicht erkennbar. Die Funktionalität wurde am Kraftwerk Au-Schönenberg an der Thur nachgewiesen.

Einleitung

Unsere Fließgewässer sind durch Stauanlagen und Sohlschwelen in höhenmässig differierende Abschnitte unterteilt. Zwischen diesen Abschnitten ist der Wechsel für Wassertiere erheblich erschwert. Unsere gesetzlichen Grundlagen verlangen, dass diese nachteilige Zergliederung aquatischer Lebensräume beseitigt wird. Dazu gehört die Schaffung von Möglichkeiten, dass die Wanderung von Fischen und Benthosorganismen zwischen den Gewässerabschnitten sichergestellt ist.

Im Zuge von Sanierungsmassnahmen werden deshalb laufend Fischauf- und Abstiegsanlagen neu erstellt, ertüchtigt oder ergänzt. Hierfür steht eine Reihe von Aufstiegstypen zur Auswahl, die jedoch alle mehr oder weniger deutlich ausgeprägte Nachteile im Hinblick auf Strömungsbedingungen, Neigung zur Verstopfung, Angebot für die Wanderung von Benthosorganismen, Selektivität, Deckung u.s.w. aufweisen.

Eine Fischaufstiegsanlage wird nur dann ihrem Zweck erfüllen, wenn sie günstige hydraulische Bedingungen bietet und an der Stelle angeordnet ist, an der die Fische den Einstieg suchen. Folgende Gestaltungskriterien sind von Bedeutung:

- gerichtetes Strömungsfeld ohne übermässige starke Turbulenz
- ausreichende Wassertiefe
- ausreichend grosse und gut verteilte Ruheräume
- nicht zu grosse Fließgeschwindigkeiten
- ausreichend Deckungs- und Fluchtmöglichkeiten innerhalb der Anlage

Eine Selektivität wird zusätzlich gemindert, wenn der Charakter der Strömung innerhalb der Anlage sich nicht extrem vom Charakter eines Fließgewässers unterscheidet.

Die äusseren Bedingungen für Anordnung und Lage lassen sich wie folgt definieren:

- Ausmündung der Fischaufstiegsanlage unmittelbar neben dem unpassierbaren Hauptstrom
- Ausgeprägte Leitströmung im Unterwasser, die in einem spitzen Winkel in den Hauptstrom ausmündet.

Für den Benthosaufstieg lassen sich folgende Bedingungen festlegen:

- grossflächig benutzbare Sohle mit ausgeprägtem Lückensystem
- keine Engpässe mit grossen Geschwindigkeiten
- Lückensystem soll auch bei Eintrag von Feinsedimenten erhalten bleiben
- Geringe Strömungsgeschwindigkeiten
- Kontinuierliche Sohlübergang im Ausmündungsbereich

Konzept des Borstenfischpasses

An der Versuchsanstalt und Prüfstelle für Umwelttechnik und Wasserbau der Universität Kassel wurde mit den aufgelisteten Kriterien als Richtschnur ein neuartiger Fischpass entwickelt. Die Entwicklung erfolgte auch im Hinblick auf eine mögliche kombinierte Nutzung einer Fischaufstiegsanlage für Wassertiere und für den Kanusport als Bootspassage.

Im Gegensatz zu herkömmlichen Fischaufstiegsanlagen wird beim borstenbesetzten Fischpass ein Abbau der Strömungsenergie und somit die für den Fischaufstieg notwendige Verlangsamung der Fließgeschwindigkeit nicht durch grosse Störelemente (Blocksteinrampe) oder Zwischenwände (Beckenpass, Vertical-Slot) erreicht, sondern durch Borstenelemente. Die elastischen und durchlässigen Borstenelemente ersetzen dabei die bisher verwendeten Stör- und Umlenkelemente. Die Elemente bestehen aus einzelnen Borstenbündeln, die in einer Grundplatte unlösbar verankert sind. Die besenähnlichen Elemente werden auf dem Betonboden der Fischaufstiegshilfe befestigt und dabei so angeordnet, dass es nicht zur Ausbildung eines Schussstrahles kommen kann. Damit für Fische durchgehende Schwimmwege mit Ruhezonen entstehen, werden die Rauheitselemente mit Lücken und ausreichenden Zwischenräumen versetzt. Die Gerinnesohle wird mit grobkörnigem Substrat verfüllt. So kommt es selbst in steileren Gerinnen nicht zu Geschiebetransportvorgängen.



