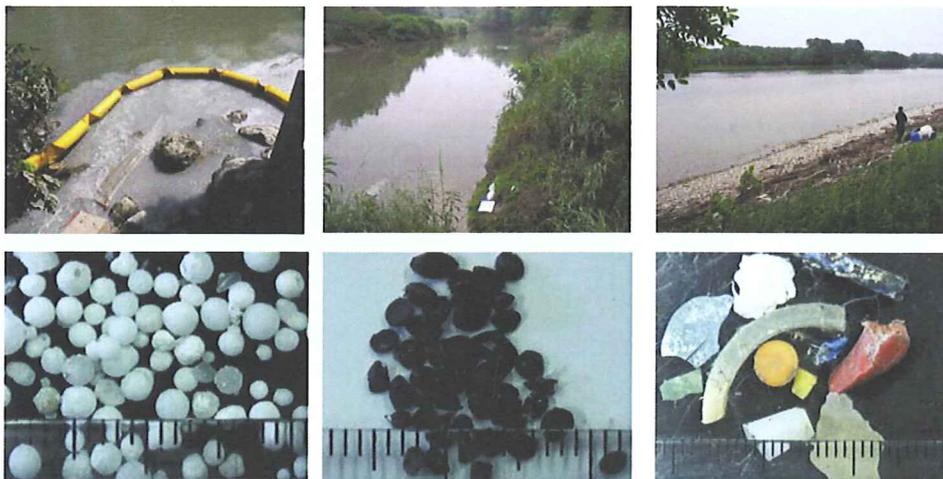




# Räumliche und zeitliche Muster des Plastikeintrages aus dem Betriebskanal der Firma Borealis in die Schwechat und Donau

Endbericht Projekt Nr. FA 572016

PO Nr. 3100058742



Projektleitung: Ao. Univ. Prof. Dr. Hubert Keckeis

Koordination: Mag. Aaron Lechner

Universität Wien  
Abteilung Limnologie  
Althanstrasse 14  
1090 Wien

Wien, Februar 2011

## INHALTSVERZEICHNIS

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>EINLEITUNG .....</b>                                  | <b>3</b>  |
| <b>2</b> | <b>MATERIAL UND METHODIK .....</b>                       | <b>6</b>  |
| 2.1      | UNTERSUCHUNGSGEBIET .....                                | 6         |
| 2.1.1    | <i>Schwechat</i> .....                                   | 7         |
| 2.1.1.1  | Probenstelle Kanal (K).....                              | 7         |
| 2.1.1.2  | Probenstelle Schwechat (S).....                          | 8         |
| 2.1.2    | <i>Donau</i> .....                                       | 9         |
| 2.1.2.1  | Probenstelle Donau linkes Ufer (DL).....                 | 9         |
| 2.1.2.2  | Probenstelle Donau rechtes Ufer flussauf (DRU).....      | 9         |
| 2.1.2.3  | Probenstelle Donau rechtes Ufer flussab (DRD).....       | 10        |
| 2.2      | PROBENNAHME .....  | 11        |
| 2.3      | PROBENAUFARBEITUNG .....                                 | 14        |
| 2.4      | DATENANALYSE.....  | 16        |
| <b>3</b> | <b>ERGEBNISSE .....</b>                                  | <b>17</b> |
| 3.1      | ABIOTIK .....  | 17        |
| 3.2      | PARTIKELTRANSPORT IM BETRIEBSKANAL.....                  | 19        |
| 3.2.1    | <i>Quantifizierung der Partikelfracht</i> .....          | 19        |
| 3.2.2    | <i>Zeitlicher Verlauf des Partikeleintrages</i> .....    | 23        |
| 3.3      | PARTIKELEINTRAG IN DIE FLÜSSE SCHWECHAT UND DONAU .....  | 30        |
| 3.3.1    | <i>Quantifizierung des Partikeleintrages</i> .....       | 30        |
| 3.3.2    | <i>Zeitlicher Verlauf des Partikeleintrages</i> .....    | 40        |
| 3.4      | ABHÄNGIGKEIT DES PARTIKELTRANSPORTES VOM DURCHFLUSS..... | 43        |
| <b>4</b> | <b>DISKUSSION .....</b>                                  | <b>46</b> |
| <b>5</b> | <b>LITERATUR .....</b>                                   | <b>49</b> |
| <b>6</b> | <b>ANHANG .....</b>                                      | <b>51</b> |

### Zitierangabe:

Lechner, A. & Keckeis, H. 2011. Räumliche und zeitliche Muster des Plastikeintrages aus dem Betriebskanal der Firma Borealis in die Schwechat und Donau. Endbericht. Studie im Auftrag der Borealis Polyolefine GmbH. 55pp.

## 1 Einleitung

Innerhalb von wenigen Dekaden, seit die Massenproduktion von Plastik in den 1950er-Jahren anlief, hat sich Plastikmüll in den unterschiedlichsten Ökosystemen, von den Polen bis zum Äquator, akkumuliert. Dabei ist neben der jährlich steigenden Produktionsmenge vor allem die Langlebigkeit des Polymers, welche in Abhängigkeit von den chemischen und physikalischen Eigenschaften auf 100 bis 1000 Jahre geschätzt wird, ein entscheidender Faktor. So gelangen Barnes et al (2009) in einer Studie über die globale Akkumulation von Plastik zur Schlussfolgerung: „*One of the most ubiquitous and long-lasting recent changes to the surface of our planet is the accumulation and fragmentation of plastics*“. Man geht davon aus, dass sämtliches in die Umwelt eingebrachte Plastik nach wie vor, zumindest fragmentarisch, dort vorhanden ist. Wichtige Quellen des Eintrages sind neben der direkten Entsorgung von Abfall an Land bzw. im Wasser die Winderosion von Mülldeponien (der Plastikanteil am kommunalen Abfall beträgt weltweit etwa 10%) sowie der Verlust durch Unfälle oder beim Transport. Die dadurch entstehenden Konsequenzen für Mensch und Umwelt sind noch weitgehend unbekannt, aber die Liste der potentiell schädlichen Auswirkungen wird stetig erweitert. So konnten Studien bisher die Aufnahme von Plastikpartikeln bei 180 Tierarten dokumentieren (Laist 1997). Oft wird dabei das Plastik mit natürlichen Nahrungspartikeln verwechselt, was schwerwiegende Folgen wie Verstopfung des Nahrungsaufnahme- und Verdauungsapparates (Baird & Hooker 2000), innere Perforierungen, Geschwürbildung (Fry et al. 1987), Verhungern und schlussendlich den Tod (Mascarenhas et al. 2004) nach sich ziehen kann. Aufgrund der Fragmentierung des Plastiks in der Umwelt durch UV-Licht und physikalische Abrasion sind davon nicht nur große Organismen (Vögel, Fische, Schildkröten, marine Säuger etc.) sondern zunehmend auch Klein-, und Kleinstlebewesen wie z.B. aquatische Invertebraten (Flohkrebse, Ringelwürmer) und Plankton betroffen (Barnes et al. 2009).

Die hohen Abundanzen von Plastikpartikeln in aquatischen Systemen und die weiten Distanzen, die sie in selbigen zurücklegen, machen sie außerdem zu potentiellen Verbreitungsvektoren für (Mikro-)Organismen (Einschleppung nicht-endemischer Arten) (Barnes 2002) und organischen Kontaminanten, die an der Oberfläche des Polymers adsorbieren (Mato et al. 2001). Manche der hydrophoben organischen Schadstoffe zeigen höhere Affinitäten für Plastik als für natürliche Sedimente (Teuten et al. 2007), was nebenbei auch zu einer erhöhten Persistenz der Substanzen in der Umwelt führt, da sie der Biodegradation entzogen werden (Hatzinger & Alexander 1997).

Neben der besagten Adsorption liegt der Fokus der Wissenschaft seit ein paar Jahren nun auch auf der Desorption bzw. der Auswaschung toxischer Substanzen aus dem Plastikmüll. In der Manufaktur werden dem Plastik oft Chemikalien („Additives“) beigemischt, die dem Endprodukt bestimmte Eigenschaften verleihen sollen. Dazu gehören unter anderem Stabilisatoren, Flammenschutzadditive, Antioxidationsmittel und antimikrobielle Substanzen. Einige dieser Stoffe können aufgrund ihres geringen Molekulargewichts die Zellwände passieren und mit biologisch wichtigen Molekülen interagieren. In Tierversuchen konnten die schädlichen Auswirkungen von Phthalaten, Bisphenol A, und polybromierten Diphenylethern bereits gezeigt werden (Jagnytsch et al. 2006, Norman et al. 2007, Santos et al. 2007). Zusammengefasst unter dem Akronym EDC (Endocrine Disrupting Compounds), sind sie für Störungen des Hormon-, und Fortpflanzungssystem verantwortlich.

Die Wirkung auf den Menschen wird erst seit kurzer Zeit untersucht. Das Wissen darüber ist noch sehr lückenhaft. Es steht fest, dass besagte Kontaminanten auf niedrigen trophischen Niveaus in die Nahrungskette eingeschleust werden an deren Ende der Mensch steht. Vor allem die Abundanz und globale Verbreitung von Mikroplastik (< 5 mm) hat in den letzten Dekaden stark zugenommen (Thompson et al. 2004). In diese Größenklasse fällt auch das als industrielles Rohmaterial hergestellte meist zylinder- oder kugelförmige Granulat („Resin Pellets“), welches an anderen Manufakturstellen wieder eingeschmolzen und in die finale Form gebracht wird.

Ein führendes Unternehmen bei der Fertigung dieses Rohstoffes ist die 1994 gegründete Firma Borealis. Der über 5000 Mitarbeiter beschäftigende Betrieb mit Produktionsstätten in neun Ländern hat sich auf die Herstellung von Polyolefin-Produkten, vor allem für die Bereiche Verpackung, Infrastruktur und Automobil spezialisiert. Eine große Produktionsstelle befindet sich in Schwechat, östlich von Wien. Bei wissenschaftlichen Studien des Departments für Limnologie der Universität Wien im Hauptstrom der Donau (2008) wurde die Drift von Plastikpartikeln mit einem Durchmesser von 4-5 mm dokumentiert. Die Tatsache, dass der untersuchte Flussabschnitt unterhalb der Schwechatmündung lag, in welche auch der Borealis-Betriebskanal fließt, veranlasste die Firma, die den Umweltschutz seit ihrer Gründung in den Unternehmenswerten verankert hat, zu einer Klärung des Sachverhaltes.

Anfang 2010 erging ein Auftrag der Firma Borealis an das Department für Limnologie (Universität Wien). Die Ergebnisse der darauf durchgeführten Freiland-, und Laborstudien zu wichtigen Aspekten des Plastikeintrages in Schwechat und Donau werden im Folgenden präsentiert. Die zentralen Inhalte der Untersuchungen können wie folgt formuliert werden:

- Quantifizierung der Partikelfracht im Firmen-Betriebskanal und Abundanzverteilung der unterschiedlichen Plastikfraktionen.
- Quantifizierung sowie zeitlicher Verlauf des Plastikeintrages in die Flüsse Schwechat und Donau.
- Vergleich des Plastiktransportes im Donauhauptstrom flussauf- und flussabwärts der Schwechatmündung.
- Abhängigkeit der transportierten Plastikmenge von Umweltparametern wie Fließgeschwindigkeit und Durchfluss.

Für eine fundierte Einschätzung der Belastung unserer Ökosysteme durch Plastikmüll ist Monitoring von entscheidender Bedeutung, wie Ryan et al (2009) proklamieren: „*Monitoring is crucial to assess the efficacy of measures implemented to reduce the abundance of plastic debris, but it is complicated by large spatial and temporal heterogeneity in the amounts of plastic debris and by our limited understanding of the pathways followed by plastic debris and its long-term fate*“. Ein Großteil der Studien, die sich mit dem Eintrag von Plastikmüll in die Umwelt und den daraus resultierenden Problemen für Tier und Mensch auseinandersetzen, wurde in marinen Habitaten durchgeführt (Gregory 2009). Obwohl einige Arbeiten gezeigt haben, dass große Flüsse maßgeblich zur Plastikakkumulation in den Sedimenten der Ozeane beitragen (Williams & Simmons 1997), sind uns keine Arbeiten bekannt, die sich mit den quantitativen, räumlichen oder zeitlichen Aspekten des Plastiktransportes in Fließgewässern auseinandersetzen.

Diese Untersuchung liefert daher nicht nur für die Firma Borealis wichtige Informationen bezüglich negativer Umwelteinflüsse und möglicher Ursachen, sondern erlaubt auch neue Einblicke in aktuelle Forschungsfragen.

## 2 Material und Methodik

### 2.1 Untersuchungsgebiet

Die Donau entspringt im Schwarzwald und durchquert auf ihrem Verlauf insgesamt 10 europäische Staaten von Westen nach Osten, bis sie in Rumänien ins Schwarze Meer entwässert. Die Donau ist mit einer Gesamtlänge von 2857 km und einer durchschnittlichen Wasserführung von  $6500 \text{ m}^3 \text{ Sek.}^{-1}$  im Mündungsbereich der zweitgrößte Fluss Europas. Sie trifft bei Passau in Österreich ein und verlässt Österreich kurz vor Bratislava. Die österreichische Donaustrücke misst 352 km, was einem Gesamtanteil von 12,3% an der Gesamtlänge entspricht und weist ein durchschnittliches Gefälle von  $40 \text{ cm km}^{-1}$  auf. Der mittlere Abfluss beträgt an der deutschen Grenze (Messstation Jochenstein, Stromkilometer 2203,8)  $1420 \text{ m}^3 \text{ Sek.}^{-1}$  und an der slowakischen Grenze (Messstation Hainburg Stromkilometer 1878,9) bereits  $2060 \text{ m}^3 \text{ Sek.}^{-1}$  bei einem Einzugsgebiet von  $131000 \text{ km}^2$  (Wassergüte der Donau 2008-2009). Der österreichische Anteil ist größtenteils dem Hyporithral (Äschenregion), wenige Abschnitte auch dem Epipotamal (Barbenregion) zuzuordnen Liepolt (1965). Zahlreiche Zuflüsse aus dem Alpengebiet, wie zum Beispiel der Inn bei Passau, verleihen der Donau Charakteristika eines Gebirgsflusses mit hohen Abflüssen im Sommer und niedrigen im Winter. Die Hochwasserwahrscheinlichkeit erreicht Maxima im Frühjahr, bedingt durch die Schneeschmelze in den Alpen und bisweilen im Sommer nach starken Niederschlägen im Einzugsgebiet (SCHIEMER 2001). Im Verlauf des 19. Jahrhunderts hat sich das Erscheinungsbild der Donau durch Regulierungsmaßnahmen stark verändert. Dabei spielte nicht nur der Hochwasserschutz eine wichtige Rolle, sondern auch der Ausbau des Flusses als Wasserstrasse. Zusätzlich ist die Donau aufgrund des hohen Gefälles und der hohen Wasserführung für die Energiewirtschaft von großem Interesse und wird alleine in Österreich mit 10 Kraftwerken dementsprechend genutzt. Einzig die Wachau und die Strecke unterhalb vom Kraftwerk Freudenau bis zur österreichisch-slowakischen Staatsgrenze konnten noch als letzte frei fließende Strecken erhalten werden. Dieser 50 km lange Flussabschnitt südlich von Wien wurde zum Schutz der umliegenden Auengebiete im Jahr 1996 als Nationalpark ausgewiesen. Mit einer Fläche von 9300 ha stellt er Mitteleuropas größtes, weitgehend intaktes, Auengebiet dar.

Die Schwechat hat ihren Ursprung am Schöpfpl im Wienerwald in 893 m Seehöhe, wird aber erst bei Klausen-Leopoldsdorf, nach dem Zusammenfluss mehrerer Bäche, als Schwechat bezeichnet. Der noch teilweise naturnahe Charakter im Oberlauf (vor und im Helenental) geht nach dem Eintritt der Schwechat ins Wiener Becken bei Baden durch Regulierungsmaßnahmen komplett verloren. Im Wiener Becken nimmt die Schwechat

mehrere Flüsse wie Triesting, Mödling und Liesing in ihr Flusssystem auf und mündet schließlich bei Mannswörth am rechten Ufer in die Donau (Stromkilometer 1913,7). Hier besitzt sie ein Einzugsgebiet von 900 km<sup>2</sup> (Wassergüte der Donau 2008-2009).

Sämtliche Untersuchungen zu dieser Arbeit fanden in Niederösterreich bei der Ortschaft Mannswörth (Gemeinde Schwechat) statt, welche südöstlich von Wien am nördlichen Rand des Wiener Beckens lokalisiert ist. Die Probenahmen wurden an fünf unterschiedlichen Standorten; die allesamt im Nationalparkgebiet Donauauen liegen, gleichzeitig durchgeführt. Die Abbildung 1 zeigt Luftaufnahmen der Probestellen mit den Positionen der verwendeten Netze. Das Setzen der Netze an exakt den gleichen Stellen über den gesamten Untersuchungszeitraum war, aufgrund des fluktuierenden Wasserstandes, außer im Kanal, nicht möglich.

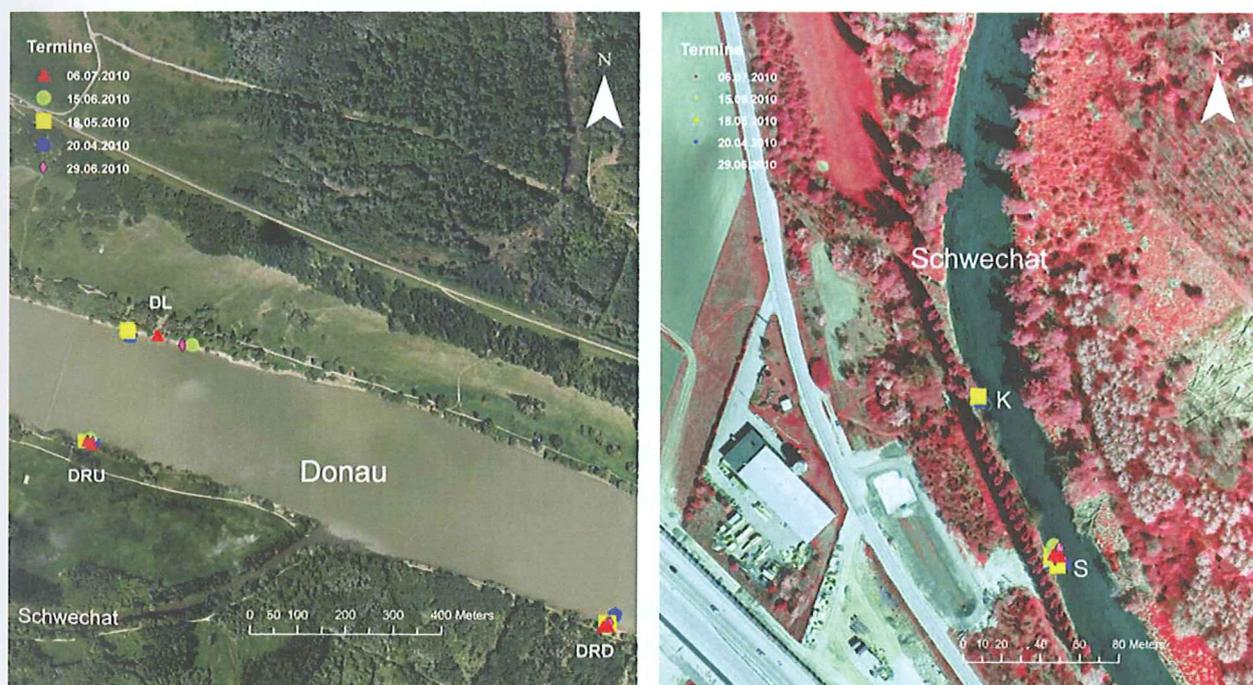


Abbildung 1. Links: Orthophoto mit den 3 Standorten an der Donau (DL = Donau links; DRD = Donau rechtes Ufer flussab, DRU = Donau rechtes Ufer flussauf). Rechts: Orthophoto mit den 2 Standorten an der Schwechat (K = Kanal, S = Schwechat).

## 2.1.1 Schwechat

### 2.1.1.1 Probenstelle Kanal (K)

Der Probenpunkt lag an der Schwechat direkt im Ausfluss des Abwasserkanals der Firma Borealis. Der Kanal ist 1,1m breit und weist im Tagesverlauf eine schwankende Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit auf. Im unmittelbaren Mündungsbereich endet das geometrische Profil des Kanals und die betonierten Seitenwände sowie die glatte Sohle werden von grobem Blockwerk abgelöst. Um den Partikeleintrag aus dem Kanal in die Schwechat zu minimieren

wurde von der Firma Borealis eine längliche Schwimmbarriere (gelb) an der linken Kanalwand angebracht.



Abbildung 2.: Der Standort Kanal, Mündungsbereich in die Fischa mit flotierender Sperre zum Rückhalt von eingeschwemmten Plastikpartikeln

#### 2.1.1.2 Probenstelle Schwechat (S)

Der Standort lag ca. 3 km von der Mündung entfernt am orografisch rechten Ufer der Schwechat. Der Fluss ist an dieser Stelle ca. 25m breit und etwa 1.5m tief. An diesem Abschnitt verläuft die Schwechat fast parallel zum Donauhauptstrom und ist beidseitig von einem dichten Auwald umgeben. Die Ufer sind unverbaut und zeigen charakteristische Abbruchkanten und einen weitgehend heterogenen Uferverlauf. Etwa 80 m flussaufwärts dieser Probestelle mündet der Betriebskanal der Firma Borealis in die Schwechat.



