

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Paper, Published Version

**Eikenberg, Ralph; Aberle, Jochen**

## **MigRamp – Nachweis von Wanderkorridoren auf naturnahen unstrukturierten Sohlengleiten**

Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:

**Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/108916>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Eikenberg, Ralph; Aberle, Jochen (2022): MigRamp – Nachweis von Wanderkorridoren auf naturnahen unstrukturierten Sohlengleiten. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Nachhaltigkeit im Wasserbau - Umwelt, Transport, Energie. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 68. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 115-124.

### **Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:**

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



# **MigRamp – Nachweis von Wanderkorridoren auf naturnahen unstrukturierten Sohlengleiten**

Ralph Eikenberg  
Jochen Aberle

Die hydraulische Dimensionierung naturnaher unstrukturierter Sohlengleiten erfolgt derzeit über empirische Berechnungsansätze, die auf abschnittsgemittelten Werten basieren, so dass Aussagen über lokale Strömungsverhältnisse nur bedingt möglich sind. Dies wiederum bedeutet, dass der Nachweis passierbarer Wanderkorridore für Fische mit Unsicherheiten behaftet ist, weshalb dieser Gleitentyp trotz seiner Vorteile oftmals nicht umgesetzt wird. Das Projekt MigRamp zielt darauf ab, Wanderkorridore aufsteigender Fische auf naturnahen unstrukturierten Sohlengleiten durch die Verknüpfung von Fischtrajektorien, Sohlentopographie und lokalem Strömungsfeld zu identifizieren und zu quantifizieren. Hierzu wurden und werden kombinierte fischbiologische und hydraulische Untersuchungen über einer bestehenden Sohlengleite an der Ilme in Niedersachsen und an einem 1:1 Modell dieser Gleite im Laxelerator im Vattenfall-Wasserbaulabor in Älvkarleby, Schweden, durchgeführt. Dieser Beitrag stellt das Projekt zusammenfassend vor.

Stichworte: Sohlengleiten, ökologische Durchgängigkeit, Ethohydraulik, Fischtrajektorien

## **1 Einleitung**

Die Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit von Fließgewässern erfolgt in der Praxis auf vielfache Weise. Ist aufgrund der lokalen Randbedingungen die Vorzugslösung des kompletten Rückbaus eines Querbauwerkes an wasserwirtschaftlich wichtigen Anlagen nicht möglich, kommen in der Regel technische Durchgängigkeitsbauwerke, wie beispielsweise Schlitzpässe für den Aufstieg bzw. Leit- und Bypasssysteme für den Abstieg

an Wasserkraftanlagen zum Einsatz. Allerdings liegt heutzutage die Bestrebung darin, die Durchgängigkeit mit naturbasierten Lösungen zu erreichen. Erfüllt ein Querbauwerk seine ursprüngliche Funktion nicht mehr und muss ein Höhengsprung in der Gewässersohle bzw. eine bestimmte Mindestwasserspiegellage im Oberwasser erhalten werden, bietet sich die Konstruktion von Sohlengleiten an, mit Hilfe derer der Höhenunterschied auf relativ kurzer Strecke überwunden wird (DWA 2009).

Naturnahe unstrukturierte Sohlengleiten zeichnen sich durch die flächige und unregelmäßige Anordnung von Störsteinen aus und weisen eine räumlich heterogene Gewässersohle mit vielfältigen Strömungsverhältnissen auf. Sie passen sich, verglichen mit geometrisch definierten Bauformen wie Riegel-Becken-Strukturen oder Gleiten mit in regelmäßigen Abständen gesetzten Störsteinen, sehr gut in das Erscheinungsbild des jeweiligen Fließgewässers ein. Darüber hinaus bieten sie zusätzliche Habitate für die aquatische Fauna. Die hydraulische Dimensionierung dieser Bauwerke erfolgt derzeit über empirische Berechnungsansätze, die auf abschnittsgemittelten Werten basieren, sodass die zur Fischpassierbarkeit nötigen Aussagen über lokale Strömungsverhältnisse nicht möglich sind. Dies wiederum bedeutet, dass der Nachweis passierbarer Wanderkorridore auf Grundlage des aktuellen technischen Regelwerks gemäß DWA M-509 (DWA, 2014) für Fische mit Unsicherheiten behaftet ist. Deshalb wird dieser Gleitentyp trotz seiner Vorteile in der Praxis oftmals nicht umgesetzt und es wird auf die genannten eher technischen, aber trotzdem als „naturnah“ eingestuften Bauformen zurückgegriffen, obwohl nach Auskunft der zuständigen Behörden, Planer und Unterhaltungsverbände in Niedersachsen naturnahe unstrukturierte Sohlengleiten als Vorzugslösung für die Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit angesehen werden.