Bild 1: Anordnung der Borstenelemente

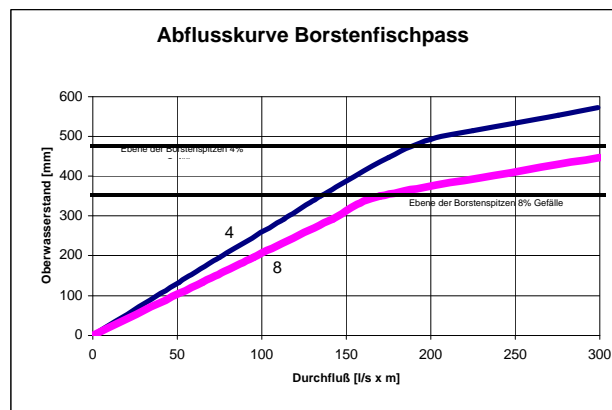


Bild 2: Abflusskurve des Borstenfischpasses

Die Anordnung und Bestückung der Rauheitselemente wird nach den örtlichen Erfordernissen hinsichtlich Strömungsgeschwindigkeit (Längsgefälle), Abflussmenge, Abmessung des Kanals und der zu erwartenden Fische bemessen. Durch die besondere Art der Störelemente (Vielzahl einzelner Borsten über die gesamte Rinnenbreite) wird das Abflussverhalten im borstenbesetzten Fließquerschnitt allein von den Parametern der Borsten (Form, Länge, anhaftender Schmutz) und vom Gefälle bestimmt. Die Querschnittsbreite der Rinne sowie die Wasserhöhe nehmen dabei keinen Einfluss auf die Fließgeschwindigkeit, sodass bei konstantem



Längsgefälle über die gesamte Höhe des borstenbesetzten Querschnitts eine konstante Fließgeschwindigkeit vorherrscht. Auch bei einer Überströmung der Borsten mit grösseren Fließgeschwindigkeiten bleiben im borstenbesetzten Querschnitt nahezu gleichbleibende Bedingungen für eine Passierbarkeit der Rinne für Fische gewährleistet.

Die sich in den Lücken zwischen den Borstenelementen einstellenden Fließgeschwindigkeiten liegen bei rund 1.0 m/s und somit deutlich unter den im DVWK-Merkblatt 232/1996 geforderten 2.0 m/s. Zusätzlich bieten die Bereiche unterstrom eines Borstenelementes mit Fließgeschwindigkeiten von 0.3 m/s Ruhezone. Aus diesem Grunde ist eine beliebige Verlängerung des Fischpasses möglich. Eigentliche Ruhebecken - wie bisher bei herkömmlichen Aufstiegsanlagen üblich - entfallen.

Bild 3: Abflussverhältnis in einen Borstenfischpass mit 8% Längsgefälle / 200 l/s

Im Rahmen ichthyologischer Funktionskontrollen am Laborpass mit lebenden Fischen wurde bestätigt, dass der Borstenfischpass nicht selektiv wirkt und alle Fischarten die Rinne sehr gut in beiden Richtungen passieren können. Während der Funktionskontrolle wurde nachgewiesen, dass aufgrund der Flexibilität der Borsten keine Verletzungsgefahr für Fische besteht, die während der Passage in Kontakt mit den Borsten kommen.



Bild 4: Seitenansicht durch Beobachtungsfenster

Eine übermäßige Verlegungsgefahr durch eingetragenes Treibholz besteht nicht. Durch einen kammartigen Rechen können die Elemente zudem mit geringem Aufwand von Treibholz und Geschwemmel befreit werden. Die durch die Wirbelablösung verursachte Borstenvibration führt dazu, dass in den Fliesskörper eingetragene, kleinere organische Feststoffe und Algen mit der Zeit zerrüttet und abgetrieben werden.