Abbildung 3. Standort Schwechat bei Mittelwasser am 15. Juni (links) und bei erhöhtem Wasserstand am 18. Mai (rechts).

### 2.1.2 Donau

Die drei Standorte an der Donau waren entlang einer lang gezogenen Linkskurve des Hauptstromes zwischen Stromkilometer 1914,5 und 1912,5 lokalisiert. Der Fluss ist an dieser Stelle etwa 300 m breit und die durchschnittliche Wassertiefe bei Mittelwasser beträgt ca. 2 m. Ein Standort befand sich am orografisch linken Ufer im Wiener Teil des Nationalparks, die zwei anderen Probestellen lagen am orografisch rechten Ufer im niederösterreichischen Teil des Nationalparks Donauauen.

#### 2.1.2.1 Probenstelle Donau linkes Ufer (DL)

Der Probenpunkt lag etwa 150 m stromabwärts von der Barbara-Rohrbrücke (Gas-Pipeline) am linken Donauufer. Das Ufer ist hier durch eine ca. 2m hohe Abbruchkante charakterisiert, die hauptsächlich aus Feinsedimenten besteht. Darauf folgt eine flach abfallende Schotterfläche mit den vorherrschenden Sedimentklassen Mesolithal (6-20 cm) und Mikrolithal (2-6 cm). Bei erhöhtem Wasserstand am 15. Juni bzw. 6. Juli war die Schotterfläche vollständig überspült. Die Schotterbank selbst ist weitgehend vegetationsfrei. Die dahinter liegende Ufervegetation besteht aus den für Auenwälder typischen Gehölz- und Pflanzentypen. So überragten die Stelle teilweise große Weiden und Pappeln.



Abbildung 4. Standort Donau Links bei Mittelwasser am 18. Mai (links) und bei erhöhtem Wasserstand am 6. Juli (rechts).

#### 2.1.2.2 Probenstelle Donau rechtes Ufer flussauf (DRU)

Der Standort lag am orografisch rechten Donauufer etwa 200m unterhalb der Barbara-Rohrbrücke und ca. 500m flussaufwärts von der Schwechatmündung. Es ist ein relativ lineares, hart verbautes Ufer, das mit grobem Blockwurf gesichert ist. Aufgrund der steil abfallenden Uferkante (Neigung etwa 30°) war ein paralleles Setzen der Netze (ufernah,

uferfern) an keinem der Probetermine möglich. In unmittelbarer Nähe befindet sich eine Betonstiege mit einer Pegelmessstelle (Lattenpegel) der via donau.

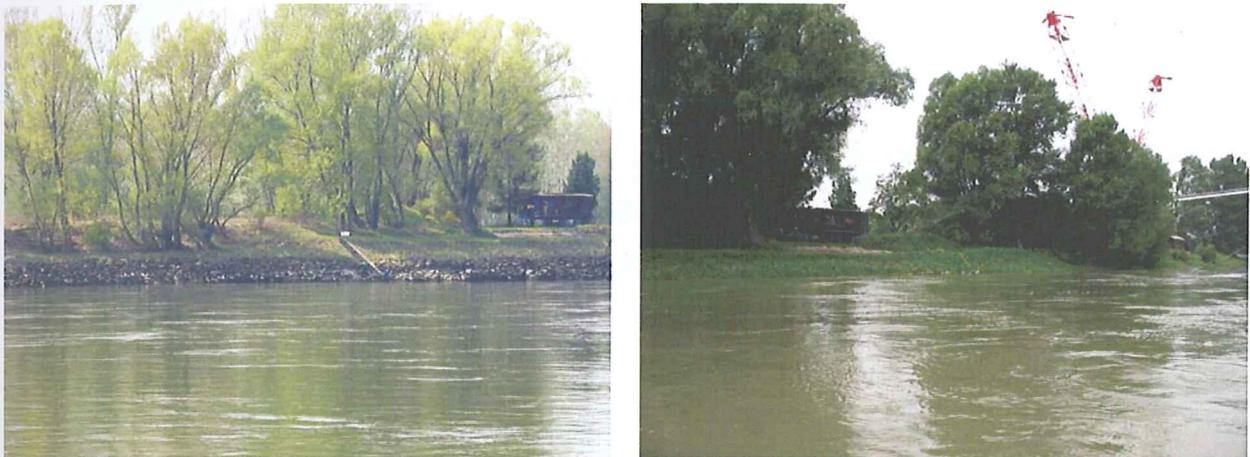


Abbildung 5. Standort Donau rechtes Ufer flussauf bei Mittelwasser am 18. Mai (links) und bei erhöhtem Wasserstand am 6. Juli (rechts).

#### 2.1.2.3 Probenstelle Donau rechtes Ufer flussab (DRD)

Der Standort befand sich am orografisch rechten Donauufer ca. 500 m von der Schwechatmündung flussabwärts an einem Schotterufer. Das Schotterufer ist weitgehend ohne Vegetationsbewuchs war aber an den meisten Probeterminen großflächig von angeschwemmtem Totholz bedeckt. Dahinter ist das flache Ufer mit grobem Blockwurf gesichert, der teilweise stark mit krautigen Pionierpflanzen bewachsen ist. Erst hinter der Forststrasse auf dem Treppelweg beginnt der üppig wachsende Auwald. Bei hohem Wasserstand wird die Schotterbank komplett von der Donau überspült und die Wasseranschlagslinie trifft auf den Längsdamm des Treppelweges bzw. überschwemmt den dahinter liegenden Auwald.

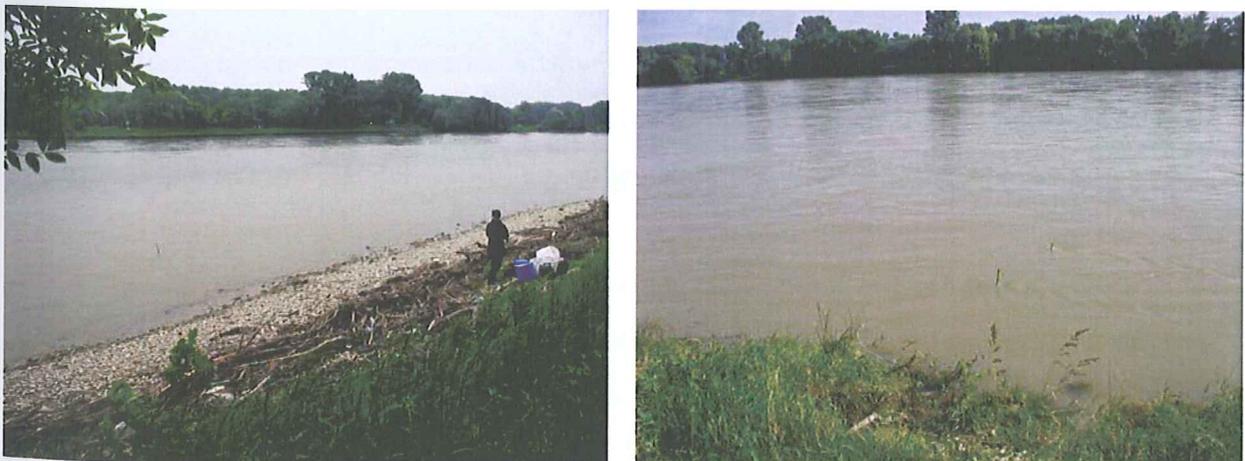


Abbildung 6. Standort Donau rechtes Ufer flussab bei Mittelwasser am 18. Mai (links) und bei erhöhtem Wasserstand am 6. Juli (rechts).

## 2.2 Probennahme

Die Freilandarbeit wurde an insgesamt 5 Terminen im Zeitraum von 20. April bis 7. Juli 2010 durchgeführt (Tabelle 1) um die natürliche Dynamik (Wasserstandsschwankungen) der Gewässer Schwechat und Donau abzudecken. Die Probennahmen fanden an jedem Termin durchgehend von ca. 09.00 Uhr über eine Zeitdauer von ca. 22,5 Stunden bis ca. 07.30, synchronisiert in stündlichen Intervallen statt, um detaillierte Informationen über Tagesschwankungen der Partikeldrift und Transportphänomene zu erhalten.

Eine Ausnahme stellt der erste Termin (20. April) dar, an dem die Probennahme aufgrund eines Materialdefektes bis 00.30 Uhr erfolgte. Insgesamt wurden an 5 Freilandtagen 918 Driftproben entnommen. An jedem Standort erfolgte die Entnahme von Parallelproben (Belegproben). Die Ergebnisse der vorliegenden Studie basieren auf der Analyse von insgesamt 520 Driftproben.

Tabelle 1. Termine und Dauer der Probennahme sowie Anzahl der gezogenen und analysierten Proben.

| Datum         | Zeit (Stunden) | analysierte Proben (n) |
|---------------|----------------|------------------------|
| 20/21. April  | 15.5           | 72                     |
| 18/19. Mai    | 22.5           | 111                    |
| 15/16. Juni   | 22.5           | 110                    |
| 29/30. Juni   | 22.5           | 112                    |
| 6/7. Juli     | 22.5           | 115                    |
| <b>Gesamt</b> | <b>105.5</b>   | <b>520</b>             |

Um das transportierte Plastik aus dem Wasser zu filtern wurden stationäre Driftnetze der Firma „T & T nets®“ verwendet (Abbildung 7) Die konisch geformten Netze waren 1,5 Meter lang und hatten eine kreisrunde Öffnung mit einem Durchmesser von 0,5 Meter (0,78 m<sup>2</sup>). In der Mitte dieser Öffnung war an Plastikkleinen ein Strömungsflügel (General Oceanics Mechanical Flowmeter Model 2030R®) aufgehängt mit dem die Menge an gefiltertem Wasser bestimmt werden konnte. Die Öffnung am Ende des Netzes hatte einen Durchmesser von 90 mm. Hier war ein Plexiglasring mit Gewinde eingelassen, auf den sich ein Becher mit Netzboden aufschrauben ließ. In diesen Bechern sammelten sich neben dem Plastik auch beträchtliche Mengen organischer Schwimm-, und Schwebstoffe sowie driftende Fischlarven und aquatische Wirbellose. Die Maschenweite der Netze und der Netzbecher betrug 500 µm. Zur Exposition wurden die Netze mit Seilen an ins Sediment geschlagenen Stahlstangen

befestigt. Zusätzlich führten Sicherheitsleinen von dem Metallring der Netzöffnung zu stabilen Strukturen am Ufer, um einen Verlust der Netze bei z.B. starkem Wellengang zu vermeiden.



Abbildung 7. Driftnetz im Betriebskanal der Firma Borealis (links) und parallel gesetzte Netze am Standort Schwechat (rechts).

Für die Probennahme im Betriebskanal der Firma Borealis kam ein Driftnetz mit derselben Maschenweite, einer Länge von 2m und einer rechteckiger Öffnung von 30cm x 30cm zum Einsatz (Abbildung 7, links). Im Gegensatz zu den übrigen Netzen war in der Öffnung kein Messflügel befestigt. Die stark turbulenten Strömungsverhältnisse im Kanal hätten ein einwandfreies Arbeiten des Propellers nicht zugelassen. Die Messung der Fließgeschwindigkeit im Kanal erfolgte mittels eines Doppler-Strömungsmessgerätes (Marc McBirney Flo-Mate®). Die Menge an gefiltertem Wasser ergab sich hier aus einer Flächenberechnung. Entlang eines eingemessenen Quertransektes des Kanals wurden 10 Wassertiefenmessungen durchgeführt, sodass die durchströmte Querschnittsfläche des Kanals berechnet werden konnte. Mithilfe der Durchflusswerte für den Kanal, die von der Firma Borealis zur Verfügung gestellt wurden, konnte das Wasservolumen pro Zeiteinheit für die durchströmte Querschnittsfläche und anteilmäßig daran jenes für die durchströmte Netzöffnung berechnet werden. Das Netz wurde mit einer reißfesten Schnur am Metallgeländer des Kanals befestigt.

In der Schwechat und an den 3 Probestellen in der Donau wurden jeweils zwei Netze zeitgleich gesetzt (Replika), wobei darauf geachtet wurde, dass sich keines der Netze im Strömungsschatten des anderen befand. Die Position der Netze wurde mit einem dGPS Gerät (Leica GS 20®) eingemessen.

Das Setzen der Netze erfolgte an allen 5 Standorten synchron zu jeder vollen Stunde. Die Expositionszeit variierte allerdings zwischen den Standorten und den einzelnen Probestellen abhängig von der Menge an transportiertem organischem Material, das zu Verstopfungen der Netze und in Folge fehlerbehafteten Berechnungen des gefilterten Wasservolumens führen kann. Im Betriebskanal waren die Netze bereits nach fünf Minuten verstopft. Mitverantwortlich dafür war ein Abwasserschwamm, der dort massenhaft wuchs und ausgeschwemmt wurde. In Donau und Schwechat waren Expositionszeiten von 20-30 Minuten möglich. Als zusätzliche Absicherung gegen diese Verstopfungseffekte wurde stichprobenartig die Strömungsgeschwindigkeit in der Mitte der Netzöffnung mit einem Messgerät (Marc McBirney Flo-Mate ®) ermittelt. Multipliziert mit der Netzfläche und der Expositionszeit konnte so ebenfalls das gefilterte Wasservolumen berechnet, und mit den Werten des Strömungsflügels verglichen werden.

Nach Expositionszeiten von 5-30 Minuten wurden die Netze von den Stahlstangen gelöst, und gründlich gespült um den gesamten Inhalt in die Netzbecher zu waschen (Abbildung 8, rechts). Diese wurden daraufhin von den Netzen abgeschraubt und das gesamte Material in etikettierte Weithalsflaschen (500 ml) überführt (Abbildung 8, links). Um den Zerfall der organischen Probenanteile zu unterbinden, wurden die Weithalsflaschen mit 95% Ethanol aufgefüllt.



Abbildung 8. Voller Netzbecher (links) und Überführung des Becherinhalts in die etikettierte Weithalsflasche (rechts).

Die Expositionszeiten der einzelnen Netze und die aktuellen Anzeigen der Strömungsflügel wurden vor dem erneuten Setzen in ein Protokoll übertragen (Tabelle 12 im Anhang).

Die Durchfluss- und Pegelwerte für Donau und Schwechat stammen von der hydrometeorologischen Messstation Hainburg der via Donau bzw. von der Messstation

Schwechat der niederösterreichischen Landesregierung (Abteilung Hydrologie und Geoinformation).

### 2.3 Probenaufarbeitung

Die Aufarbeitung der Proben erfolgte beginnend nach der ersten Probennahme im April durchgehend bis Oktober 2010 in den Laborräumen des Departments für Limnologie der Universität Wien. Um Vergleichbarkeit und Kontinuität der Untersuchung zu gewährleisten, wurden für diese Studie durchwegs die ufernahen bzw. stromaufwärts positionierten Netze aller Standorte in der Schwechat und in der Donau gewählt. Die 100 entnommenen Proben aus dem Betriebskanal wurden zur Gänze aufgearbeitet. Die Hauptarbeit bestand darin, die Plastikpartikel von dem organischen Material zu trennen, welches den Großteil des Probenvolumens ausmachte. Dazu wurden nacheinander kleine Fraktionen der Proben entnommen und in einer Plastikwanne (50 cm x 40 cm) mit Wasser aufgeschwemmt (Abbildung 9). Durch diesen Verdünnungsschritt und das Arbeiten unter starker Kunstlichtbestrahlung wurde das Detektieren der Plastikpartikel in den Proben enorm erleichtert.



Abbildung 9. Verdünnte Probenfraktion in Plastikwanne (links) und schwimmende Plastikpartikel (rot markiert) zwischen organischem Material (rechts).

Sämtliches Plastik wurde händisch mit einer Federpinzette ausgezählt und in Glasphiolen überführt. Die Anzahl der einzelnen Plastikfraktionen in der Probe wurde zusammen mit Datum, Zeit und Ort der Probennahme protokolliert (Tabelle 13 im Anhang). Die hohen Mengen von Plastikpartikeln, die am 6. Juli zeitverzögert im Kanal, der Schwechat sowie der Donau auftraten, erforderten das Auftrennen der Einzelproben in Unterproben.

Im Falle der Donau- und Schwechatproben kam dafür die besagte Plastikwanne zum Einsatz, deren Boden in fünf gleich große Segmente unterteilt war. Nachdem die Probefraktion mit Wasser verdünnt und gleichmäßig verteilt in der Wanne vorlag, wurden sämtliche Plastikpartikel, die sich im mittleren Wannensegment befanden, gezählt. So konnte danach auf die Partikelmenge in der Wanne bzw. in der gesamten Probe hochgerechnet werden. Bei den Kanalproben wurde anders verfahren. Hier wurde zunächst das exakte Volumen der ganzen Probe in einem 1000 ml Messzylinders bestimmt. Von dem bekannten Probevolumen wurde daraufhin eine 50 ml Fraktion entnommen, in die Wanne überführt und sämtliches Plastik darin gezählt. Über das Volumenverhältnis konnte von der Stichprobe auf die Menge der einzelnen Plastikfraktionen in der gesamten Probe hochgerechnet werden.

Das driftende Plastik in den Flüssen Schwechat und Donau war sehr divers hinsichtlich Größe, Farbe und Form. Das Hauptaugenmerk der Analyse lag der Fragestellung entsprechend auf jenen Partikeln, die auch im Betriebskanal der Firma Borealis nachgewiesen werden konnten. Die Plastikpartikel im Kanal wurden daher unter dem Binokular und mit Hilfe eines Bildanalyseprogramms (NIS-Elements BR 3.0) untersucht. Dabei wurde der Durchmesser von jeweils 50 Partikeln der einzelnen Fraktionen vermessen. Zusätzlich wurden das mittlere Gewicht der Partikelfraktionen (n=50) mit einer Waage auf 0,01 mg genau bestimmt.

Die darauf basierende Unterteilung des Plastiks wird in Abbildung 10 erläutert.



#### **Pellets (P)**

**Gewicht: 26.14 mg ± 4.5 mg**

**Durchmesser: 4.13 mm ± 0.48 mm**

Bei den Pellets handelt es sich um meist zylinder-, und seltener kugelförmige Partikel. Sie schwimmen im Wasserbad an der Wasseroberfläche und ihr Farbspektrum reicht von milchig-weiß bis schwarz.

#### **Granulat (G)**

**Gewicht: 4.45 mg ± 3.26mg**

**Durchmesser: 2.91 mm ± 0.65 mm**

Das matt-weiße Granulat ist kugelrund und schwimmt im Wasserbad ebenfalls an der Oberfläche.

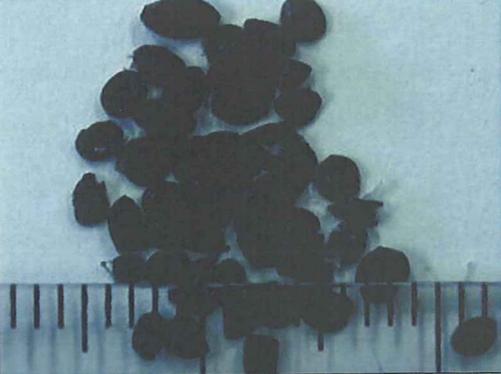
|  |   |
|--|---|
|   | <p><b><u>Schnitzel (S)</u></b><br/> <b>Gewicht: 2.23 mg ± 1.51mg</b><br/> <b>Durchmesser: 2.8 mm ± 0.5 mm</b></p> <p>Unter dem Begriff Schnitzel werden die runden bis oval-länglichen, dünnen, Plastikfetzen in den Farben grau und schwarz zusammengefasst. Schwimmende und absinkende Anteile.</p> |
|   | <p><b><u>Mikrogranulat (MG)</u></b></p> <p>Aufgrund der geringen Größe nicht quantifizierbar. Daher wurde nur Vorhanden-, bzw. Nichtvorhandensein in den Proben dokumentiert. Wenn vorhanden, dann meist in sehr hohen Mengen, was zu einem weißen Schleier an der Wasseroberfläche führt.</p>        |
|  | <p><b><u>Sonstiges (SO)</u></b></p> <p>Unter „Sonstiges“ wird sämtliches Plastik welches in keine der genannten Kategorien einzuordnen war zusammengefasst. Kommt im Kanal nicht vor. Schwimmende und absinkende Teile.</p>   |

Abbildung 10. Plastikfraktionen mit den wesentlichen Unterscheidungsmerkmalen. Einheit des beigelegten Standards: mm.

## 2.4 Datenanalyse

Als Maß für die Quantifizierung (Menge) der driftenden Plastikpartikel wurden die Driftrate (Anzahl der gefilterten Partikel pro Zeiteinheit) und die Driftdichte (Anzahl der gefilterten Partikel pro Volumeneinheit Wasser) herangezogen. Da die Driftrate von den herrschenden Strömungsverhältnissen beeinflusst wird, ist für einen Vergleich der Probenstellen die weniger strömungsabhängige Driftdichte als quantifizierende Variable der Plastikabundanz zu bevorzugen. Die Driftdichte wird in dieser Studie in Partikel pro 100 m<sup>3</sup> Wasser angegeben, die Driftrate in Partikel pro Minute. Nach dem Abwiegen der Partikelfraktionen war es auch möglich den Plastikeintrag in Gramm pro 100 m<sup>3</sup> Wasser anzugeben.