Aus der beschriebenen Problematik entstand die Idee für das Projekt „Mig-Ramp – Identifizierung von Wanderkorridoren auf naturnahen unstrukturierten Sohlengleiten durch die holistische Analyse von Fischtrajektorien und Strömungsbedingungen“. Die Zielsetzung des Projektes, das in Kooperation mit den Projektpartnern *Leineverband* und *Vattenfall Research and Development AB (Vattenfall R&D)* durchgeführt wird, besteht in der Verbesserung des Verständnisses über aufwärtsgerichtete Fischwanderungen auf naturnahen unstrukturierten Sohlengleiten unter besonderer Beachtung der hydraulischen und topografischen Randbedingungen zur Identifikation

und Definition von Wanderkorridoren. Das Projekt wird von der *Deutschen Bundesstiftung Umwelt* (DBU) gefördert.

An einer bestehenden Sohlengleite wurden und werden derzeit in Zusammenarbeit mit dem *Leineverband* umfangreiche Naturuntersuchungen durchgeführt. Darüber hinaus wurden erstmals detaillierte fischbiologische und hydraulische Untersuchungen in einem 1:1 Modell einer naturnahen unstrukturierten Sohlengleite durchgeführt. Zu diesem Zweck wurde ein Bereich der im Fokus stehenden Sohlengleite detailgetreu reproduziert und im „*Laxelerator*“, einer weltweit einzigartigen Versuchseinrichtung für ethohydraulische Versuche im Vattenfall-Wasserbaulabor in Älvkarleby (Schweden) zur Durchführung von ethohydraulischen Versuchen genutzt. In den Natur- und Laboruntersuchungen werden sowohl Fischtrajektorien als auch lokale und globale Strömungsbedingungen in Abhängigkeit des Abflusses und der Sohlentopographie des Bauwerks dokumentiert, was wiederum die Identifizierung und Quantifizierung von Wanderkorridoren aufsteigender Fische erlaubt. Die erhobenen Daten sollen zur Verbesserung der Dimensionierungsgrundlagen und Monitoringverfahren von naturnahen unstrukturierten Sohlengleiten dienen. So werden die Fische, etwas salopp formuliert, zu ihren eigenen Baumeistern gemacht. Die einzelnen Arbeitspakete sind in Abbildung 1 aufgeführt. In diesem Beitrag wird das Projekt zusammenfassend vorgestellt.



Abbildung 1: Projektübersicht MigRamp mit Arbeitspaketen und Schema der Grundidee (Grafik: Eikenberg)

A4

## 2 Vermessung der Sohlengleite und digitales Höhenmodell

Die im Projekt durchgeführten bzw. im weiteren Projektverlauf noch durchzuführenden Untersuchungen fokussieren sich auf eine bestehende Sohlengleite in der Ilme bei Einbeck in Niedersachsen (Abbildung 2). Das Bauwerk wurde 2011 im Zuge des Rückbaus einer Wehranlage zur Stützung der Wasserspiegellage errichtet, um einen aus der Ilme abzweigenden historischen Mühlengraben weiterhin mit Wasser zu versorgen. Da die Sohlengleite in Bezug auf die Fischpassierbarkeit nachweislich funktionsfähig ist, wurde sie als „best-practice“-Beispiel für das Projekt ausgewählt.