Die Art des Fischpasses bringt im Gegensatz zu vielen herkömmlichen Fischaufstiegsanlagen einen geräuscharmen Betrieb mit sich, sodass keine hohen Lärmbelastigungen vom Borstenfischpass ausgehen.

Die vielfältigen Vorteile des Borsten-Fischpasses (BFP) können im Einzelnen wie folgt zusammengefasst werden:

- Die Energieumwandlung erfolgt auf einem sehr kurzen Weg bei geringen Turbulenzen. Die Borstenbündel entziehen der Strömung Energie durch den hohen Strömungswiderstand.
- Die Strömungsgeschwindigkeit in den Lücken zwischen den Borstenelementen ist nur abhängig von der Höhendifferenz zwischen den Borstenreihen und liegt unter 1.2 m/s in 8 bis 10% steilen Gerinnen.
- Hinter den Borstenelementen herrschen deutlich beruhigte Strömungsverhältnisse (max. 0.3 m/s), die von den Fischen als Ruhezone genutzt werden. Dadurch kann bei längeren Aufstiegsanlagen auf die Anordnung von Ruhezone verzichtet und die Aufstiegsanlage kürzer und kostengünstiger erstellt werden.
- Der Wasserbedarf liegt im normalen Rahmen (unter 200 l/sm)
- Die hydraulischen Eigenschaften sind von Form und Linienführung der Rinne weitgehend unabhängig.
- Der Strömungsangriff auf die Sohle zwischen den Borstenelementen ist wegen der geringen Strömungsgeschwindigkeiten schwach. Auskolkungen können durch grobkörniges Sohlsubstrat vermieden werden. Damit steht praktisch die gesamte Grundfläche für den Benthosaufstieg zur Verfügung.
- Das Lückensystem in den Borsten ist für den Aufenthalt und die Ausbreitung von Makroinvertebraten optimal. Es wurde eine enorme Dichte an Makrozoobenthos in den Borstenelementen festgestellt. Dadurch wird den Fischen eine gute Nahrungsquelle geboten.
- Der Borstenfischpass wirkt nicht selektiv; alle Fischarten und Grössen können aufsteigen.
- Die Fische finden Deckung vor Räubern im Wasser und aus der Luft.
- Durch Anpassung von Borstenmaterial, Borstenlänge, Borstenstärke, Besatzdichte und Anordnung der Elemente in der Rinne ist eine gute Anpassung an die jeweiligen Anforderungen möglich. Die Anforderungen bezüglich spezifischer Energieumwandlung sind eingehalten.
- Die Borstenelemente sind leicht auswechselbar.
- Von den Borsten geht keinerlei Verletzungsgefahr für die Fische aus.
- Das maximale Längs-Gefälle des BFP beträgt 10%.

Vergleichende Untersuchungen zwischen einem Vertical-Slot-Pass (VSP) und einem Borsten-Fischpass (BFP) zur Funktionalität der Fischwanderhilfe haben u.a. folgende Ergebnisse gebracht:

- Der BFP zeigt bei gleichem Abfluss bedeutend geringere Fliessgeschwindigkeiten und Turbulenzen als der VSP. Das hohe Mass an Turbulenzen in einem steilen VSP schränkt dessen Funktionalität ein.

- Rheophile und eurytope Fischarten haben den BFP gleichermassen gut angenommen. Eine Selektivität für leistungsschwächere Arten und Grössenklassen wurde beim BFP nicht beobachtet.
- Im VSP zeigen die Fische u.a. Verhaltensweisen, die auf mangelnde Orientierung und Ruhemöglichkeiten hindeuten; dieses Verhalten war im BFP kaum zu beobachten.
- Aufgrund der beobachteten Verhaltensweisen verbrauchen die Fische bei der Passage eines VSP vermutlich mehr Energie als bei der Passage eines BFP. Dies ist speziell bei langen und steilen Fischaufstiegswegen von Bedeutung.
- Feldbeobachtungen zeigen, dass ein BFP gar von leistungsschwachen Schwimmern dauerhaft besiedelt wird.