Das Programm Microsoft Office Excel wurde für Datenverwaltung, Transformationen und einfache Berechnungen verwendet. Sämtliche statistische Tests wurden im Programm SPSS

16.0 gerechnet. Bei den durchgeführten Korrelationen weisen p-Werte kleiner 0,05 signifikante, p-Werte kleiner 0,01 hoch signifikante und p-Werte kleiner 0,001 höchst signifikante Ergebnisse aus. Alle Grafiken und Regressionen wurden mit dem Programm SigmaPlot 10.0 erstellt bzw. berechnet. Die Verschneidung der Driftdichten mit dem Orthophoto und die Bearbeitung desselbigen wurden im Programm Arc-Gis.9 durchgeführt. Für die Vermessung der Partikel und die Fotodokumentation wurde mit dem Bildanalyseprogramm NIS-Elements BR 3.0 gearbeitet.

Die Driftdichten der Partikel wurden mit einem K-S Test auf Normalverteilung und Varianzhomogenität geprüft. Da diese nicht gegeben war und auch durch Datentransformation nicht erreicht werden konnte, wurden für die statistische Auswertung nicht parametrische Tests herangezogen.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Abiotik

Die mittlere Wasserführung im Betriebskanal war durch geringe Schwankungen ( $0.17-0.24 \text{ m}^3 \text{ Sek.}^{-1}$ ) zwischen den einzelnen Probeterminen und stochastische Abflussspitzen im Tagesverlauf gekennzeichnet (Abbildung 11, Abbildung 34 im Anhang). Am ersten Probetermin war das Durchflussmessgerät im Kanal noch nicht in Betrieb. Die berechnete mittlere Abflussmenge am 20. April beträgt  $0,24 \text{ m}^3 \text{ Sek.}^{-1}$ . Zum Zeitpunkt der ersten beiden Probennahmen am 20. April und 18. Mai lagen die Tagesmittel des Donaudurchflusses unter Mittelwasser ( $1930 \text{ m}^3 \text{ Sek.}^{-1}$ ). Anfang Juni führten starke Regenfälle im Einzugsgebiet zu einem Hochwasserereignis (>HQ5) mit Spitzenabflüssen von bis zu  $7100 \text{ m}^3 \text{ Sek.}^{-1}$ . Die dritte Probennahme am 15. Juni fand nach dem Abklingen dieser Hochwasserwelle und vor einem erneuten Anstieg der Wasserführung am 20. Juni statt. Zwischen Ende Juni und Anfang August wies das Abflussgeschehen der Donau bedingt durch weitere Niederschlagsereignisse mehrere kleinere Peaks mit maximalen Durchflüssen von  $3931 \text{ m}^3 \text{ Sek.}^{-1}$  auf. Während die Freilandarbeiten am 29. Juni bei Mittelwasser durchgeführt wurden, fiel der letzte Termin am 6. Juli zeitlich mit einer dieser kleineren Abflussspitzen ( $2962 \text{ m}^3 \text{ Sek.}^{-1}$ ) zusammen.

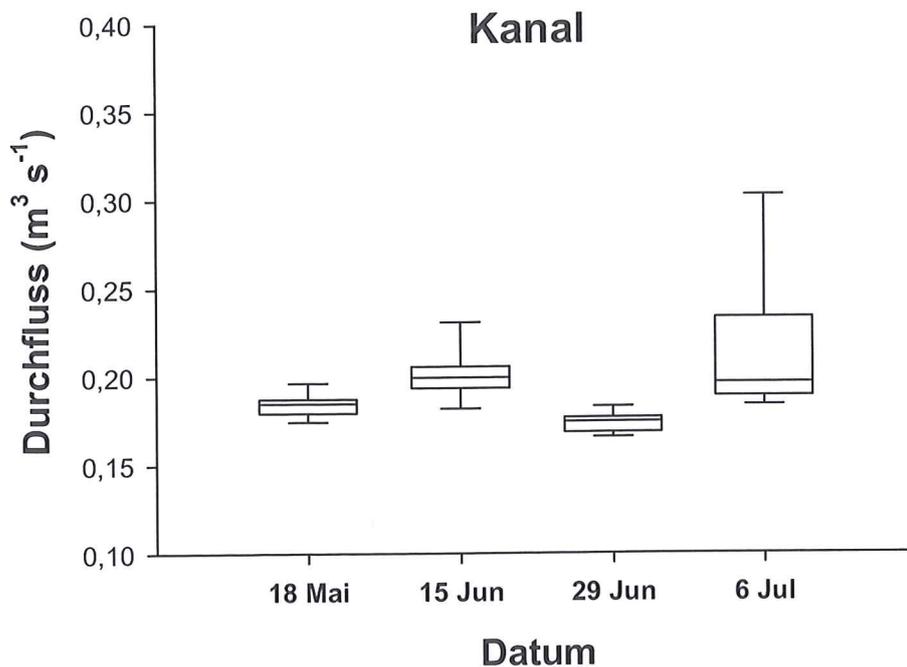


Abbildung 11. Darstellung der Durchflüsse im Betriebskanal an den einzelnen Probeterminen anhand der Mediane und der 5, 25, 75 und 95% Perzentile.

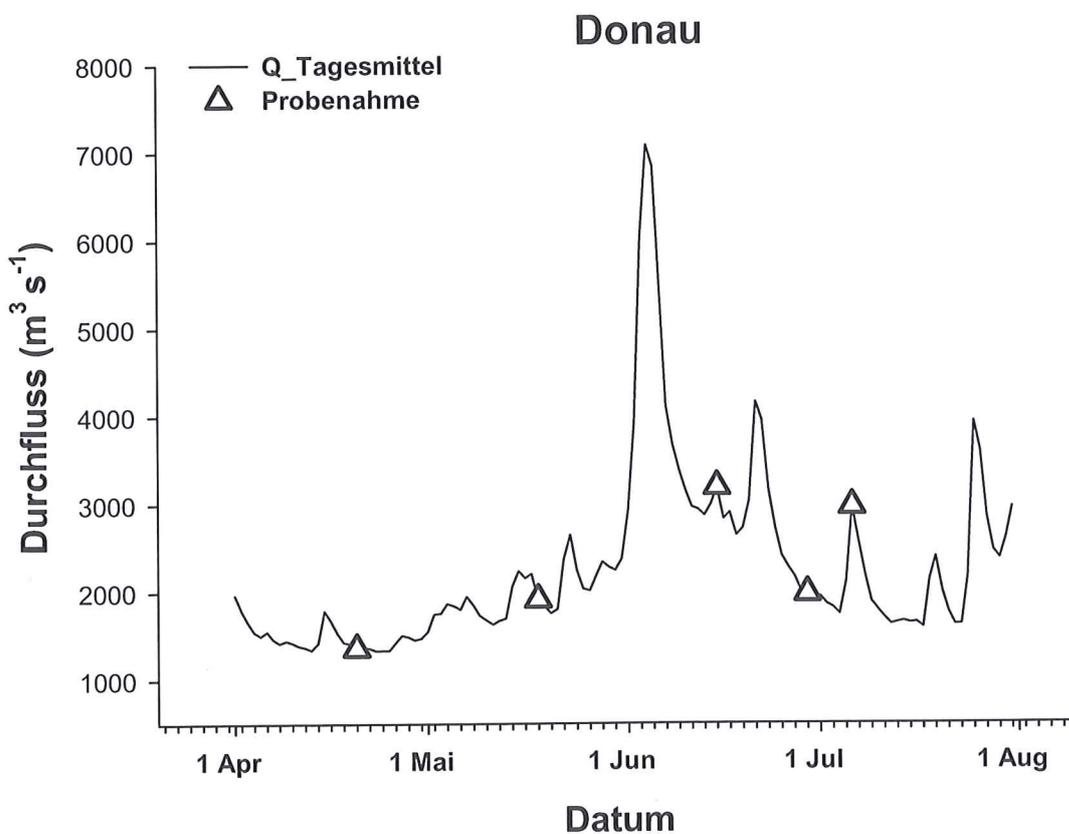


Abbildung 12. Tagesmittelwerte des Durchflusses (durchgezogene Linie) der Donau (Messstation Wildungsmauer) über den Untersuchungszeitraum und an den einzelnen Probeterminen (Dreiecksymbole).

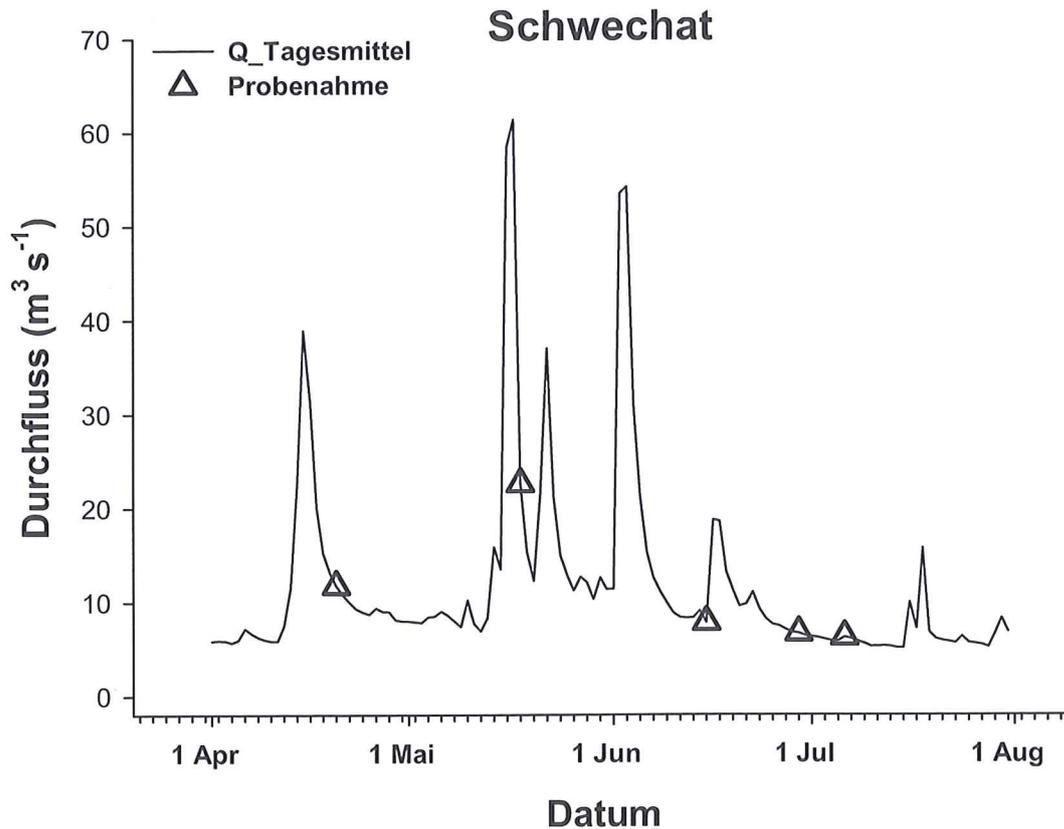


Abbildung 13. Tagesmittelwerte des Durchflusses (durchgezogene Linie) der Schwechat (Messstation Schwechat) über den Untersuchungszeitraum und an den einzelnen Probeterminen (Dreiecksymbole).

Die Probenahmen in der Schwechat fanden am 20. April und am 18. Mai bei abnehmender Wasserführung nach Hochwasserereignissen statt (maximale Durchflüsse von 39 bzw. 61 m<sup>3</sup> Sek<sup>-1</sup>). An den restlichen Probeterminen lagen die mittleren Tagesdurchflüsse zwischen 6 und 8 m<sup>3</sup> Sek<sup>-1</sup>).

## 3.2 Partikeltransport im Betriebskanal

### 3.2.1 Quantifizierung der Partikelfracht

Im Betriebskanal der Firma Borealis konnten Plastikpartikel der Kategorien „Pellets“, „Schnitzel“ und „Granulat“ sowie weißes Mikrogranulat nachgewiesen werden. Sonstiger Plastikmüll wurde im Gegensatz zu den untersuchten Fließgewässern nicht detektiert. Über alle fünf Probetermine gemittelt wiesen die grau bis schwarz gefärbten Schnitzel ( $2943,3 \pm 6898,2$  Partikel. 100m<sup>-3</sup>) und die zylinderförmigen Pellets ( $2711,1 \pm 8982$  Partikel. 100m<sup>-3</sup>) die höchsten Driftdichten auf (Abbildung 14). Das weiße kugelförmige Granulat fehlte an den ersten beiden Terminen zur Gänze in den Proben und trat später in weit geringeren Mengen ( $215,8 \pm 1041,4$  Partikel. 100m<sup>-3</sup>) als das übrige Plastik auf. Betrachtet man die

Gewichtsverteilung des eingebrachten Plastiks dominierten eindeutig die schweren Pellets ( $70,8\text{g} \pm 234,8\text{g } 100\text{ m}^{-3}$ ) vor den Schnitzeln ( $6,6\text{g} \pm 15,6\text{g } 100\text{ m}^{-3}$ ) und dem Granulat ( $1,0\text{g} \pm 4,6\text{g } 100\text{m}^{-3}$ ). Der feine, nicht zu quantifizierende Plastikabrieb (WMG) war nur an zwei Terminen, da aber in sämtlichen Proben, zu finden.

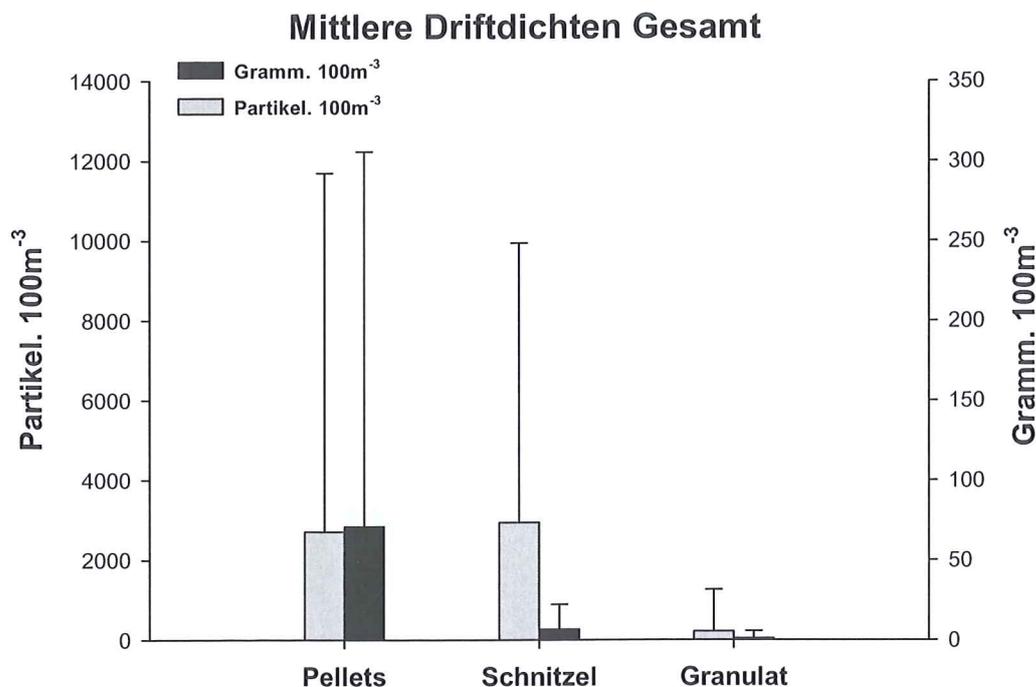


Abbildung 14. Mittlere Fracht unterschiedlicher Plastikkategorien (Driftdichten mit Standardabweichung: Partikelanzahl bzw. Gramm pro  $100\text{ m}^3$  gefiltertem Wasservolumen) im Betriebskanal unmittelbar vor der Mündung in die Schwechat über den gesamten Untersuchungszeitraum.

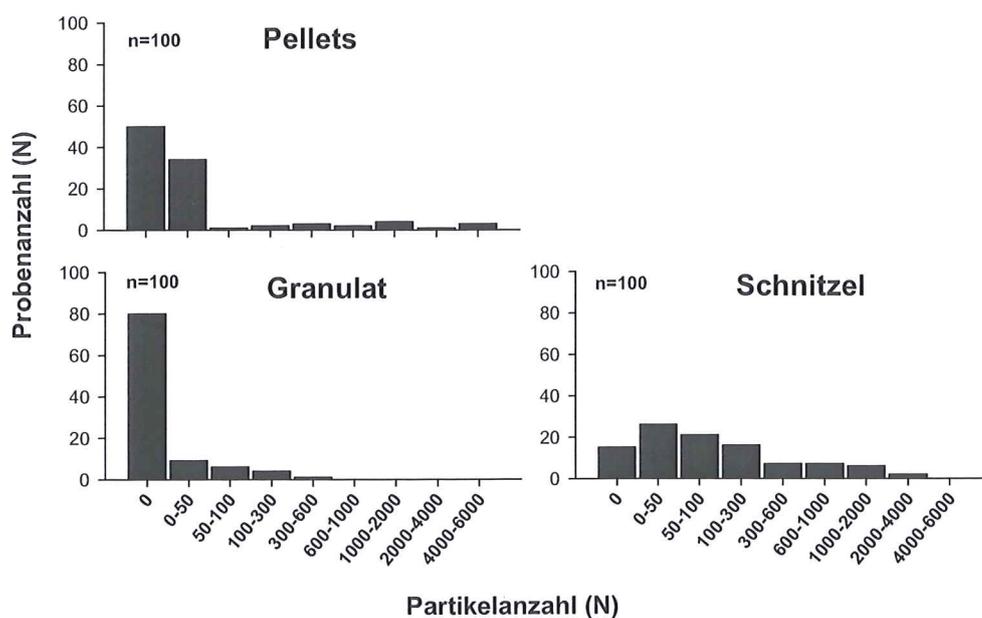


Abbildung 15. Häufigkeitsverteilung der analysierten Kanalproben hinsichtlich der enthaltenen Partikelanzahl.

Generell war die Abundanzverteilung der einzelnen Plastikkategorien über den Untersuchungszeitraum durch viele 0-Fänge (kein Partikel der jeweiligen Fraktion in den Proben vorhanden) und wenige „Ausreißer“ zu charakterisieren (Abbildung 15). Das galt besonders für die Kategorien „Pellets“ und „Granulat“.

Die dargestellten Mittelwerte und hohen Standardabweichungen in Abbildung 14 werden stark vom letzten Probetermin (6.Juli) beeinflusst, an dem die Driftdichten aller Kategorien signifikant höher waren (Abbildung 16, Tabelle 2).

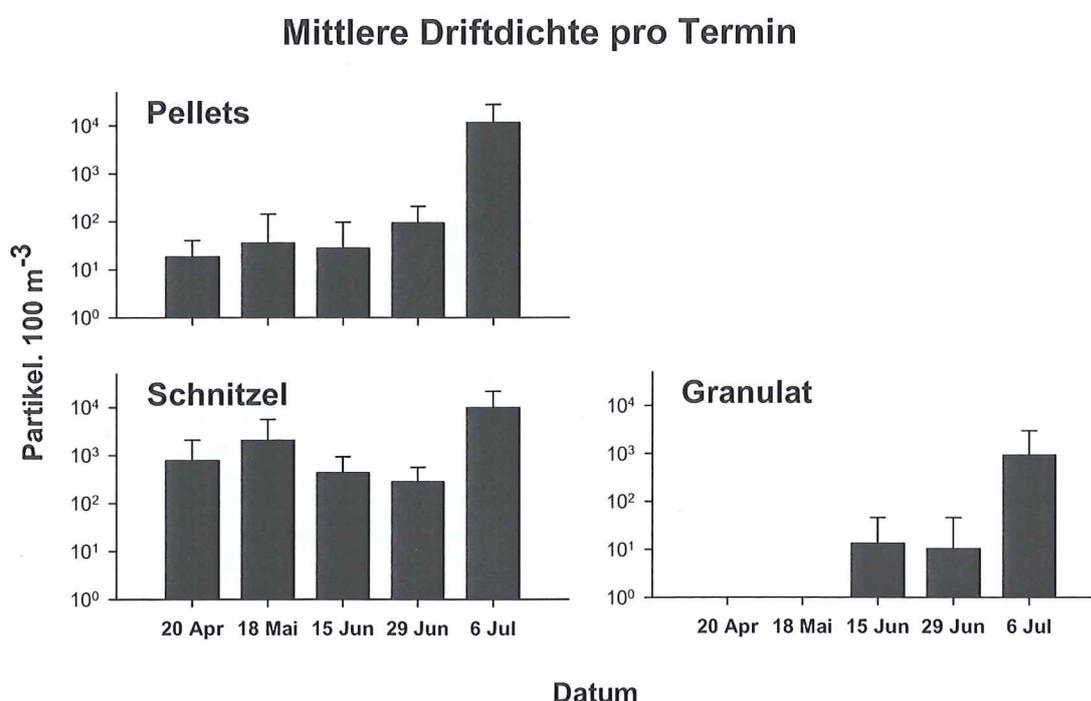


Abbildung 16. Mittlere Driftdichten mit Standardabweichung für die verschiedenen Plastikkategorien an den einzelnen Probeterminen. Die Y-Achse ist  $\log_{10}$  skaliert.