**Abbildung 2:** Naturnahe unstrukturierte Sohlengleite in der Ilme bei Einbeck (Niedersachsen, Deutschland; Aufnahme: Eikenberg)

Für die Erstellung des digitalen Höhenmodells der Sohlengleite musste diese temporär trockengelegt werden (Abbildung 3). Die Planung dieser nicht alltäglichen Aktion fand in enger Abstimmung mit den für wasser- bzw. naturschutzfachliche Fragen und Genehmigungen zuständigen Stellen des *Landkreises Northeim* (Untere Wasserbehörde und Untere Naturschutzbehörde) sowie dem *Dezernat Binnenfischerei – Fischereikundlicher Dienst des Niedersächsischen Landesamtes für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (LAVES)* für Belange des Fischschutzes statt. Die Trockenlegung erfolgte im Oktober 2020 vor der Laichzeit der Bachforelle und fand mit Unterstüt-

zung des *Leineverbandes* (Großgerät zum Aufbau des Dammes), des *Technischen Hilfswerkes* (Pumpentechnik) des örtlichen Fischereivereins (Fischbergung mittels Elektrofischerei) sowie des *Instituts für Geoökologie der TU Braunschweig* (terrestrischer Laserscanner) statt. Durch die Errichtung eines temporären Dammes aus mit Kies gefüllten Bigbags unmittelbar oberstrom der Sohlgleite konnte das Ilmewasser (ca. 800 l/s am Tag der Vermessung) in den dort abzweigenden Mühlengraben geleitet und das Bauwerk auf diese Weise trockengelegt werden. Leistungsstarke Pumpen sorgten für einen Mindestabfluss von ca. 150 l/s im Unterwasser der Gleite, so dass die Ilme nicht vollständig trockenfiel.



Abbildung 3: a) Prinzipskizze zur Trockenlegung der Sohlgleite, b) Einheben der Bigbags, c) fertiggestellter Damm (Grafik, Fotos: Eikenberg)

Bei der anschließenden Vermessung kamen sowohl ein terrestrischer Laserscanner als auch die Structure-from-Motion-Photogrammetrie (SfM) zur Anwendung. Marker- und Fixpunkte für die Georeferenzierung wurden über ein differentielles GNSS (Global Navigation Satellite System) eingemessen. Die Laserscan-Punktwolke diente als Basis für das digitale Höhenmodell der Sohlgleite. Fehlstellen wurden mit Informationen aus der SfM-Punktwolke gefüllt, um eine lückenlose Oberfläche zu erhalten. Die finale Punktwolke umfasst eine Fläche von ca. 90 m<sup>2</sup> bei ca. 85 Mio. Punkten. Hieraus konnte ein Gitter bzw. ein digitales Höhenmodell generiert werden, das die Geometrie der Sohlgleite in einem hohem Detailgrad darstellt (Abbildung 4). Dieses digitale Höhenmodell bildete die Grundlage für das 1:1-Labormodell.

A4

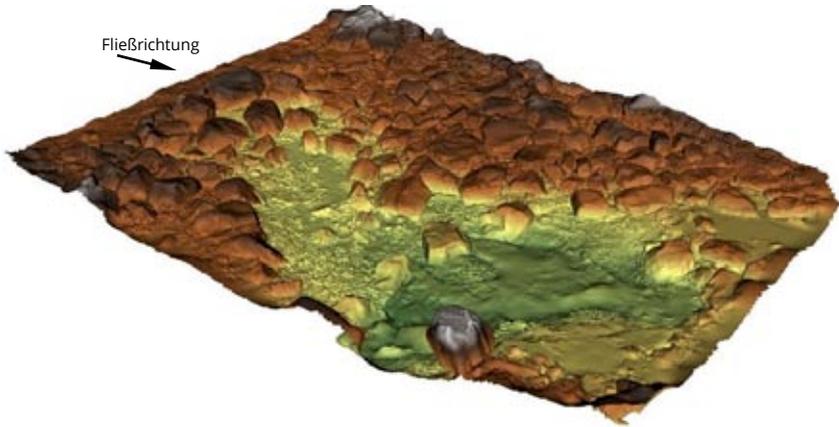


Abbildung 4: Digitales Höhenmodell der Ilme-Sohlengleite (Grafik: Eikenberg)