Pilotanlage Borstenfischpass Kraftwerk Au – Schönenberg

Kurzbeschreibung der Wasserkraftanlage

Die Lorze AG betreibt auf dem Fabrikgelände der ehemaligen Kammgarnspinnerei Bürglen ein Kanalkraftwerk. Dazu wird beim Stauwehr Au an der Thur eine Wassermenge von maximal 17.5 m³/s in den Kanal abgeleitet. Mit dem Neubau des Wehrkraftwerkes beim Stauwehr Au kann nun zusätzlich das an ca. 250 Tagen im Jahr vorhandene Überschusswasser genutzt werden. Mit dem Bau des Kraftwerks Au musste gleichzeitig die Fischgängigkeit der Wehranlage Au sichergestellt, die Ausleitstrecke in der Thur mit der gesetzlich vorgeschriebenen Restwassermenge von 2 m³/s dotiert, die bestehende Wehranlage saniert und der Hochwasserschutz verbessert werden.



Die wichtigsten Kennzahlen des Werkes sind:

Ausbauwassermenge	Q-a	43.0 m ³ /s
Restwassermenge	Q-Rest	2.0 m ³ /s
Bemessungshochw.	HHQ	1350 m ³ /s
Mittlere Abflussmenge	MQ	38 m ³ /s
Nettofallhöhe bei	Q-a	5.9m
Maximale Fallhöhe bei	Q-Rest	7.1m
Installierte Leistung		
Hauptturbine	P-HT	1728 kW
Dotierturbine	P-DT	508 kW
Doppelbetrieb		2050 kW

Bild 5: Wehranlage Au mit best. Kanaleinlauf im Hintergrund

Mit dem Bau der Anlage wurde im Oktober 2001 begonnen. Die Inbetriebsetzung erfolgte im Dezember 2002. Die elektromechanische Ausrüstung besteht aus 2 unterschiedlich grossen vertikalachsigen Kaplan turbinen mit direktgekoppelten, langsamlaufenden Generatoren.



Bild 6: Bauzustand: Saugrohrschalung Hauptturbine



Bild 7: Montage Dotierturbine als Compacteinheit



Bild 8: Ansicht Einlaufbereich

Bild 9: Ansicht von Unterwasser mit Fischaufstieg

Borstenfischpass Kraftwerk Au

Im März 2001 wurde die Hydro-Solar Energie AG mit der Ausführungsplanung für das KW Au-Schönenberg beauftragt. Nebst Überprüfung des Bauprojektes erfolgte auch eine Prüfung der vorgegebenen Gestaltung der Fischaufstiegshilfe als Vertical-Slot-Fischpass. Die Vorgaben sahen vor, dass der Schlitzpass mit einem Längsgefälle von 10% zu erstellen sei. Die an einer Vielzahl bestehender Anlagen gemachten Erfahrung mit Schlitzpassen haben jedoch gezeigt, dass dieser Typ von Fischaufstiegshilfe bei grossem Gefälle sehr selektiv auf die Passierbarkeit wirken.



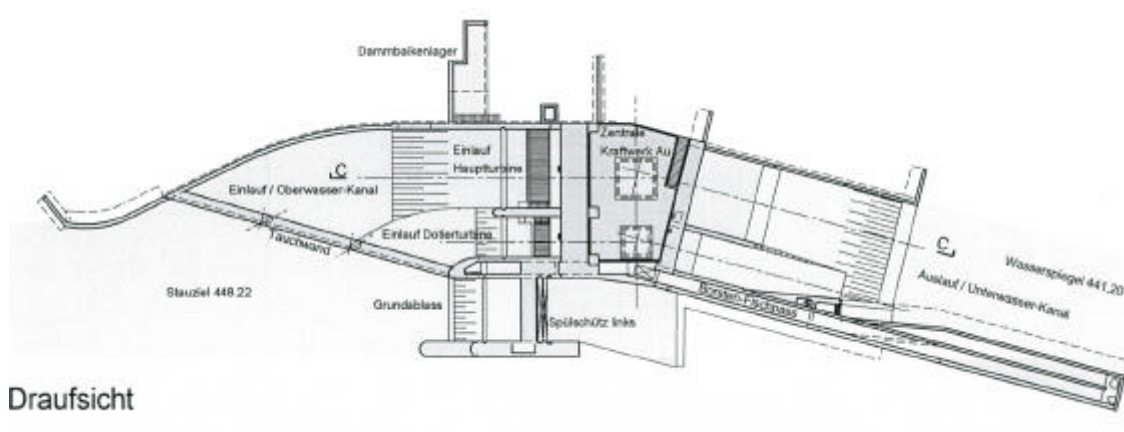
Mit der Pilotanlage sollten die bisherigen Erkenntnisse aus dem Labor und an bestehenden, meist flacher gestalteten Anlagen weiter gestärkt und mit Erfahrungen mit steileren Anlagen erweitert werden.