Tabelle 2. U-Test auf Unterschiede der Pelletdriftdichten an den einzelnen Probeterminen. Die Ergebnisse für Schnitzel und Granulat finden sich im Anhang (Tabelle 11).

| <b>Pellets</b> | 20. Apr                | 18. Mai                | 15. Jun                | 29. Jun                | 06. Jul |
|----------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|---------|
| 20. Apr        |                        |                        |                        |                        |         |
| 18. Mai        | Z = -2.89<br>p < 0.01  |                        |                        |                        |         |
| 15. Jun        | Z = -2.10<br>p > 0.05  | Z = -0.466<br>p > 0.05 |                        |                        |         |
| 29. Jun        | Z = -0.809<br>p > 0.05 | Z = -2.53<br>p < 0.05  | Z = -2.44<br>p < 0.05  |                        |         |
| 06. Jul        | Z = -4.43<br>p < 0.001 | Z = -5.45<br>p < 0.001 | Z = -5.25<br>p < 0.001 | Z = -4.81<br>p < 0.001 |         |

Unter der Annahme, dass der massive Plastikausstoß am 6. Juli auf ein „Störereignis“ zurückzuführen ist, welches nicht charakteristisch für die mittlere Plastikemission bei „Normalbetrieb“ sein dürfte, wurden die übrigen Probetermine separat betrachtet. Für den so genannten „Routinebetrieb“ belief sich der mittlere Eintrag der einzelnen Plastikfraktionen auf  $48,1 \pm 95,7$  Partikel.  $100\text{m}^{-3}$  bzw.  $1,1 \pm 2,5$  Gramm.  $100\text{m}^{-3}$  (Pellets),  $904,1 \pm 2097,9$  Partikel.  $100\text{m}^{-3}$  bzw.  $2,0 \pm 4,7$  Gramm.  $100\text{m}^{-3}$  (Schnitzel) und  $6,9 \pm 25,8$  Partikel.  $100\text{m}^{-3}$  bzw.  $0,03 \pm 0,35$  Gramm.  $100\text{m}^{-3}$  (Granulat). Während des Extremereignisses am letzten Probetermin ergaben sich Werte von  $11626,2 \pm 15971,9$  Partikel.  $100\text{m}^{-3}$  bzw.  $303,9 \pm 417,5$  Gramm.  $100\text{m}^{-3}$  (Pellets),  $9768,8 \pm 11913,1$  Partikel.  $100\text{m}^{-3}$  bzw.  $21,8 \pm 26,6$  Gramm.  $100\text{m}^{-3}$  (Schnitzel) und  $916,2 \pm 2052,3$  Partikel.  $100\text{m}^{-3}$  bzw.  $4,1 \pm 9,1$  Gramm.  $100\text{m}^{-3}$  (Granulat).

In Tabelle 3 sind unter anderem die extrapolierten Driftraten (Gramm pro Minute) für den gesamten Betriebskanal angegeben. Während am 6. Juli durchschnittlich 32,1 g Pellets, 2,18 g Schnitzel und 0,4 g Granulat pro Minute über den gesamten Kanalquerschnitt ausgespült wurden, lagen die jeweils zweithöchsten Werte der einzelnen Kategorie mit 0,26g (Pellets), 0.5 g (Schnitzel) bzw. 0.007g (Granulat) an anderen Probeterminen deutlich darunter.

Tabelle 3. Mittlere Driftdichten (Partikel.  $100\text{m}^{-3}$  und Gramm.  $100\text{m}^{-3}$ ) an den einzelnen Probeterminen im Kanal sowie Driftraten (Gramm. Minute<sup>-1</sup>) für den Kanal und Präsenz / Absenz von weißem Mikrogranulat.

| Datum         | Partikel         | Driftdichte              | Gramm/100m-3          | Driftrate (Kanal)   | WMG  |
|---------------|------------------|--------------------------|-----------------------|---------------------|------|
| 20. Apr       | Pellets          | 18.40 ± 22.09            | 0.48 ± 0.58           | 0.07 ± 0.08         | Nein |
|               | Schnitzel        | 773.6 ± 1313.22          | 1.73 ± 2.93           | 0.25 ± 0.42         |      |
|               | Granulat         | 0.0 ± 0.0                | 0.0 ± 0.0             | 0.0 ± 0.0           |      |
| 18. Mai       | Pellets          | 35.47 ± 107.92           | 0.93 ± 2.82           | 0.09 ± 0.29         | Nein |
|               | Schnitzel        | 2054.46 ± 3561.84        | 4.58 ± 7.94           | 0.49 ± 0.86         |      |
|               | Granulat         | 0.0 ± 0.0                | 0.0 ± 0.0             | 0.0 ± 0.0           |      |
| 15. Jun       | Pellets          | 27.71 ± 69.06            | 0.72 ± 1.81           | 0.08 ± 0.20         | Nein |
|               | Schnitzel        | 433.27 ± 497.94          | 0.97 ± 1.11           | 0.12 ± 0.14         |      |
|               | Granulat         | 13.38 ± 32.69            | 0.06 ± 0.15           | 0.01 ± 0.01         |      |
| 29. Jun       | Pellets          | 93.53 ± 114.01           | 2.45 ± 2.98           | 0.26 ± 0.32         | Ja   |
|               | Schnitzel        | 281.38 ± 280.36          | 0.63 ± 0.63           | 0.06 ± 0.06         |      |
|               | Granulat         | 10.4 ± 35.36             | 0.05 ± 0.16           | 0.005 ± 0.01        |      |
| 06. Jul       | Pellets          | 11626.16 ± 15971.90      | 303.91 ± 417.51       | 32.09 ± 45.22       | Ja   |
|               | Schnitzel        | 9768.81 ± 11913.05       | 21.78 ± 26.57         | 2.18 ± 1.90         |      |
|               | Granulat         | 916.23 ± 2052.27         | 4.08 ± 9.13           | 0.40 ± 0.52         |      |
| <b>Gesamt</b> | <b>Pellets</b>   | <b>2711.09 ± 8982.01</b> | <b>70.86 ± 234.79</b> | <b>7.48 ± 25.24</b> |      |
|               | <b>Schnitzel</b> | <b>2943.28 ± 6898.16</b> | <b>6.56 ± 15.60</b>   | <b>0.68 ± 1.30</b>  |      |
|               | <b>Granulat</b>  | <b>215.80 ± 1041.39</b>  | <b>0.96 ± 4.63</b>    | <b>0.09 ± 0.30</b>  |      |

### 3.2.2 Zeitlicher Verlauf des Partikeleintrages

Der diurnale Verlauf des Partikeleintrages aus dem Kanal (Abbildungen 17-22) ist an den meisten Probeterminen durch deutlich abgrenzbare Driftspitzen der einzelnen Plastikfraktionen gekennzeichnet. Das gilt besonders für Pellets und Schnitzel und lässt einen intervallartigen Verlust des Plastiks aus der Produktionsstätte vermuten.

Am 20. April zeigten die Driftdichten der Schnitzel einen mehrgipfeligen Verlauf mit Spitzen um 20.00 Uhr (4089 Partikel.  $100 \text{ m}^{-3}$ ), 23.00 Uhr (2453 Partikel.  $100 \text{ m}^{-3}$ ) und 00.00 Uhr (1635 Partikel.  $100 \text{ m}^{-3}$ ).

Am 18. Mai gab es einen deutlichen Peak der transportierten Schnitzelfracht um 10.00 (17141 Partikel.  $100 \text{ m}^{-3}$ ). Die Abundanz der Pellets war am darauf folgenden Morgen (19. Mai) um 02.00 Uhr (409 Partikel.  $100 \text{ m}^{-3}$ ) und um 06.00 (319 Partikel.  $100 \text{ m}^{-3}$ ) stark erhöht.

Der dritte Probetermin (15. Juni) war durch einen ersten Anstieg der Schnitzeldriftdichte von 12.00 Uhr (178 Partikel.  $100 \text{ m}^{-3}$ ) bis 14.00 Uhr (1190 Partikel.  $100 \text{ m}^{-3}$ ) und einen weiteren von 00.00 Uhr (799 Partikel.  $100 \text{ m}^{-3}$ ) bis 03.00 Uhr Früh (1805 Partikel.  $100 \text{ m}^{-3}$ ) am 16. Juli gekennzeichnet. Mit 286 Partikeln.  $100 \text{ m}^{-3}$  erreichten die Pellets um 15.00 Uhr ihre maximale Driftdichte. Um 18.00 Uhr (88 Partikel.  $100 \text{ m}^{-3}$ ) 22.00 Uhr (86 Partikel.  $100 \text{ m}^{-3}$ ) und 23.00 Uhr (92 Partikel.  $100 \text{ m}^{-3}$ ) konnte das erste Mal im Verlauf der Studie auch weißes Granulat im Kanal nachgewiesen werden.

Am 29. Juni gab es kein ausgeprägtes Muster des zeitlichen Plastikeintrages. Schnitzel traten vermehrt von 09.00 Uhr bis 19.00 Uhr (Driftspitze: 1018,4 Partikel.  $100 \text{ m}^{-3}$ ) auf. Danach war ein leichter aber kontinuierlicher Rückgang zu verzeichnen. Abgesehen von der Probennahme um 09.00 konnten die Pellets erst wieder ab 18.00 Uhr im Kanal nachgewiesen werden. Der höchste Eintrag fand um 22.00 Uhr (422 Partikel.  $100 \text{ m}^{-3}$ ) statt.

Wie schon erwähnt nimmt der Termin am 6. Juli, was die Quantität des transportierten Plastiks betrifft, eine Sonderstellung ein. Nach mündlicher Mitteilung der Kollegen, die an jenem Tag vor Ort waren, setzte der erste Partikelschwall abrupt um ca. 11.40 Uhr ein, hielt etwa 20 Minuten an und ging mit einer milchigen Verfärbung des Wassers und einem Anstieg des Pegels im Kanal einher (siehe Abbildung 28).

# Pellets

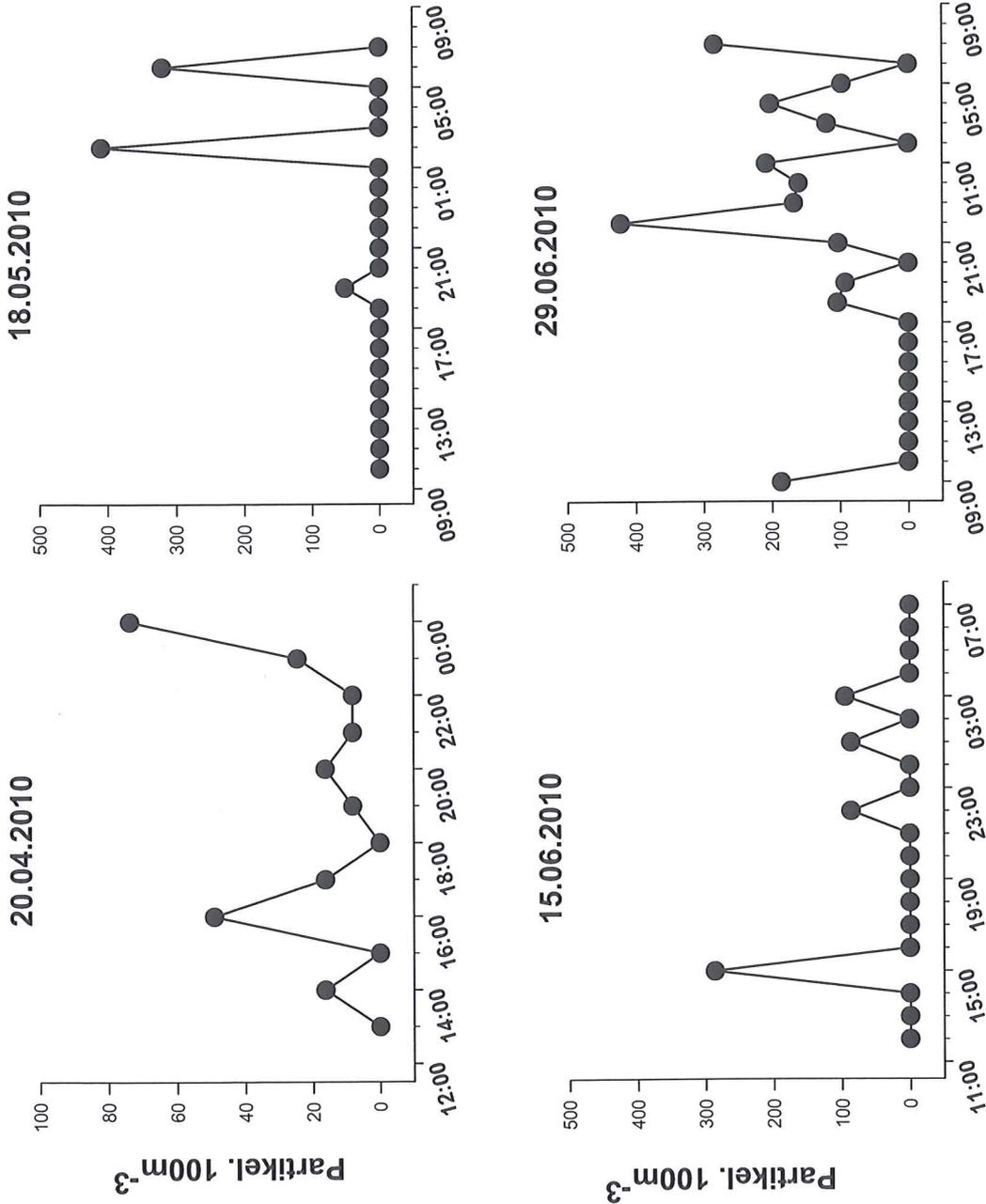
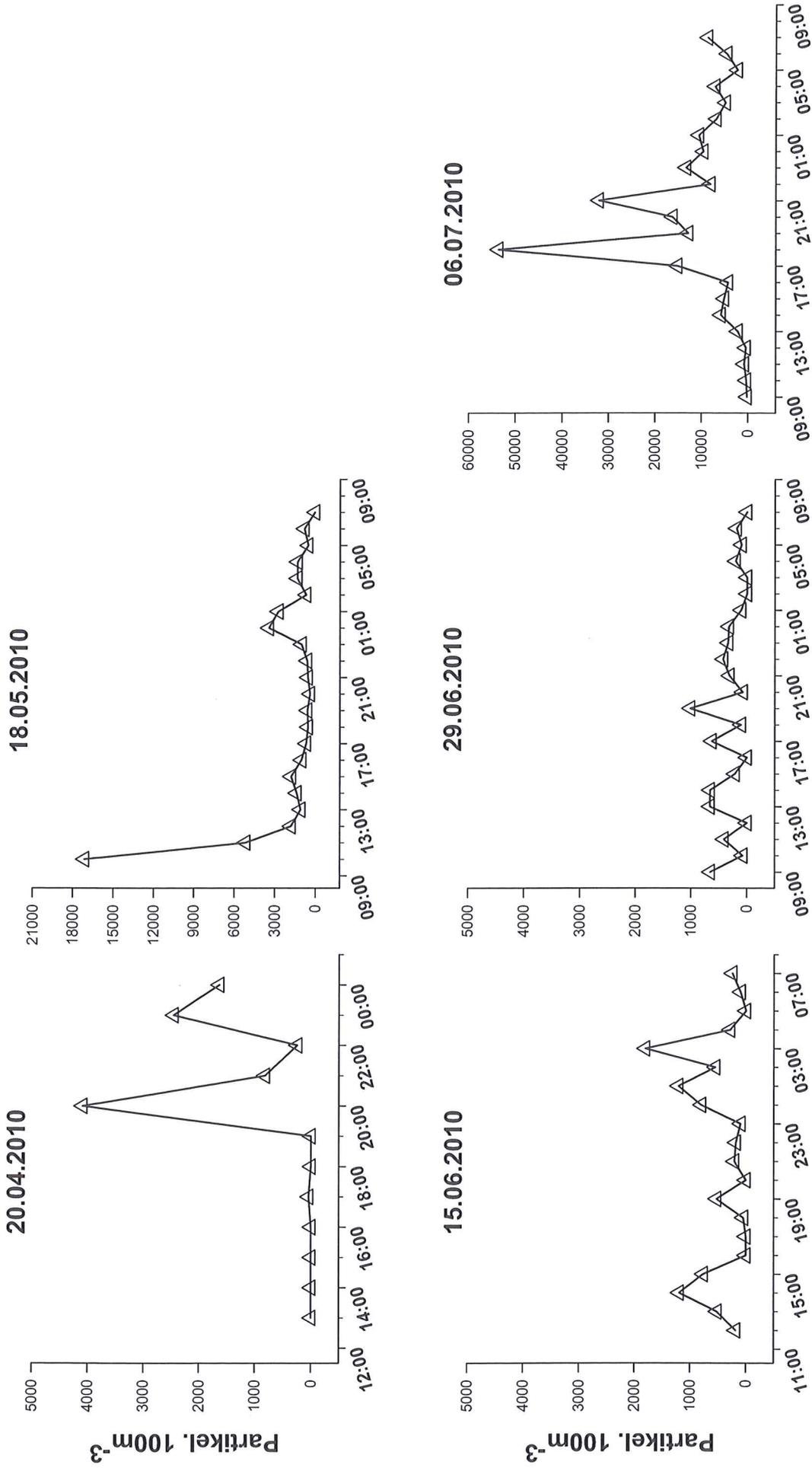


Abbildung 17. Zeitlicher Verlauf des Pelleteintrages (Driftlichte: Partikel, 100 m<sup>-3</sup>) im Betriebskanal über den gesamten Untersuchungszeitraum. Auf die unterschiedliche Skalierung der Achsen ist zu achten.



Zeit

Abbildung 18. Zeitlicher Verlauf des Schnitzeintrages (Driftdichte: Partikel. 100 m<sup>-3</sup>) im Betriebskanal über den gesamten Untersuchungszeitraum. Auf die unterschiedliche Skalierung der Achsen ist zu achten.

# Granulat

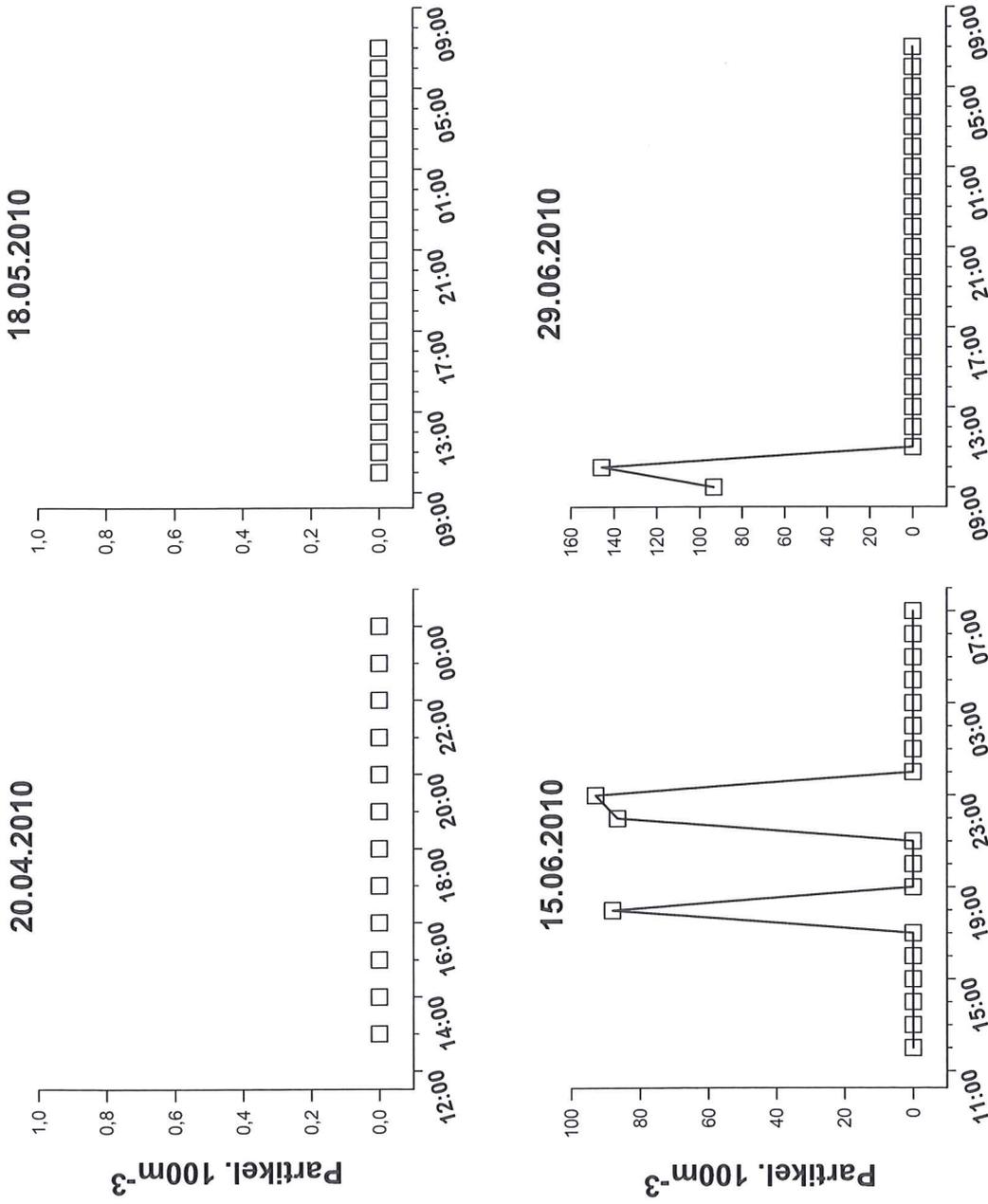


Abbildung 19. Zeitlicher Verlauf des Granulateintrages (Driftdichte: Partikel. 100 m<sup>-3</sup>) im Betriebskanal über den gesamten Untersuchungszeitraum. Auf die unterschiedliche Skalierung der Achsen ist zu achten.