### 3 Laborexperimente

Für die Laborexperimente stellte der *Vattenfall R&D* in seinem Wasserbau-labor die ethohydraulische Versuchsrinne „*Laxelerator*“ zu Verfügung. Der Aufbau dieser speziell für großskalige Experimente mit Fischen konzipierten Versuchsrinne ähnelt einer Rennbahn mit zwei parallelen, jeweils 24 m langen und 4 m breiten Kompartimenten, die über zwei 180°-Kurven verbunden sind. Über die installierten Pumpen kann das Wasservolumen so bewegt (beschleunigt) werden, dass bei 2 m Abflusstiefe bis zu 16 m<sup>3</sup>/s an Durchfluss erreicht werden können. Die Rinne wird mit Wasser aus dem Fluss Dalälven versorgt. Für die Versuche wurden die zwei Kompartimente des „*Laxelerator*“ zu jeweils unabhängig betriebenen Rinnen umgebaut, wobei die hier beschriebenen Versuche in einem Kompartiment durchgeführt wurden.

Das Labormodell im „*Laxelerator*“ wurde aufgrund der Beschränkung des Modellbereichs auf 4 m Breite als Teilmodell im Maßstab 1:1 konzipiert. Dieses umfasst die Rinnenstruktur, die bei Niedrig- bis Mittelwasserbedingungen den Hauptanteil des Durchflusses aufnimmt (vgl. Abbildung 2). Die dreidimensionale Struktur wurde in Einzelblöcke mittels CNC-Frästechnik in besonders festes Styropor hineingefräst. Nach dem Zusammenfügen der Einzelblöcke wurde das Modell mit einer wasserdichten Membranfarbe überzogen. Die Wasserversorgung von bis zu 1.300 l/s erfolgte über drei

Pumpen aus dem Tiefbehälter unter dem Rinnenboden. Der durch Gitter- bzw. Lochblechwände im Ober- und Unterwasser abgetrennte Modellbereich wurde mit einem umfangreichen System von bis zu 31 Kameras über und unter Wasser ausgestattet, um die Bewegungen der Fische während der ethohydraulischen Versuche aufzuzeichnen. Der finale Versuchsaufbau mit dem Fließschema ist in Abbildung 5 dargestellt.