Bemessungsgrössen Fischaufstieg Kraftwerk Au:

- min. Wsp. UW:	441.10
- Stauziel OW:	448.22
- max. Höhenunterschied	7.12 m
- spez. Durchfluss	200 l/s
- Gesamtlänge	95 m
- Gerinnebreite	1.2 m

An die Mehrkosten der Pilotanlage leisten das BUWAL, der Kanton TG sowie die Bauherrschaft je einen namhaften Beitrag. Die Inbetriebnahme des Borstenfischpasses erfolgte Ende März 2003.

Bild 10: Ansicht des Borstenfischpasses

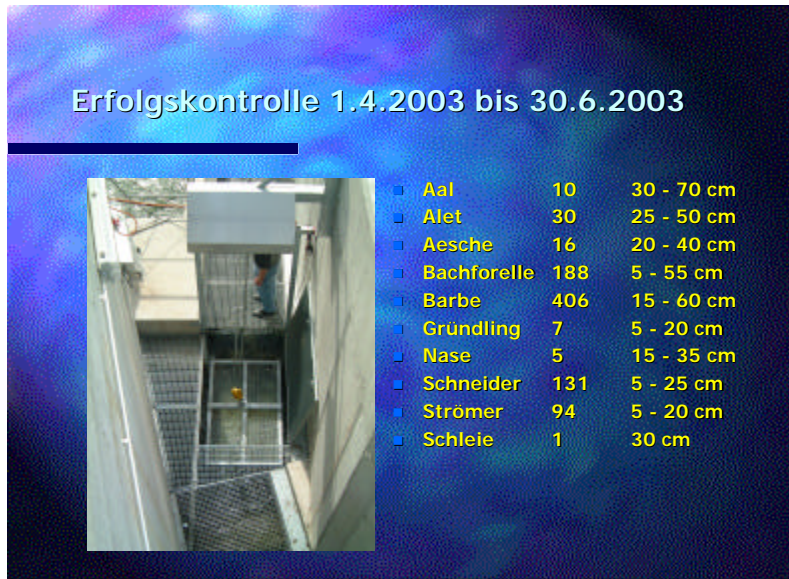


Draufsicht

Erste Betriebserfahrungen

Die Versuchsergebnisse und Berechnungsansätze für den im Labor entwickelten Borstenfischpass (4% Längsgefälle) können auf Anlagen mit einer Neigung von 8 bis 10% problemlos übertragen werden.

Die maximale Strömungsgeschwindigkeit in den Lücken zwischen den Borstenelementen liegt bei 1.1 m/s, unterwasserseitig der Borstenelemente sinkt die Fliessgeschwindigkeit wie berechnet auf 0.3 m/s ab. Die Strömungslinien sind geradlinig, grossflächige Wasserwirbel sind nicht erkennbar. Nach anfänglich lokalen festgestellten Auswaschungen des Sohlssubstrates wurde dieses zusätzlich mit Bahnschotter 40 bis 70 mm abgedeckt. Seither sind keine Geschiebebewegungen mehr feststellbar.



Seit Anfangs April werden tägliche Aufstiegskontrollen durchgeführt. Die bisherigen Funktionskontrollen haben bestätigt, dass der Borstenfischpass nicht selektiv auf leistungsschwächere Arten und Grössenklassen wirkt und alle in der Thur vorkommenden Fischarten die Rinne sehr gut passieren können. Beobachtungen durch das in den Fischpass integrierte Fenster zeigen zudem einen stressfreien, ruhigen aber auch klar orientierten Aufstieg der Fische. Ebenso konnten längerandauernde Besiedlungen der Zwischenräume beobachtet werden.