# Pellets

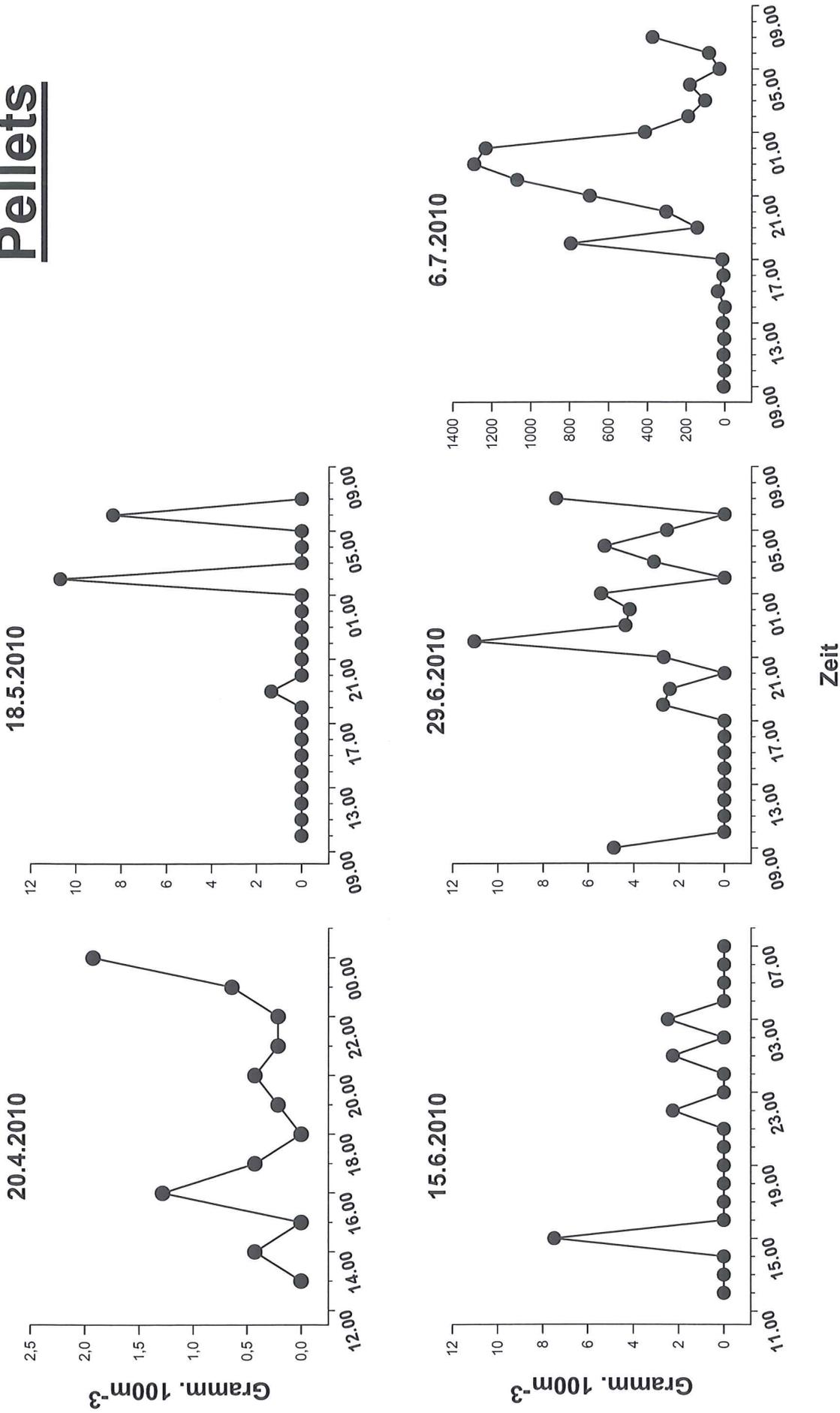
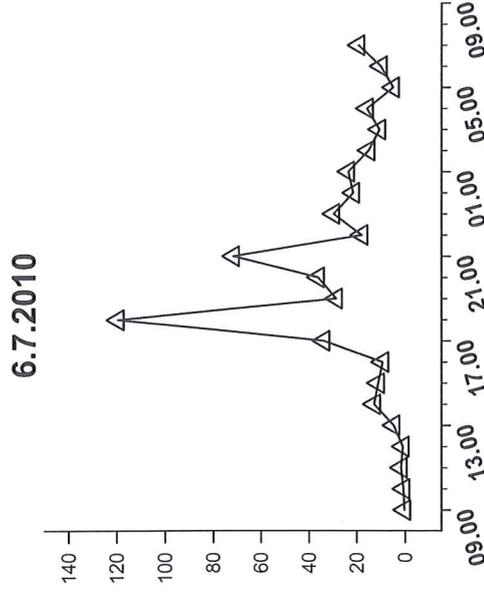
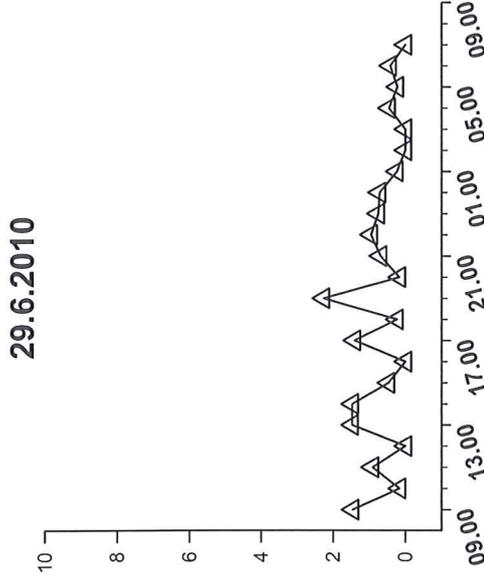
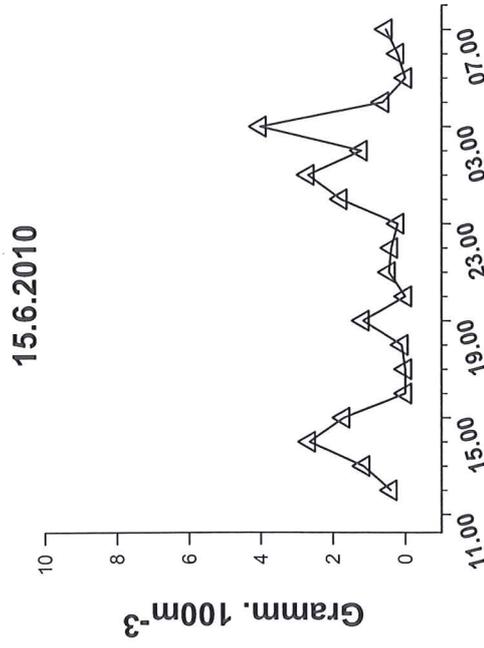
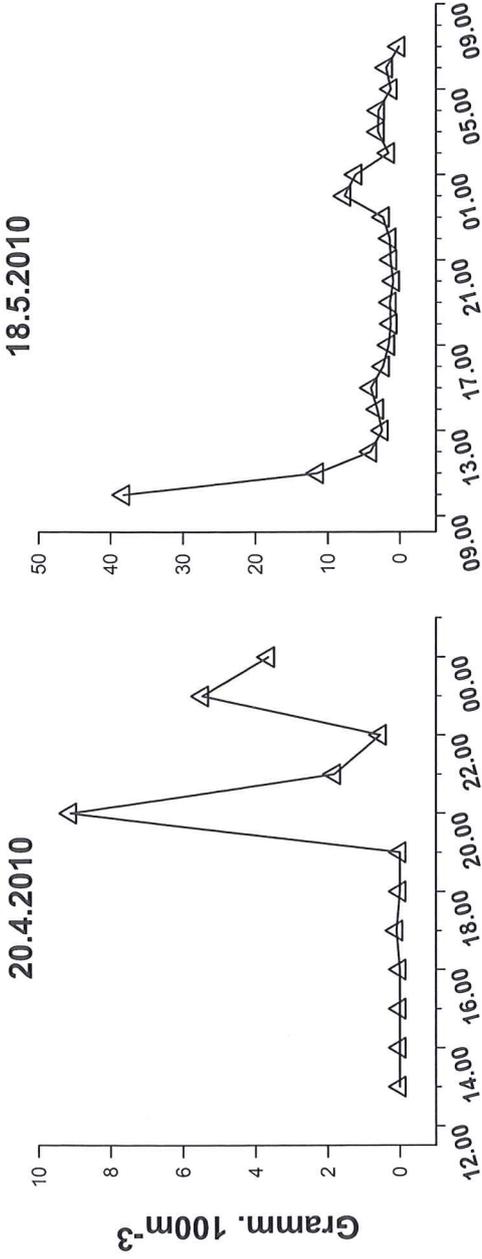


Abbildung 20. Zeitlicher Verlauf des Pelleteintrages (Driftdichte: Gramm. 100 m<sup>-3</sup>) im Betriebskanal über den gesamten Untersuchungszeitraum. Auf die unterschiedliche Skalierung der Achsen ist zu achten.

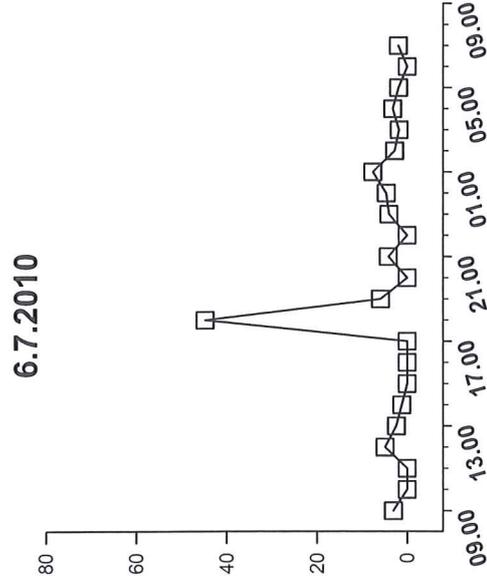
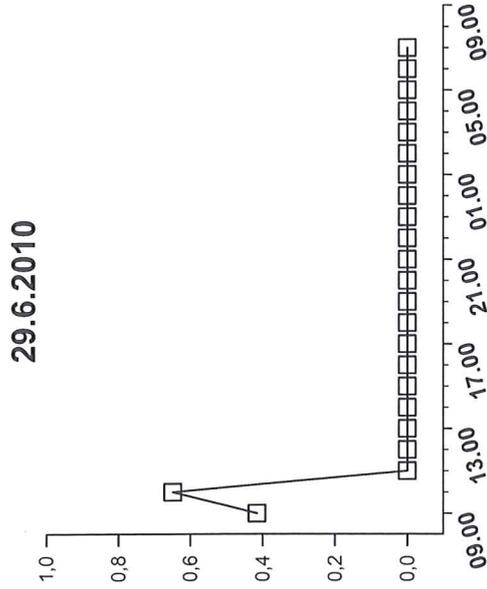
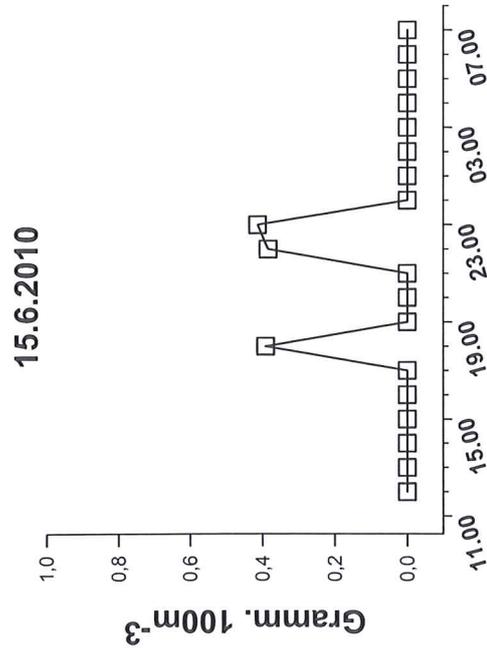
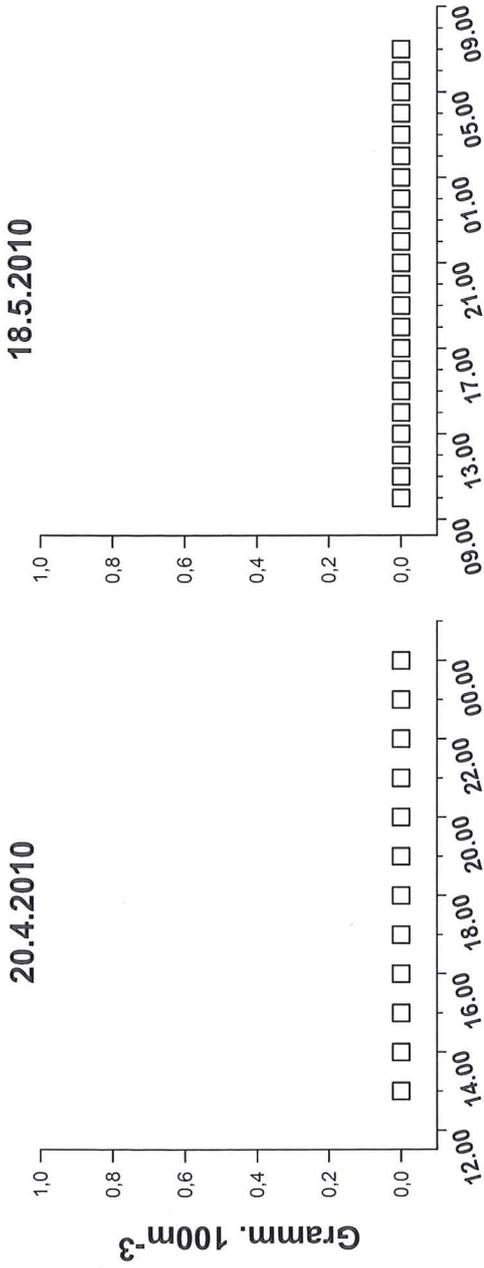
# Schnitzel



Zeit

Abbildung 21. Zeitlicher Verlauf des Schnitzelanteiles (Driftichte: Gramm. 100 m<sup>-3</sup>) im Betriebskanal über den gesamten Untersuchungszeitraum. Auf die unterschiedliche Skalierung der Achsen ist zu achten.

# Granulat



Zeit

Abbildung 22. Zeitlicher Verlauf des Granulateintrages (Driftsdichte: Gramm. 100 m<sup>-3</sup>) im Betriebskanal über den gesamten Untersuchungszeitraum. Auf die unterschiedliche Skalierung der Achsen ist zu achten.

Da zu diesem Zeitpunkt kein Netz im Kanal exponiert war, ist eine Quantifizierung der Fracht im Kanal selber nicht möglich. Der leicht zeitverzögerte Eintrag in die Schwechat wurde von den dort gesetzten Netzen aber detektiert. Während der nachfolgenden Driftspitzen um 18.00 Uhr bzw. 23.00 Uhr wurde weder eine auffällige Änderung der Wasserfarbe, noch ein Anstieg der Wasserführung im Kanal bemerkt.

Schon zu Beginn der Probennahme betrug die Driftdichte des Granulats mit 677 Partikeln.  $100 \text{ m}^{-3}$  mehr als das 7-fache des bis dato höchsten Wertes. Die Driftdichten der Pellets und Schnitzel schwankten bis 17.00 Uhr zwischen 0 - 1355 Partikeln.  $100 \text{ m}^{-3}$  bzw. 150 - 15201 Partikeln.  $100 \text{ m}^{-3}$ . Im Verlauf des extremen Anstiegs der transportierten Partikelfracht um 18.00 Uhr traten für Schnitzel (53609 Partikeln.  $100 \text{ m}^{-3}$  bzw. 2,9 Gramm.  $100 \text{ m}^{-3}$ ) und Granulat (10062 Partikeln.  $100 \text{ m}^{-3}$  bzw. 44,5 Gramm.  $100 \text{ m}^{-3}$ ) die höchsten in dieser Studie gemessenen Werte auf. Die Driftdichte der Pellets belief sich zu diesem Zeitpunkt auf 30361 Partikeln.  $100 \text{ m}^{-3}$ . Ein zweiter Peak in der Abundanz des mitgeführten Plastiks wurde zwischen 21.00 Uhr und 00.00 gemessen, wobei Pellets dominierten und um 23.00 Uhr mit 49381 Partikeln.  $100 \text{ m}^{-3}$  bzw. 1290 Gramm.  $100 \text{ m}^{-3}$  ihr absolutes Maximum erreichten. Die Nachwirkungen dieser „Plastikwelle“ hielten bis zum Morgen (07.00 Uhr) des 7. Juli an und äußerten sich in erhöhten mittleren Driftdichten aller drei Kategorien.

### 3.3 Partikeleintrag in die Flüsse Schwechat und Donau

#### 3.3.1 Quantifizierung des Partikeleintrages

Die prozentuellen Anteile der einzelnen Kategorien an der gesamten Plastikfracht (Abbildung 23) zeigen deutlich den Einfluss des Betriebskanals auf die stromabwärts gelegenen Standorte Schwechat und Donau. Der Anteil an Schnitzel nahm vom Kanal zum Standort am rechten Donauufer kontinuierlich ab, war aber deutlich höher als an den beiden Referenzstellen (DRU; DL). Ähnlich verhielt es sich mit dem weißen Granulat, das vor allem am 6. Juli hohe Driftdichten in der Schwechat und stromabwärts der Mündung selbiger in die Donau aufwies. Die Menge an nicht dem Kanal zuordenbarer Plastikmüll (Sonstiges) nahm vom Kanal zur Donau kontinuierlich zu und war die häufigste Kategorie (mengen- und gewichtsmäßig) an den Referenzpunkten.

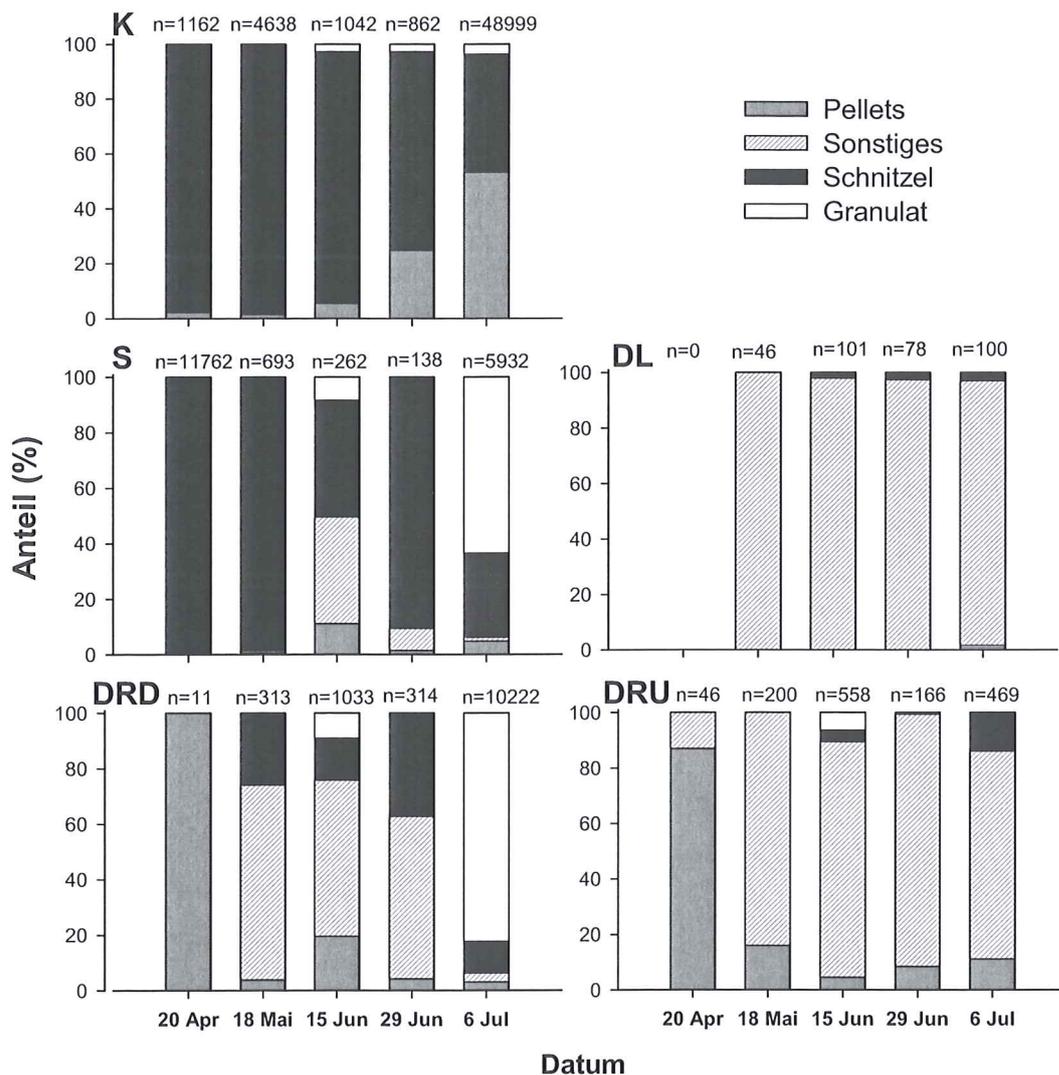


Abbildung 23. Prozentueller Anteil der Plastikfraktionen an der gesamten Partikelfracht der einzelnen Probetermine.