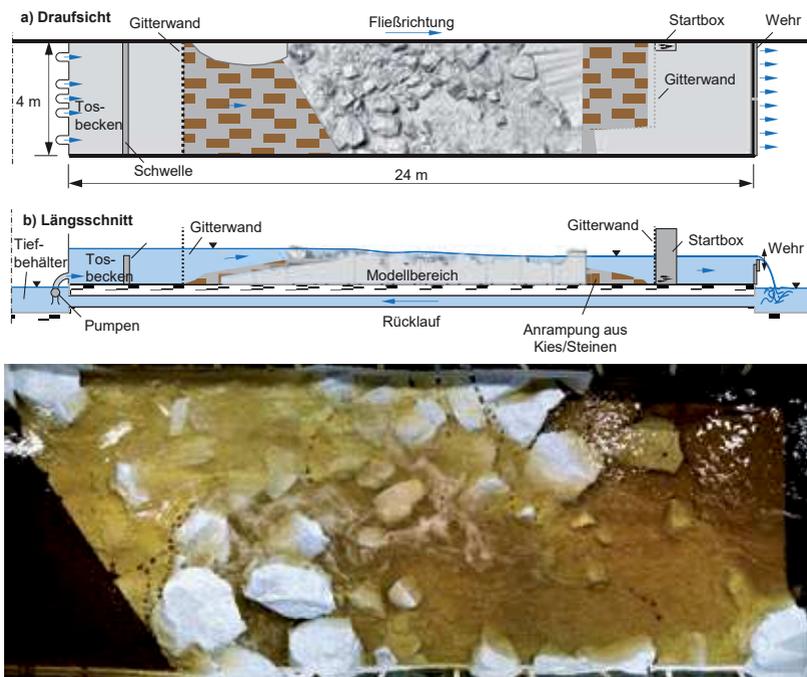


Abbildung 5: Versuchsaufbau im „Laxelerator“ (oben) und Modell im Betrieb bei  $Q_1$  (unten) (Grafik, Aufnahme: Eikenberg)

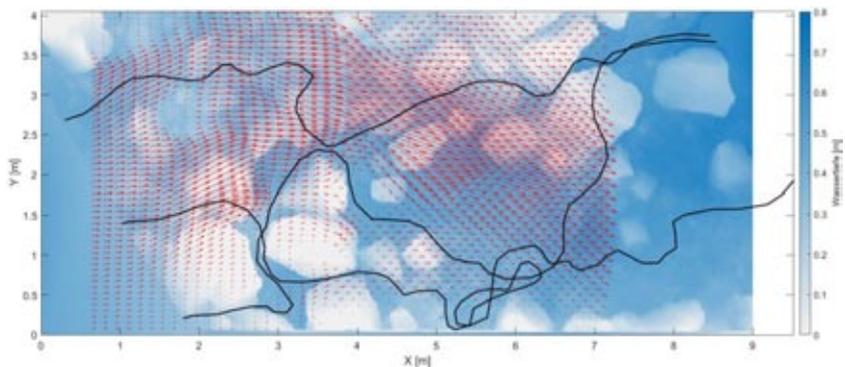
Die ethohydraulischen Versuche wurden für drei unterschiedliche hydraulische Situationen durchgeführt, die sich am Niedrig- bis Mittelwasserdurchfluss der Ilme orientierten. Die eingestellten Durchflüsse betragen  $Q_1 = 372$  l/s,  $Q_2 = 844$  l/s und  $Q_3 = 1.200$  l/s. Während der Versuche lagen gleichbleibende Lichtverhältnisse und Wassertemperaturen vor. Um eine bestmögliche Sichtbarkeit für die Kameraaufnahmen zu gewährleisten, wurde das Flusswasser durchgehend gefiltert.

In den Versuchen wurden insgesamt vier Fischarten eingesetzt, die sowohl aus Zuchtprogrammen als auch Wildfängen stammten:

- Forelle (*Salmo trutta*, Altersklassen 0+ und 1+, Zuchtfische),
- Äsche (*Thymallus thymallus*, Altersklasse 0+, Zuchtfische),
- Flussbarsch (*Perca fluviatilis*, 9-17 cm, Wildfische) und
- Groppe (*Cottus gobio*, 6-11 cm, Wildfische).

Es wurden sowohl Versuche mit mehreren Arten gleichzeitig als auch mit nur einer Art bzw. Altersklasse durchgeführt. Die einzelnen Arten- bzw. Probandengruppen wurden während der Versuchsperiode in auf mehrere Wasserkreisläufe verteilten Becken mit jeweils 800 l Fassungsvermögen gehältert. Das für die Hälterung verwendete Wasser stammte ebenfalls aus dem Dalälven, wurde gefiltert und konnte bei Bedarf gekühlt werden. Während der Fischtests erreichten insgesamt 67 Fische das Oberwasser (51 Forellen, 16 Flussbarsche). Die Fische wurden nach Abschluss der ethohydraulischen Versuche im Dalälven ausgesetzt.