Bild 11: Zusammenfassung der Erfolgskontrolle über 3 Monate



Bild 12: Bestückung mit Borstenelementen

Bild 13: Betriebszustand mit 200 l/s Abflussmenge

Im oberen Drittel der rund 100 m langen Aufstiegshilfe ist eine erhöhte Verklausung mit Schwemmgut, kleinerem Treibholz und Algenfäden zu beobachten. Das Abflussverhalten wird durch diese Verklausungen jedoch nicht wesentlich beeinflusst. Es erfolgt lediglich ein zusätzlicher Wasseraufstau von 1 bis 3 cm oberhalb der Borstenreihen. Durch einen kammartigen Rechen können die Elemente mit geringem Aufwand gereinigt werden. Die durch die Wirbelablösung verursachte Borstenvibration führt dazu, dass in den Fließkörper eingetragene, kleinere organische Feststoffe und Algen mit der Zeit zerrüttet und abgetrieben werden. Dadurch wird den Fischen eine gute Nahrungsquelle geboten.

Der bisherige Unterhaltsaufwand hat sich auf eine Reinigung der obersten 15 Borstenreihen beschränkt. Diese Arbeiten erfolgten bislang alle 2 bis 4 Wochen. Es ist davon auszugehen, dass zu diesem, auch zeitlich gesehen geringen Reinigungsaufwand der Fischaufstieg ein bis zwei mal jährlich komplett zu reinigen ist.

Der Betriebszustand wurde zudem derart angepasst, dass bei Hochwasserabflüssen in der Thur der Einlaufschieber in den Fischpass automatisch geschlossen wird. Über eine feste Öffnung im Schieber erfolgt dann eine Art Notdotierung. Damit kann der Geschwemmseintrag nochmals wesentlich verringert werden.

Zusammenfassung

Das sich noch in der Funktionserprobung befindliche Konzept des Borstenfischpasses stellt sich zunehmend als aussichtsreiche Alternative zu den herkömmlichen Arten von Fischaufstiegshilfen dar. Die Funktionalität kann bereits an verschiedenen Anlagen nachgewiesen werden. Hervorzuheben ist die geringe Selektivität und damit die Eignung für alle einheimischen Fischarten, was auf die geringen Strömungsgeschwindigkeiten und Turbulenzen zurückzuführen ist. Dieser Bautyp weist gegenüber künstlichen Bauweisen erhebliche Vorteile auf.

Mit diesem Konzept gelingt es zudem, die Aufgaben des Auf- und Abstieges von Fischen und Benthosorganismen sowie der Sportbootpassage in einem Bauwerk zu vereinen, ohne dass eine der Funktionen darunter nennenswert zu leiden hat.

Nicht nur die positiven Ergebnisse der Pilotanlage Au mit einem Längsgefälle von 8% unterstreichen das Potential zu einer vorteilhaften weiteren Entwicklung. Die Aufgabe der Strömung Energie zu entziehen, machen den Borstenfischpass zu einer echten Alternative zum heute vielfach in steilen und künstlichen Gerinnen eingesetzten Schlitzpass (Vertical-Slot-Pass). Bei bestehenden Aufstiegshilfen, welche vielfach eine ungenügende Funktionalität aufweisen und selektiv wirken, wie zum Beispiel Beckenpässe, kann der Borstenfischpass als Ersatzmassnahme in Betracht gezogen werden.

Anschrift des Verfassers:

Markus Hintermann, Dipl.-Ing. HTL

Hydro-Solar Energie AG

Hauptstrasse 13 / 4435 Niederdorf-BL

Tel. 0041 61 963 00 33 / e.mail: markus.hintermann@hydro-solar.ch

Anschrift des Erfinders:

Dr.-Ing. Reinhard Hassinger

Leiter der Versuchsanstalt und Prüfstelle für Umwelttechnik und Wasserbau

Universität Kassel – FB 14, 34109 Kassel

e-mail: hassingr@uni-kassel.de