Die Messergebnisse zeigen, dass auch oberhalb der Schwechatmündung, an beiden Ufern des Donauhauptstromes, Pellets, Schnitzel und Granulat in den Proben nachgewiesen werden konnten. Mit Ausnahme des 20. Aprils, wo am rechten Donauufer Pellets mit 87% (entspricht 39 Partikeln) die häufigste Kategorie in den Proben darstellten, wurde an den Referenzstellen aber großteils sonstiger Plastikmüll nachgewiesen (75-100% des gesamten Plastiks).

Schon aus der anteilmäßigen Verteilung der Plastikfraktionen an den einzelnen Probestellen lassen sich deutliche Muster des Partikeleintrages vom Betriebskanal in das angrenzende Flusssystem ablesen. Für eine genauere Analyse der Mengen und der zeitlich-räumlichen Muster sind die Driftdichten heranzuziehen (Abbildungen 24-27). Die höchsten Driftdichten für alle Kategorien wurden in der Schwechat und am rechten Donauufer, wie im Kanal, am 6. Juli gemessen. Das Granulat wies an den Standorten S und DRD bei weitem die höchsten gemessenen Mengen auf. Schnitzel wiesen mit Ausnahme des 20. April an allen Probeterminen signifikant höhere Driftdichten in der Schwechat auf als die Pellets.

# Pellets

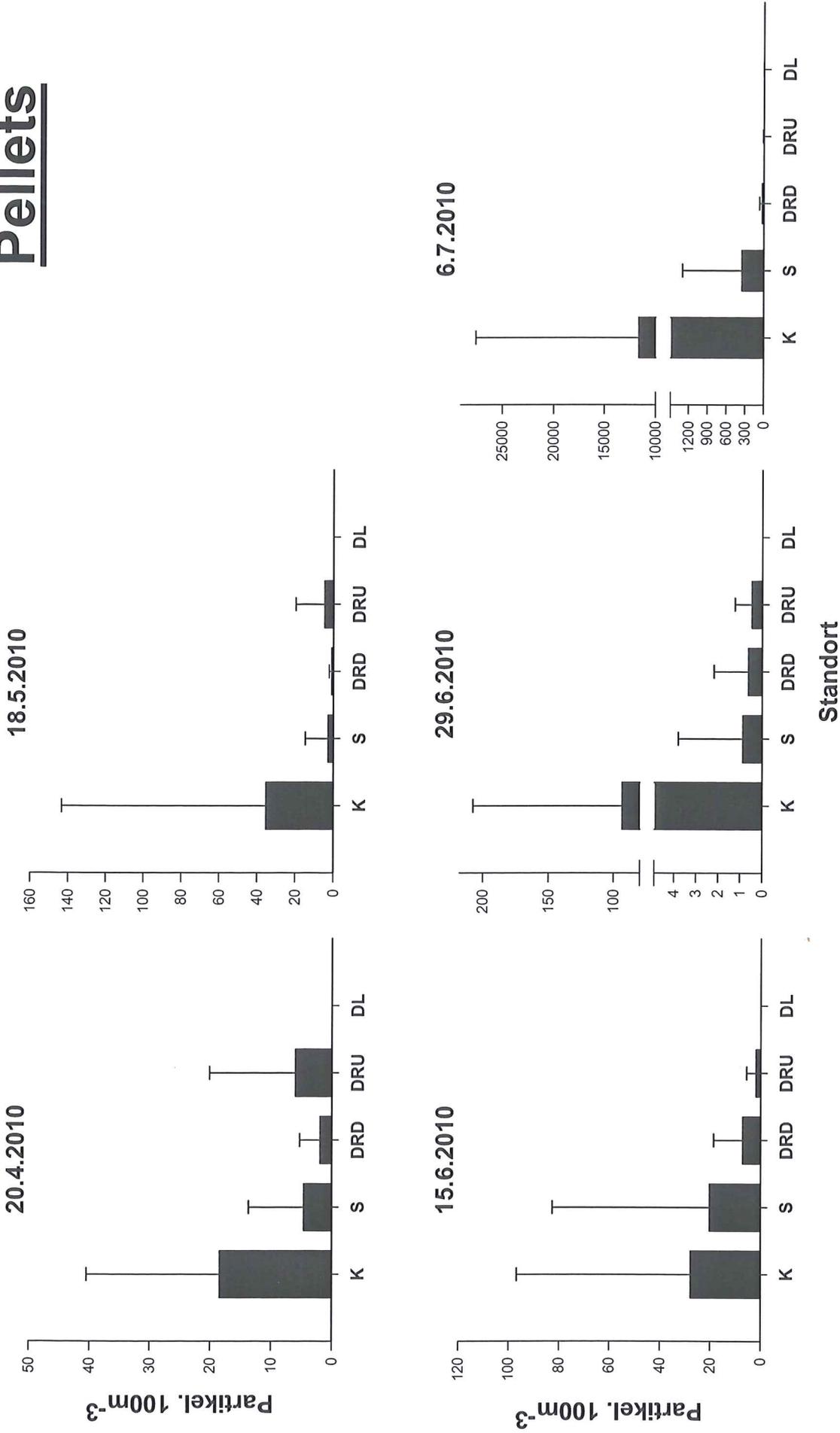


Abbildung 24. Mittlere Driftdichten (Partikel. 100m<sup>-3</sup> mit Standardabweichung) der Pellets pro Probertermin und Probestelle.

# Schnitzel

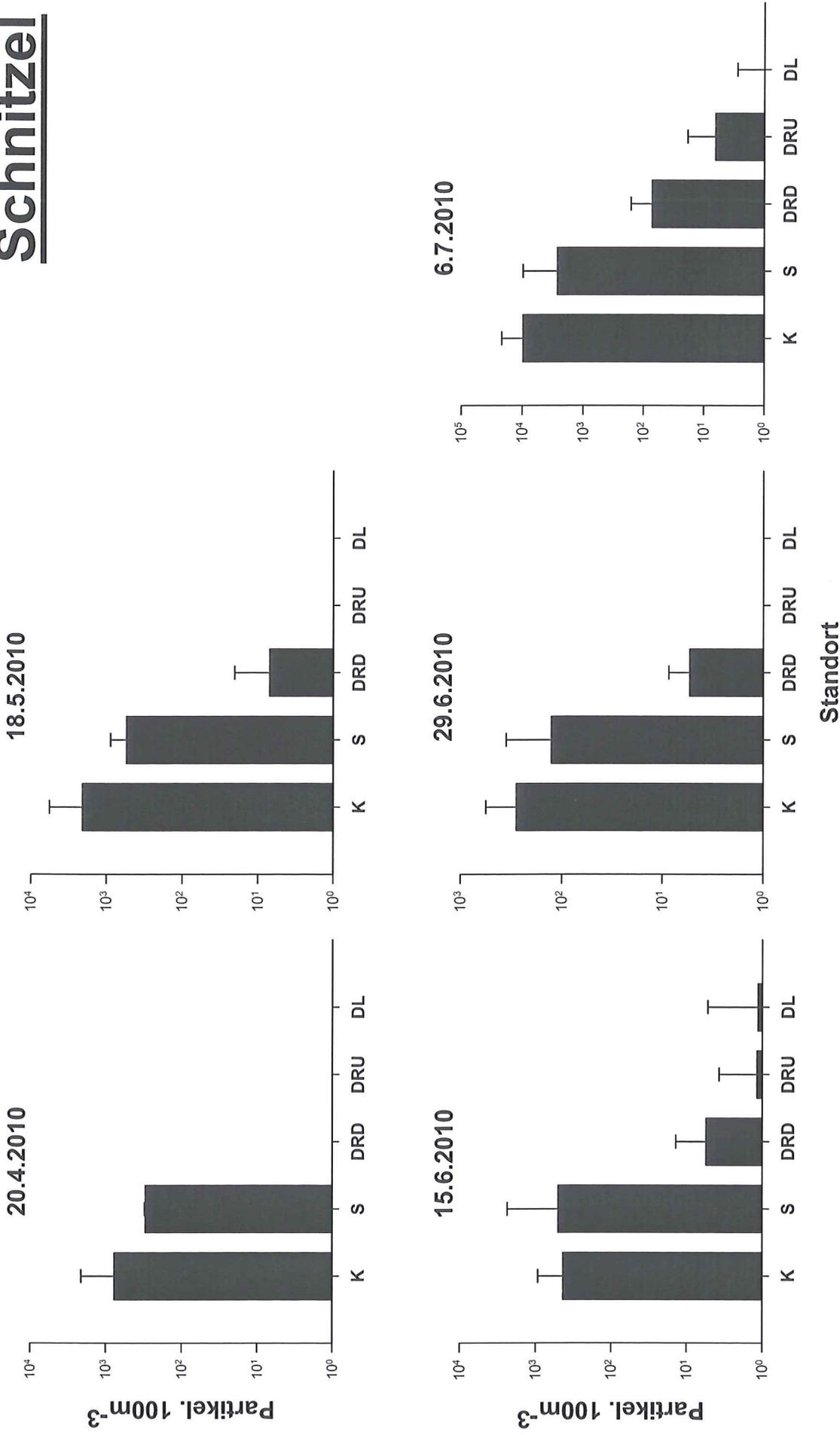


Abbildung 25. Mittlere Driftdichten (Partikel. 100m<sup>-3</sup> mit Standardabweichung) der Schnitzel pro Probetermin und Probestelle. Die Y-Achsen sind log<sub>10</sub> transformiert.

# Granulat

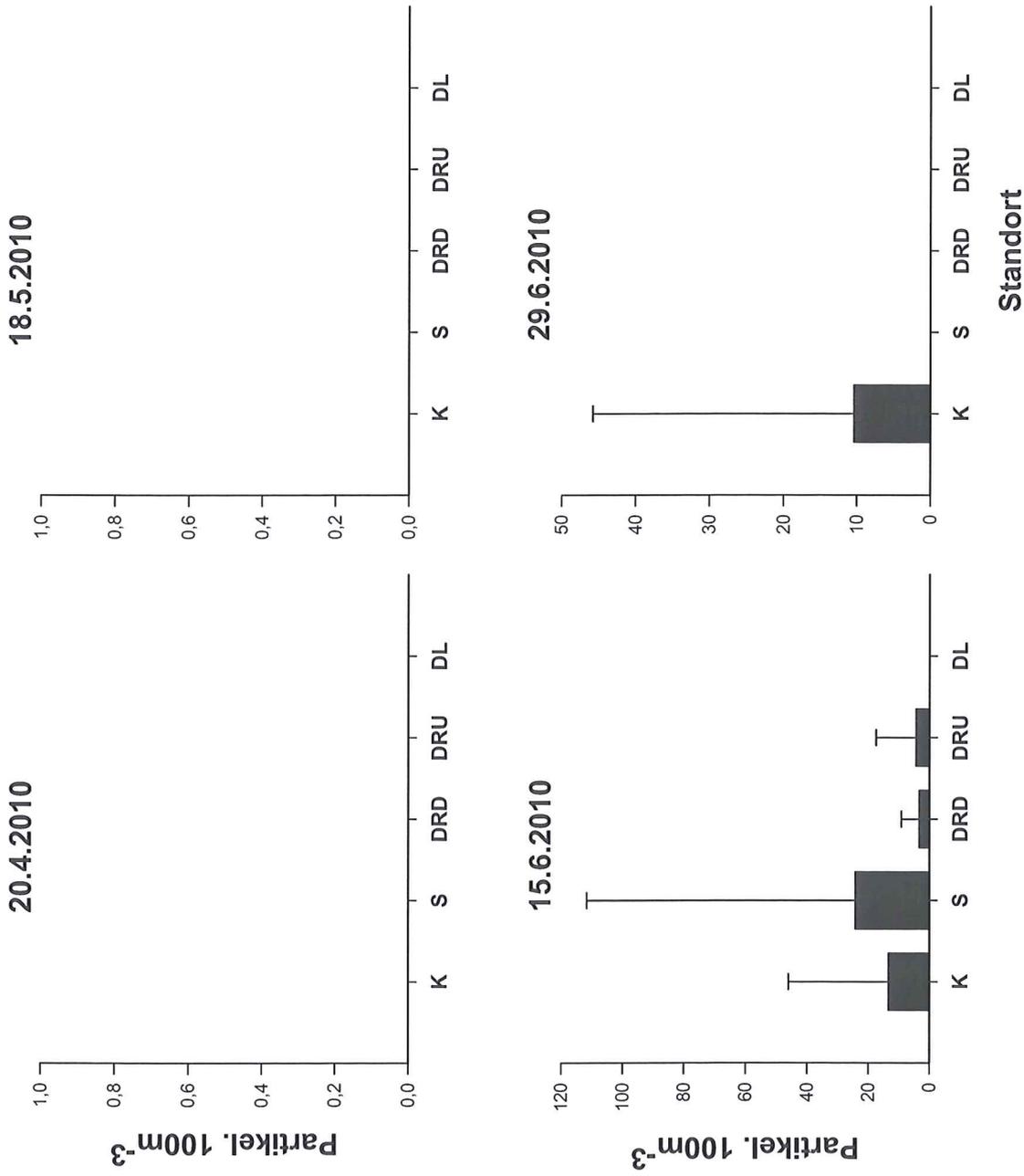
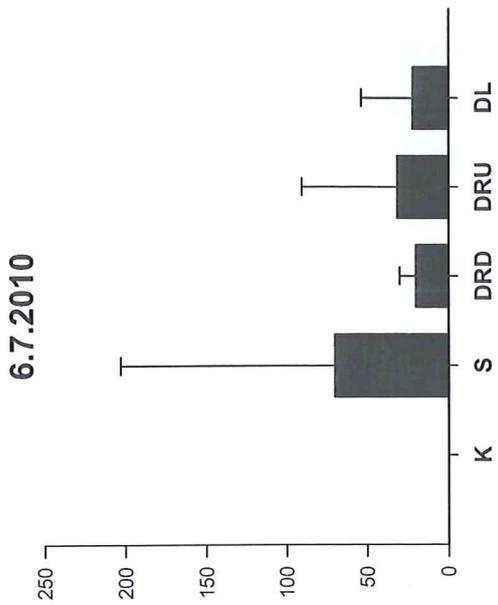
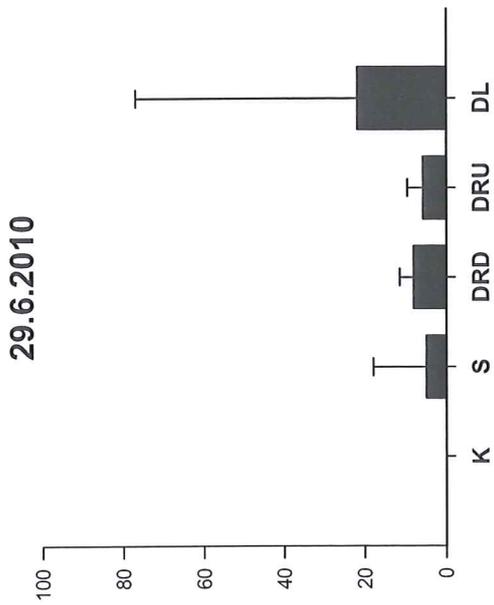
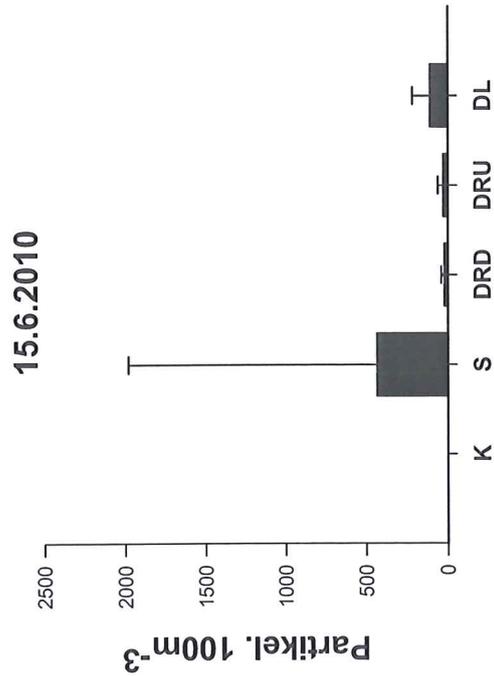
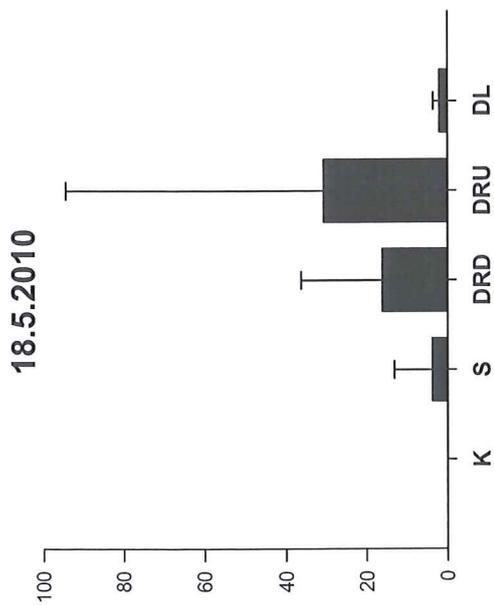
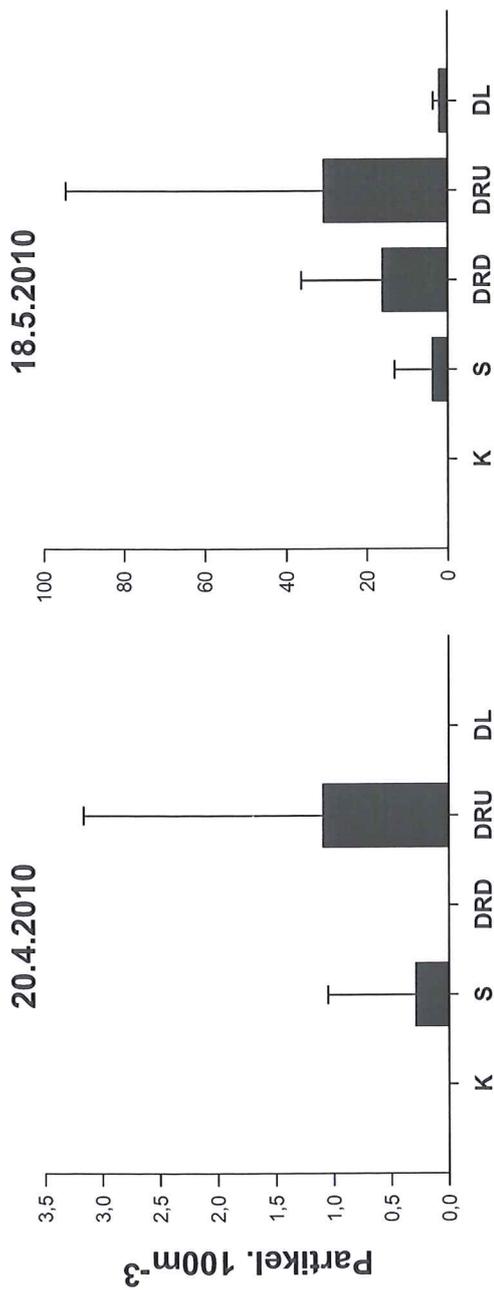


Abbildung 26. Mittlere Driftdichten (Partikel. 100m<sup>-3</sup> mit Standardabweichung) des Granulats pro Probetermin und Probestelle.

# Sonstiges



**Standort**

Abbildung 27. Mittlere Driftdichten (Partikel. 100m<sup>-3</sup> mit Standardabweichung) von sonstigem Plastik pro Probetermin und Probestelle.

Die Gesamtdriftdichten der Pellets und Schnitzel nahmen vom Kanal zum rechten Donauufer kontinuierlich ab. Während dieser Trend bei den Pellets an sämtlichen Probeterminen beobachtet werden konnte, wurden am 15. Juni höherer Schnitzeldriftdichten in der Schwechat als im Kanal detektiert. Die Gesamtdriftdichte des Granulats war in der Schwechat deutlich höher als im Kanal (Tabelle 4). Dieses Ergebnis beruht vor allem auf der letzten Probennahme, wo die Driftdichte des Granulats zwischen den Probepunkten Kanal und Schwechat um 88,3% anstieg. Im Gegensatz dazu konnte am 29. Juni kein Granulat in der Schwechat nachgewiesen werden, obwohl im Betriebskanal eine Driftdichte von  $10,4 \pm 35,36$  Partikel.  $100\text{m}^{-3}$  für diese Kategorie gemessen wurde. Wie aus Tabelle 4 ersichtlich wird, zeigten die Schnitzel an 4 Terminen (20.4, 18.5, 29.6, 6.7) deutlich geringere Abnahmen der Driftdichte zwischen den Standorten Kanal und Schwechat als die Pellets. Während sich die maximale prozentuelle Abnahme der Driftdichte zwischen den Stellen an besagten Terminen für die Schnitzel auf 73.4% belief, konnte für die Pellets an drei Tagen (18. Mai, 29. Juni, 6. Juli) eine Abnahme der Driftdichte von über 90% festgestellt werden. Auf der Fließstrecke zwischen dem Probepunkt in der Schwechat und jenem am rechten unteren Donauufer nahm die Driftdichte der Schnitzel, über den Untersuchungszeitraum gemittelt, prozentuell stärker ab (29,1%) als bei den Pellets (2,8%). Hinsichtlich dieser Analyse muss für die Kategorie Granulat festgehalten werden, dass die Spitze des Eintrages am 6. Juli von den Netzen im Kanal nicht eingefangen wurde. Setzt man daher, als Annäherung, die mittlere Driftdichte in der Schwechat mit 100% des Eintrages gleich, ergibt sich eine durchschnittliche prozentuelle Abnahme der Driftdichte von 89,3% zum rechten Donauufer.