Die kontrollierten Bedingungen im „Laxelerator“ erlaubten nach Abschluss der ethohydraulischen Versuche die detaillierte Aufnahme der Wassertiefen sowie der Fließgeschwindigkeiten sowohl im Wasserkörper durch zeitlich hoch aufgelöste Punktmessungen (Acoustic-Doppler-Velocimetry, Messfrequenz 50 Hz) als auch an der Oberfläche mittels Particle-Tracking-Velocimetry. Diese Informationen können später mit den identifizierten Fischtrajektorien verknüpft werden (Abbildung 6).



**Abbildung 6:** Trajektorien von drei Forellen aus den Laborexperimenten sowie flächige Verteilung der Wassertiefen und Oberflächengeschwindigkeiten (rote Pfeile) für den Durchfluss Q2 (Grafik: Eikenberg)

## 4 Felduntersuchungen

Die im 1:1-Modell ermittelten Fischtrajektorien werden in den noch anstehenden Feldmessungen dazu genutzt, die Gleite in der Ilme an geeigneten Positionen mit Kameras über und unter Wasser zu instrumentieren, um das im „Laxelerator“ beobachtete Verhalten der Fische mit dem Verhalten in der Natur zu vergleichen. Das detaillierte Strömungsfeld über der Gleite wird unter Naturbedingungen mit denselben Verfahren wie im Labor erfasst, wobei bereits erste Messungen durchgeführt wurden (Abbildung 7).



**Abbildung 7:** Äsche auf der Sohlengleite (links), Geschwindigkeitsmessungen im Feld (rechts) (Aufnahmen: Eikenberg)

## 5 Ganzheitliche Analyse und Ausblick

Die ganzheitliche Analyse der Labor- und Naturuntersuchungen dient schließlich zur erstmaligen fischbasierten Identifizierung und somit dem direkten Nachweis von Wanderkorridoren und Migrationsmustern in Abhängigkeit lokaler hydraulischer und topographischer Verhältnisse auf naturnahen unstrukturierten Sohlengleiten. Die Vorgehensweise orientiert sich an dem von Lacey et al. (2012) entwickelten IPOS-Konzept, d.h. neben der Betrachtung der übergeordneten hydraulischen Parameter Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit werden zusätzlich die Turbulenzeigenschaften der räumlich heterogenen Strömung und deren Verknüpfung mit den ermittelten Fischtrajektorien auf der Sohlengleite betrachtet.

Da über die Quantifizierung der hydraulischen Verhältnisse auch Turbulenzmuster entlang der identifizierten Wanderkorridore und die von Fischen bei der Passage gemiedenen Bereiche beschrieben werden, tragen

die Ergebnisse zur Entwicklung neuer und verbesserter Dimensionierungskriterien für naturnahe unstrukturierte Sohlgleiten und somit zur Verbesserung der ökologischen Durchgängigkeit der Fließgewässer bei.

## 6 Literatur

- DWA (2009): Naturnahe Sohlgleiten. DWA-Themen. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
- DWA (2014): Merkblatt DWA-M 509 Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke - Gestaltung, Bemessung, Qualitätssicherung. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
- Lacey, R.W.J., Neary, V.S., Liao, J.C., Enders, E.C. & Tritico, H.M. (2012): The IPOS framework: Linking fish swimming performance in altered flows from laboratory experiments to rivers. *River Res. Applic.*, 28, 429-443.

Autoren:

Dipl.-Ing. Ralph Eikenberg

Prof. Dr.-Ing. Jochen Aberle

Technische Universität Braunschweig  
Leichtweiß-Institut für Wasserbau  
Abteilung Wasserbau und  
Gewässermorphologie  
Beethovenstraße 51a  
38106 Braunschweig

Technische Universität Braunschweig  
Leichtweiß-Institut für Wasserbau  
Abteilung Wasserbau und  
Gewässermorphologie  
Beethovenstraße 51a  
38106 Braunschweig

Tel.: +49 531 391 3946

Tel.: +49 531 391 3999

Fax: +49 531 391 8184

Fax: +49 531 391 8184

E-Mail: r.eikenberg@tu-  
braunschweig.de

E-Mail: jochen.aberle@tu-  
braunschweig.de