Bei der Bewertung des Partikeleintrages vom Kanal in den Donauhauptstrom muss beachtet werden, dass sämtliche im Kanal vorhandenen Plastikfraktionen auch oberhalb der Schwechatmündung in der Drift auftraten. An drei Probeterminen wurden am Standort DRU höhere Driftdichten für Pellets (20. April, 18. Mai) und Granulat (15. Juni) gemessen als an Probestelle DRD (Tabelle 10 im Anhang). Zusätzlich konnte festgestellt werden, dass während des Störereignisses am 6. Juli signifikant mehr Pellets ( $Z = -5,1$ ,  $p < 0,001$ ), Schnitzel ( $Z = -5,8$ ,  $p < 0,001$ ) und Granulat ( $Z = -6,2$ ,  $p < 0,001$ ) in der Schwechat drifteten als an der Referenzstelle DRD. Während des „Normalbetriebes“ gab es hinsichtlich der Pellets ( $Z = -1,7$ ,  $p > 0,05$ ) keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Standorten. Es konnten aber signifikant mehr Schnitzel in der Schwechat ( $Z = -9,9$ ,  $p < 0,001$ ) und signifikant mehr Granulat am oberen rechten Donauufer ( $Z = -2,2$ ,  $p < 0,05$ ) nachgewiesen werden.

Tabelle 4. Mittlere Driftdichten mit Standardabweichung der Plastikkategorien für sämtliche Probestermine an den Standorten DRD, K, S. Angeführt sind die prozentuellen Änderungen des Eintrages vom Kanal (=100%) in die Schwechat und in die Donau an.

| Datum         | Partikel/100m-3  | K                        | S                         | %     | DRD                     | %     |
|---------------|------------------|--------------------------|---------------------------|-------|-------------------------|-------|
| 20. Apr       | Pellets          | 18.40 ± 22.09            | 4.48 ± 9.05               | 75.6  | 1.94 ± 3.29             | 89.4  |
|               | Schnitzel        | 773.6 ± 1313.22          | 300.38 ± 832.98           | 61.2  | 0.0 ± 0.0               | 100.0 |
|               | Granulat         | 0.0 ± 0.0                | 0.0 ± 0.0                 | .     | 0.0 ± 0.0               | .     |
| 18. Mai       | Pellets          | 35.47 ± 107.92           | 2.84 ± 11.80              | 91.9  | 0.90 ± 1.17             | 97.5  |
|               | Schnitzel        | 2054.46 ± 3561.84        | 546.11 ± 332.92           | 73.4  | 7.01 ± 13.27            | 99.6  |
|               | Granulat         | 0.0 ± 0.0                | 0.0 ± 0.0                 | .     | 0.0 ± 0.0               | .     |
| 15. Jun       | Pellets          | 27.71 ± 69.06            | 20.25 ± 62.43             | 26.9  | 7.08 ± 11.51            | 74.4  |
|               | Schnitzel        | 433.27 ± 497.94          | 503.67 ± 1844.90          | 13.9  | 5.57 ± 8.28             | 98.7  |
|               | Granulat         | 13.38 ± 32.69            | 24.18 ± 87.42             | 44.6  | 3.32 ± 5.91             | 75.2  |
| 29. Jun       | Pellets          | 93.53 ± 114.01           | 0.88 ± 2.92               | 99.1  | 0.63 ± 1.55             | 99.3  |
|               | Schnitzel        | 281.38 ± 280.36          | 127.39 ± 227.23           | 54.7  | 5.38 ± 3.27             | 98.1  |
|               | Granulat         | 10.4 ± 35.36             | 0.0 ± 0.0                 | 100.0 | 0.0 ± 0.0               | 100.0 |
| 06. Jul       | Pellets          | 11626.16 ± 15971.90      | 349.80 ± 950.14           | 96.9  | 22.62 ± 44.11           | 99.8  |
|               | Schnitzel        | 9768.81 ± 11913.05       | 2655.80 ± 7034.91         | 72.8  | 72.01 ± 87.85           | 99.3  |
|               | Granulat         | 916.23 ± 2052.27         | 7876.10 ± 33857.44        | 88.3  | 842.34 ± 2849.27        | 8.1   |
| <b>Gesamt</b> | <b>Pellets</b>   | <b>2711.09 ± 8982.01</b> | <b>81.72 ± 458.43</b>     | 96.9  | <b>7.03 ± 22.61</b>     | 99.7  |
|               | <b>Schnitzel</b> | <b>2943.28 ± 6898.16</b> | <b>869.04 ± 3482.10</b>   | 70.2  | <b>19.52 ± 49.45</b>    | 99.3  |
|               | <b>Granulat</b>  | <b>215.80 ± 1041.39</b>  | <b>1714.21 ± 15836.85</b> | 78.1  | <b>183.49 ± 1349.97</b> | 51    |

Tabelle 5. Mittlere Driftdichten (Gramm. 100 m<sup>-3</sup>) für Pellets, Schnitzel und Granulat an den Standorten DRD, K und S zur Darstellung des mengenmäßigen Eintrages aus dem Kanal.

| Datum   | Gramm/100m-3 | K               | S              | DRD          |
|---------|--------------|-----------------|----------------|--------------|
| 20. Apr | Pellets      | 0.48 ± 0.58     | 0.12 ± 0.24    | 0.05 ± 0.09  |
|         | Schnitzel    | 1.73 ± 2.93     | 0.67 ± 1.86    | 0.0 ± 0.0    |
|         | Granulat     | 0.0 ± 0.0       | 0.0 ± 0.0      | 0.0 ± 0.0    |
| 18. Mai | Pellets      | 0.93 ± 2.82     | 0.07 ± 0.31    | 0.02 ± 0.03  |
|         | Schnitzel    | 4.58 ± 7.94     | 1.22 ± 0.74    | 0.02 ± 0.03  |
|         | Granulat     | 0.0 ± 0.0       | 0.0 ± 0.0      | 0.0 ± 0.0    |
| 15. Jun | Pellets      | 0.72 ± 1.81     | 0.53 ± 1.63    | 0.19 ± 0.30  |
|         | Schnitzel    | 0.97 ± 1.11     | 1.12 ± 4.11    | 0.01 ± 0.02  |
|         | Granulat     | 0.06 ± 0.15     | 0.11 ± 0.39    | 0.01 ± 0.03  |
| 29. Jun | Pellets      | 2.45 ± 2.98     | 0.02 ± 0.08    | 0.02 ± 0.04  |
|         | Schnitzel    | 0.63 ± 0.63     | 0.28 ± 0.51    | 0.01 ± 0.01  |
|         | Granulat     | 0.05 ± 0.16     | 0.0 ± 0.0      | 0.0 ± 0.0    |
| 06. Jul | Pellets      | 303.91 ± 417.51 | 9.14 ± 24.84   | 0.59 ± 1.15  |
|         | Schnitzel    | 21.78 ± 26.57   | 5.92 ± 15.69   | 0.16 ± 0.20  |
|         | Granulat     | 4.08 ± 9.13     | 35.05 ± 150.67 | 3.75 ± 12.68 |

Um den Nettoeintrag aus dem Betriebskanal abschätzen zu können, wurden daher die, über den gesamten Untersuchungszeitraum oberhalb der Schwechatmündung, am rechten Donauufer, gemessenen mittleren Driftdichten der einzelnen Plastikfraktionen von jenen am Standort DRD abgezogen (Tabelle 6). Unter der Annahme, dass die Partikel vom linken Donauufer den Probepunkt DRD nicht erreichen können, wurden sie bei der Berechnung nicht berücksichtigt. Der Eintrag der drei Plastikfraktionen aus dem Kanal (der Schwechat) in den Donauhauptstrom betrug über den gesamten Untersuchungszeitraum durchschnittlich 0.11 Gramm.  $100 \text{ m}^{-3}$  Pellets, 0.04 Gramm.  $100 \text{ m}^{-3}$  Schnitzel und 0.81 Gramm.  $100 \text{ m}^{-3}$  Granulat. Bei „Routinebetrieb“ konnte für die Kategorien Pellets und Granulat kein Nettoeintrag von der Schwechat in die Donau berechnet werden, da die Driftdichten dieser Kategorien oberhalb der Schwechatmündung höher waren als flussab derselbigen. Dies weist auf einen komplexen, nicht kontinuierlichen Transport der eingebrachten Partikel, der sich je nach Durchflusssituation ändert, hin. Dies kann z.B. durch Anlandungs- bzw. Retentionsprozesse durch Kehrströmungen und Turbulenzphänomene bedingt sein. Der Eintrag der Schnitzel belief sich auf 0,01 Gramm.  $100 \text{ m}^{-3}$ . Während des Extremereignisses am 6.Juli wurden durchschnittlich 0,5 Gramm.  $100 \text{ m}^{-3}$  Pellets, 0,15 Gramm.  $100 \text{ m}^{-3}$  Schnitzel und 3,75 Gramm.  $100 \text{ m}^{-3}$  Granulat von der Schwechat in die Donau eingebracht.

Tabelle 6. Nettoeintrag der drei Partikelkategorien aus der Schwechat in die Donau. Die Ergebnisse sind für den 6.Juli („Störereignis“) und die übrigen Probetermine („Routinebetrieb“) separat dargestellt.

|                       | Partikel. $100 \text{ m}^{-3}$ | DRU   | DRD     | Eintrag | Gramm. $100 \text{ m}^{-3}$ | DRU   | DRD   | Eintrag |
|-----------------------|--------------------------------|-------|---------|---------|-----------------------------|-------|-------|---------|
| <b>Routinebetrieb</b> | Pellets                        | 2.925 | 2.714   | *       | Pellets                     | 0.077 | 0.071 | *       |
|                       | Schnitzel                      | 0.325 | 4.982   | 4.657   | Schnitzel                   | 0.001 | 0.011 | 0.010   |
|                       | Granulat                       | 1.161 | 0.920   | *       | Granulat                    | 0.005 | 0.004 | *       |
| <b>Störereigniss</b>  | Pellets                        | 2.713 | 22.627  | 19.914  | Pellets                     | 0.071 | 0.591 | 0.521   |
|                       | Schnitzel                      | 6.446 | 72.011  | 65.566  | Schnitzel                   | 0.014 | 0.161 | 0.146   |
|                       | Granulat                       | 0.000 | 842.348 | 842.348 | Granulat                    | 0.000 | 3.748 | 3.748   |
| <b>Gesamt</b>         | Pellets                        | 2.900 | 7.030   | 4.130   | Pellets                     | 0.075 | 0.184 | 0.109   |
|                       | Schnitzel                      | 1.660 | 19.520  | 17.860  | Schnitzel                   | 0.004 | 0.043 | 0.039   |
|                       | Granulat                       | 0.900 | 183.490 | 182.590 | Granulat                    | 0.004 | 0.816 | 0.812   |

Für die Standorte Schwechat und Donau rechts unten wurde als weitere quantifizierende Größe das durchschnittliche Wasservolumen (Liter) berechnet, in dem ein Partikel der jeweiligen Kategorie am 6.Juli mitgeführt wurde (Tabelle 7). Zusätzlich wird ein Faktor (Vf) angegeben, der den Verdünnungseffekt zwischen den beiden Standorten ausdrückt.

Tabelle 7. Wasservolumina in denen 1 Partikel der verschiedenen Kategorien am 6.Juli (Standort. Schwechat (S), Donau rechts flussab (DRD)) mitgeführt wurde. Vf = Verdünnungsfaktor

|                 | S           |             |      | DRD            |             |            |      |
|-----------------|-------------|-------------|------|----------------|-------------|------------|------|
|                 | Volumen (l) | Volumen (l) | Vf   | Volumen (l)    | Volumen (l) | Vf         |      |
| Pellets (n=1)   | 1794        | 18765.22    | 10.5 | Pellets (1g)   | 68647       | 717873.71  | 10.5 |
| Schnitzel (n=1) | 317         | 6417.04     | 20.2 | Schnitzel (1g) | 142489      | 2877597.19 | 20.2 |
| Granulat (n=1)  | 678         | 3098.81     | 4.6  | Granulat (1g)  | 152377      | 696362.19  | 4.6  |

Um zu ermitteln, ob sich der Standort DRD hinsichtlich der Menge an driftender/m Pellets, Schnitzel und Granulat von den Referenzstellen DL und DRU unterscheidet, wurde eine ANOVA gerechnet. Die Analysen erfolgten für „Routinebetrieb“ und Störereignis getrennt. In beiden Fällen lagen signifikante Unterschiede der Driftdichten zwischen den Standorten vor. Tabelle 8 zeigt die Ergebnisse des multiplen Rangtests nach Duncan für den 6.Juli. Wie man sieht, waren die Driftdichten sämtlicher Kategorien am Standort DRD höher als an den Referenzstellen. Im Vergleich der beiden Referenzstellen konnte festgestellt werden, dass am rechten Donauufer generell signifikant mehr Schnitzel und Pellets drifteten. Während des „Routinebetriebes“ waren die Driftdichten aller Kategorien am Probepunkt DRD signifikant höher als an der Stelle DL, während im Vergleich zur Stelle DRU nur signifikant mehr Schnitzel drifteten (Tabelle 14 im Anhang). Am linken Donauufer driftenden signifikant weniger Pellets und Granulat als am rechten Ufer flussauf der Schwechatmündung.

Tabelle 8. Rangtest nach Duncan auf Unterschiede der Driftdichten zwischen den einzelnen Standorten am 6.Juli.

|                  | Standort | N  | 1               | 2            | 3            |
|------------------|----------|----|-----------------|--------------|--------------|
| <b>Pellets</b>   | DL       | 23 | <b>4,59E-02</b> |              |              |
|                  | DRU      | 23 |                 | <b>0,380</b> |              |
|                  | DRD      | 23 |                 |              | <b>0,965</b> |
|                  | Sig.     |    | 1,0             | 1,0          | 1,0          |
| <b>Schnitzel</b> | DL       | 23 | <b>9,23E-02</b> |              |              |
|                  | DRU      | 23 |                 | <b>0,606</b> |              |
|                  | DRD      | 23 |                 |              | <b>1,571</b> |
|                  | Sig.     |    | 1,0             | 1,0          | 1,0          |
| <b>Granulat</b>  | DL       | 23 | <b>0,000</b>    |              |              |
|                  | DRU      | 23 | <b>0,000</b>    |              |              |
|                  | DRD      | 23 |                 | <b>2,010</b> |              |
|                  | Sig.     |    | 1,0             | 1,0          |              |

### 3.3.2 Zeitlicher Verlauf des Partikeleintrages

Die hohen Mengen und distinkten Driftspitzen der Partikelfracht während des letzten Probenstermins ermöglichen eine detaillierte Analyse des Transportes der Partikelfracht vom Kanal in die Donau. Der erste beobachtete massive Anstieg an mitgeführtem Plastik im Kanal um 11.40 Uhr zeigte sich in hohen Driftdichten des Granulats (163047 Partikel.  $100 \text{ m}^{-3}$ ) der Pellets (4618 Partikel.  $100 \text{ m}^{-3}$ ) und der Schnitzel (6519 Partikel.  $100 \text{ m}^{-3}$ ) um 12.00 Uhr in der Schwechat. Dieser Plastikteppich, der sich laut mündlicher Mitteilung der Kollegen vor Ort, über zwei Drittel der Flussbreite erstreckte (siehe Abbildung 33) kam um 16.00 Uhr am rechten Donauufer an. Die Driftdichte des Granulats betrug hier noch 13821 Partikel.  $100 \text{ m}^{-3}$ , jene der Pellets 213 Partikel.  $100 \text{ m}^{-3}$ . Die Abundanz der mitgeführten Schnitzel hatte am stärksten abgenommen, und belief sich auf 81 Partikel.  $100 \text{ m}^{-3}$ .

Eine weitere Spitze im Plastikausstoß aus dem Kanal wurde für sämtliche Kategorien zwischen 17.00 Uhr und 18.00 Uhr gemessen. Die Driftdichte des Granulats betrug um 18.00 Uhr 10062 Partikel.  $100 \text{ m}^{-3}$  und führte wiederum zeitverzögert zu erhöhten Driftdichten bei den Standorten Schwechat (20.00 Uhr: 3782 Partikel.  $100 \text{ m}^{-3}$ ) und Donaurechts unten (24.00 Uhr: 1163 Partikel.  $100 \text{ m}^{-3}$ ). Die Transportzeit des Plastiks zwischen den Probestellen Schwechat und Donau (DRD) belief sich, wie beim ersten gemessenen Massenausstoß um 12.00 Uhr, auf etwa 4 Stunden. Um 18.00 Uhr stieg auch die mitgeführte Menge Schnitzel im Kanal (53609 Partikel.  $100 \text{ m}^{-3}$ ). Da der Peak in der Schwechat (33853 Partikeln.  $100 \text{ m}^{-3}$ ) schon um 17.00 Uhr gemessen wurde, ist davon auszugehen, dass es schon nach 17.05 Uhr (Ende der Netz Exposition im Kanal) zu einer massiven Emission an Schnitzel kam, die von den Netzen in der Schwechat zwischen 17.00 Uhr und 17.30 Uhr eingefangen wurde. Mit einer Verzögerung von sechs Stunden erreichte diese Schnitzelfracht das rechte Donauufer. Die Pellets drifteten um 18.00 Uhr im Kanal mit einer Dichte von 30361 Partikeln.  $100 \text{ m}^{-3}$ . Um 20.00 Uhr war ein Anstieg der Pelletdriftdichte in der Schwechat zu verzeichnen (891 Partikel.  $100 \text{ m}^{-3}$ ), der vier Stunden später auch in der Donau auftrat (45 Partikel.  $100 \text{ m}^{-3}$ ). Um 20.00 Uhr kam es zu einem unimodal verlaufenden Anstieg der Pelletkonzentration im Kanal mit einer distinkten Driftspitze 23.00 Uhr (49381 Partikeln.  $100 \text{ m}^{-3}$ ). Der erhöhte Eintrag konnte in der Schwechat kaum nachgewiesen werden. In der Donau (DRD) kam es um 6.00 Uhr zu einem leichten Anstieg der mitgeführten Pelletmenge (17,8 Partikel.  $100 \text{ m}^{-3}$ ), der eventuell auf dieses Ereignis zurückzuführen war.

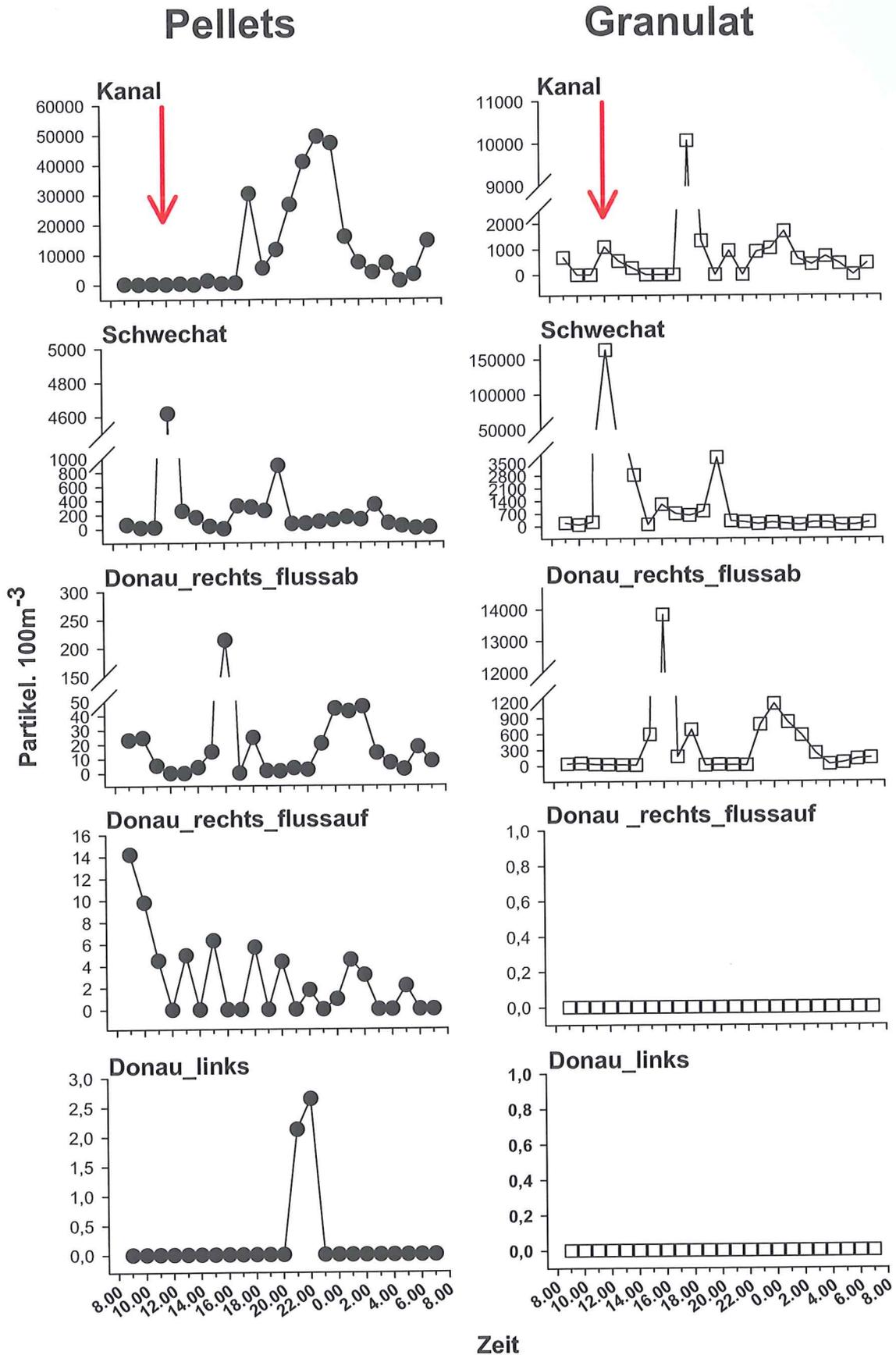


Abbildung 28. Zeitlicher Verlauf des Pellet- und Granulateintrages vom Betriebskanal in die Flüsse Schwechat und Donau am 6. Juli. Der beobachtete Massenausstoß um 11.40 Uhr ist durch den roten Pfeil markiert.

# Schnitzel

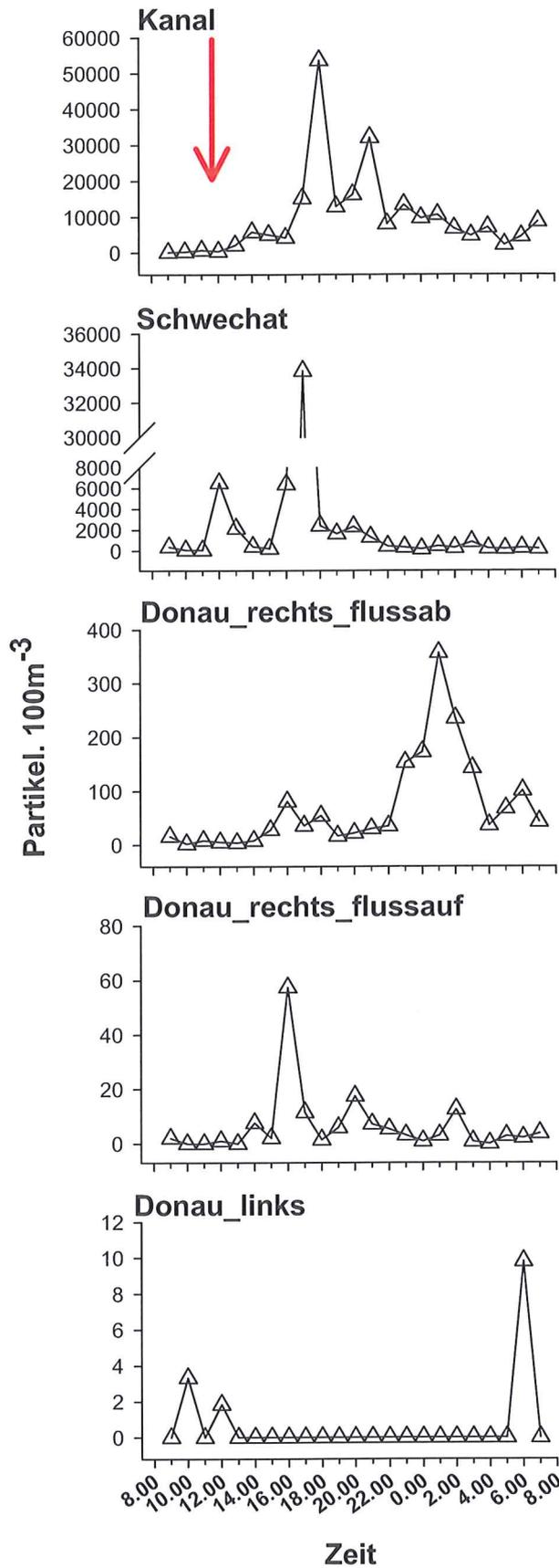


Abbildung 29. Zeitlicher Verlauf des Schnitzeleintrages am 6.Juli. Der rote Pfeil markiert den Zeitpunkt des ersten Masseneintrages um 11.40 Uhr.

### 3.4 Abhängigkeit des Partikeltransportes vom Durchfluss

Es wurde keine signifikante Korrelation zwischen der Menge an mitgeführtem Plastik im Betriebskanal und dem Durchfluss festgestellt (Tabelle 9). Exemplarisch sind in Abbildung 30 der zeitliche Verlauf von Plastikeintrag und Wasserführung am 6. Juli zusammen dargestellt. Dabei muss abermals festgehalten werden, dass die gemessene Abflussspitze um 11.40 Uhr erwiesenermaßen (Beobachtung durch Mitarbeiter und hohe gemessene Driftdichten in der Schwechat) mit einer erhöhten Partikelfracht einherging. Es ist aber davon auszugehen, dass es sich dabei um kein generelles Muster handelt, da für die folgenden gemessenen Driftspitzen um 18.00 Uhr und um 23.00 Uhr keine Abhängigkeit vom Durchfluss gegeben war.

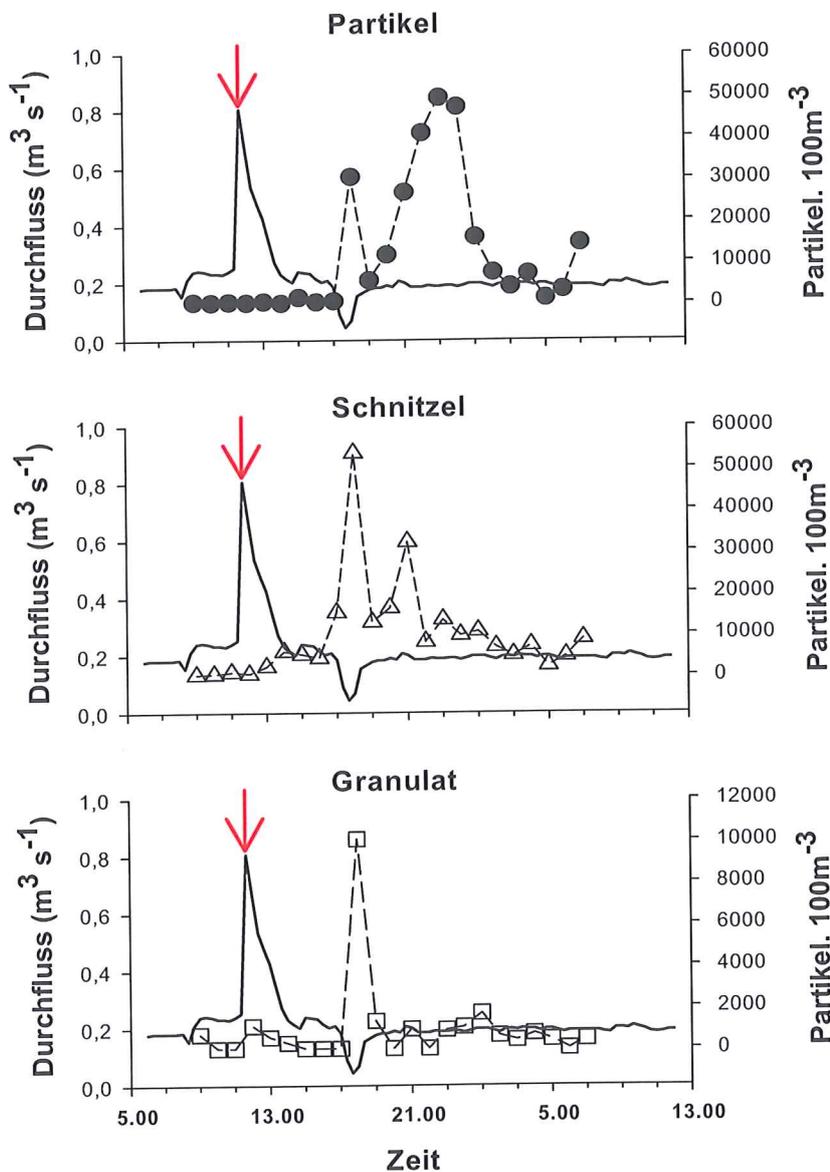


Abbildung 30. Zeitlicher Verlauf des Durchflusses und der Partikeldriftdichten am 6. Juli im Kanal. Der Zeitpunkt des beobachteten Masseneintrages ist mit dem roten Pfeil markiert.

Es fällt vielmehr auf, dass während des erhöhten Plastikausstoßes um 18.00 Uhr eine deutliche Abnahme des Durchflusses aufgezeichnet wurde. Die Grafiken für die restlichen Termine finden sich im Anhang (Abbildung 34)

Tabelle 9. Pearson-Korrelationkoeffizienten (r) und Sinifkanzen (p) für die Korrelation von Kanaldurchfluss zu den Driftdichten der einzelnen Plastikfraktionen (Partikel.  $100\text{ m}^{-3}$ ).

| Partikel  | N  | Durchfluss |        |
|-----------|----|------------|--------|
| Pellets   | 88 | r          | -0.111 |
|           |    | p          | 0.302  |
| Schnitzel | 88 | r          | -0.188 |
|           |    | p          | 0.080  |
| Granulat  | 88 | r          | -0.116 |
|           |    | p          | 0.281  |

Bei den Korrelationsanalysen zwischen Donaudurchfluss und Plastikdriftdichten wurde der 6. Juli nicht berücksichtigt. Die Miteinbeziehung der erhöhten Partikelfracht an diesem Tag (und der herrschenden Wasserführung) hätte kein realistisches Bild der tatsächlichen Verhältnisse geliefert. Die Menge an nicht dem Kanal zuordenbarem Plastik (Sonstiges), Granulat, und Schnitzel war in der Donau signifikant positiv mit der Wasserführung korreliert (Abbildung 31). Für die Pellets konnte diesbezüglich kein signifikanter Zusammenhang festgestellt werden.

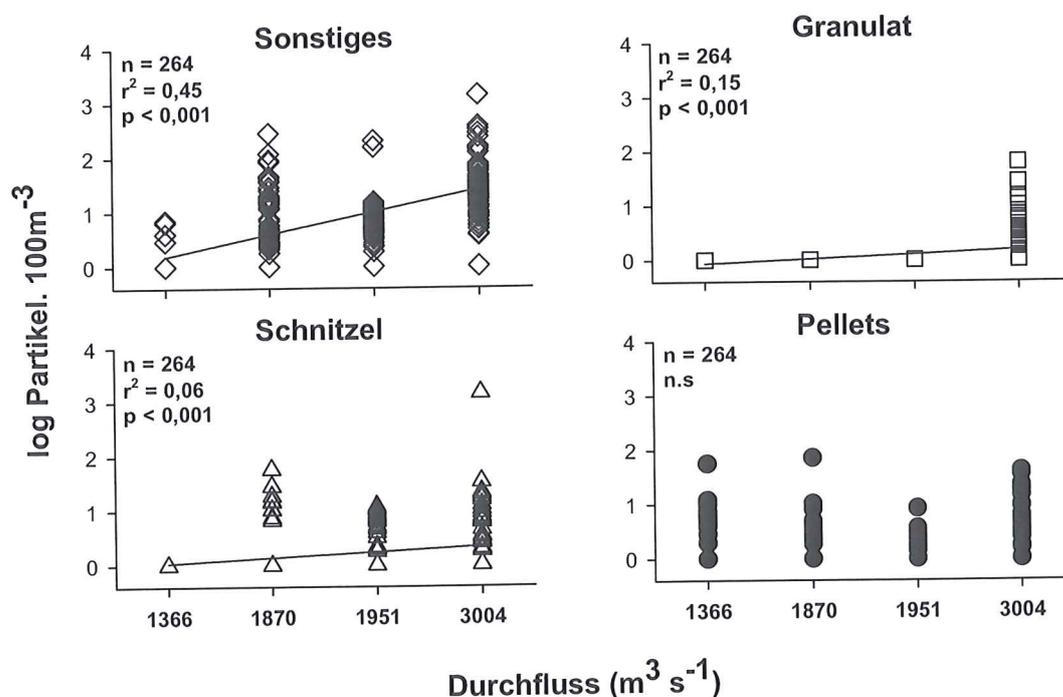


Abbildung 31. Driftdichten der einzelnen Kategorien bei zunehmendem Durchfluss in der Donau. Alle:  $Y = Y_0 + ax$ . Sonstiges ( $Y_0 = -0,23 \pm 0,08$ ,  $a = 0,41 \pm 0,03$ ), Granulat ( $Y_0 = -0,15 \pm 0,04$ ,  $a = 0,08 \pm 0,01$ ), Schnitzel ( $Y_0 = -0,07 \pm 0,07$ ,  $a = 0,10 \pm 0,02$ ).

Auch bei „Normalbetrieb“ wurde in der Schwechat ein eventueller Zusammenhang zwischen Partikeldriftdichte und Durchfluss vom variablen Eintrag aus dem Betriebskanal überdeckt. Abgesehen vom 6. Juli wurden die größten Mengen an Granulat und Pellets am 15. Juni bei einem Durchfluss der Schwechat von  $7,8 \text{ m}^3 \text{ Sek}^{-1}$  detektiert (Abbildung 32). Dass auch die Fraktion an sonstigem Plastikmüll bei diesem Durchfluss signifikant höher war, könnte auf punktuellen Eintragsereignissen unbekannter Quellen flussauf der Betriebskanalmündung an diesem Tag beruhen.

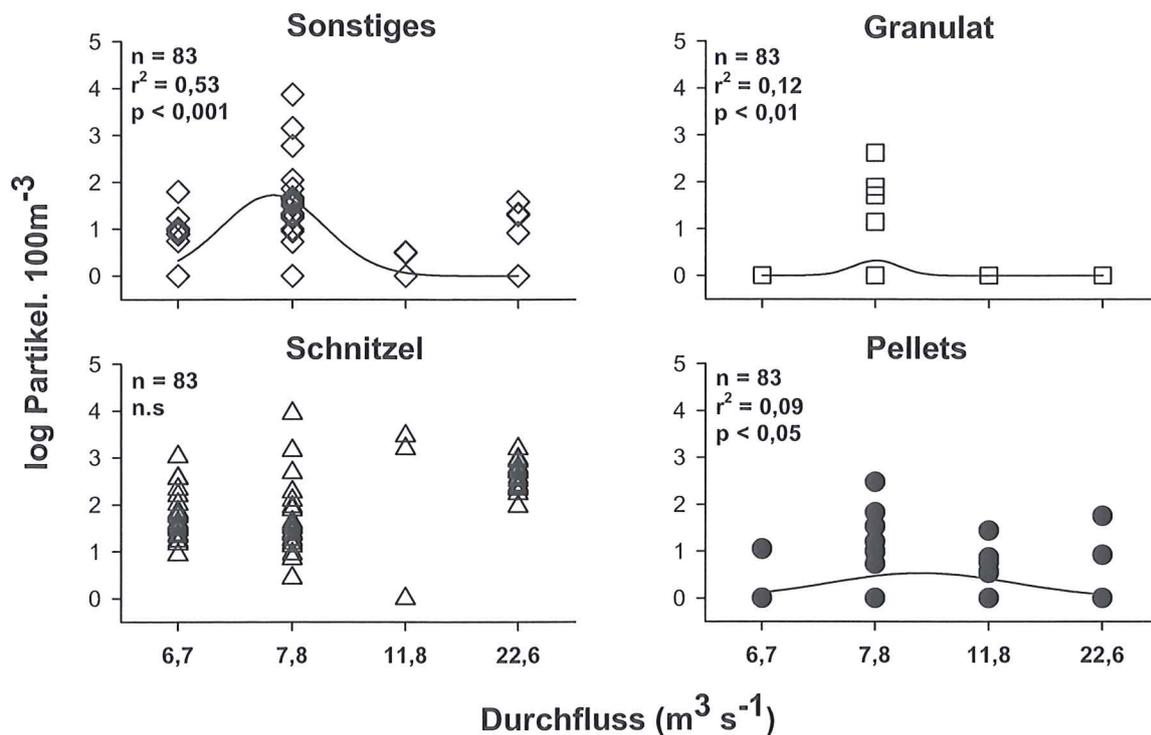


Abbildung 32. Driftdichten der einzelnen Kategorien bei zunehmendem Durchfluss in der Schwechat. Alle:  $f = ae^{[-0,5(x-x_0/b)^2]}$ . Sonstiges ( $a=1,72 \pm 0,30$ ,  $b=0,45 \pm 0,10$ ), Granulat ( $a=0,32 \pm 0,70$ ,  $b=0,20 \pm 236,70$ ), Pellets ( $a=0,53 \pm 0,12$ ,  $b=0,81 \pm 0,21$ ).

## 4 Diskussion

Die von der Firma Borealis als industrielles Rohmaterial hergestellten Plastikpartikel (Pellets, Schnitzel, Granulat, weißes Mikrogranulat) werden in unterschiedlichen, stark schwankenden Mengen über den Betriebskanal in das anschließende Flusssystem (Schwechat, Donau) eingetragen. Über den Studienzeitraum gemittelt, wurden pro Minute  $7,5\text{g} \pm 25,2\text{g}$  Pellets,  $0,7\text{g} \pm 1,3\text{g}$  Schnitzel und  $0,1\text{g} \pm 0,3\text{g}$  Granulat aus dem Kanal ausgestoßen. Die relativ großen Schwankungen der Driftdichten im Werkskanal zwischen den einzelnen Probenahmen könnten auf eine unterschiedliche Produktionsleistung der einzelnen Kategorien hindeuten. Die Analyse der zeitlichen Komponente des Plastikeintrages hat gezeigt, dass die Partikeln im Zuge kurzfristiger, schwallartiger Ereignisse aus dem Kanal abgegeben werden. Gelegentlich traten die Driftspitzen in Zeitfenstern auf, wo kein Netz im Kanal exponiert war. An vier von fünf Probeterminen wiesen die Schnitzel, im Vergleich zu den anderen Kategorien, die höchsten Driftdichten im Kanal auf, was daran liegen mag, dass die vorgeschalteten Filteranlagen und Sedimentationsbecken durchlässiger für diese Partikelkategorie sind. Bei der Analyse der Proben fiel z.B. auf, dass man innerhalb der Schnitzelfraktion zwischen im Wasser sinkenden und auftreibenden Partikel unterscheiden kann (was bei Pellets und Granulat nicht der Fall war). Am 6. Juli waren die Driftdichten aller Plastikategorien signifikant höher als an den übrigen Terminen. Firmeninterne Untersuchungen machten ein technisches Gebrechen im Kanalsystem (mündliche Mitteilung Dr. Zachhuber) als Ursache dieses Vorfalles aus. Vor diesem Hintergrund haben wir bei unseren Analysen zwischen besagtem „Störereignis“ am 6. Juli und dem „Routinebetrieb“ an den restlichen Probeterminen unterschieden.

Es muss davon ausgegangen werden, dass sämtliches vom Kanal ausgestoßenes Plastik früher oder später in der Schwechat und anschließend in der Donau landet. Die angebrachte Schwimmbariere im Mündungsbereich schloss seitlich nicht mit dem Ufer ab, und reichte von der Wasseroberfläche maximal 30 cm in Richtung Gewässergrund. Diese Einrichtung stellt demnach keine effiziente Barriere für den Partikeleintrag vom Werkskanal in die Schwechat dar.

Die Driftdichten der Pellets und Schnitzel nahmen aber generell vom Kanal in die Schwechat ab, was zu erwarten war, da dieselbe Plastikmenge im Kanal einerseits durch eine viel geringere Querschnittsfläche transportiert wird, die von dem verwendeten Netz besser abgedeckt werden konnte als das in der Schwechat möglich war. Die beobachtete, unterschiedliche Abnahme der Driftdichten bei den verschiedenen Plastikfraktionen mag darauf beruhen, dass die Pellets (aufgrund des stärkeren Auftriebes) besser bzw. länger von

der angebrachten Schwimmbarriere zurückgehalten wurden oder sich aufgrund immanenter Materialeigenschaften im strömenden Medium anders verteilen als die Schnitzel und so häufiger den ufernah gesetzten Netzen in der Schwechat entgingen. Vom Standort Schwechat zu jenem am rechten Donauufer nahm die Driftdichte der Schnitzel dann aber stärker ab als jene der Pellets, was darauf hindeuten könnte, dass es bei den teilweise im Wasser sinkenden Schnitzel auf der langen Fließstrecke vermehrt zu Retention an der Gewässersohle kommt.

Am 15. Juni war die mittlere Driftdichte der Schnitzel in der Schwechat (503 Partikel.  $100 \text{ m}^{-3}$ ) höher als im Kanal (503 Partikel.  $100 \text{ m}^{-3}$ ). Selbiges galt für das Granulat am 15. Juni sowie am 6. Juli. Dieser Umstand ist damit zu erklären, dass die Driftspitzen der Partikeln in einem Zeitfenster auftraten, wo das Netz im Kanal schon eingeholt, jene in der Schwechat sich aber noch im Wasser befanden. Die kurze Verstopfungszeit des Driftnetzes im Kanal im Vergleich zu den anderen Probenstellen in der Schwechat und in der Donau verhinderte eine gleiche Expositionsdauer aller Netze.

Das eingebrachte Plastikmaterial (Pellets, Schnitzel, Granulat) aus dem Kanal erreichte die ca. 3 km flussabgelegene Probenstelle am rechten Donauufer mit einer durchschnittlichen Verspätung von vier bis sechs Stunden. Es ist anzunehmen, dass die Transportgeschwindigkeit von den hydraulischen Parametern Durchfluss und Strömungsgeschwindigkeit der Schwechat und der Donau abhängt, und Wechselwirkungen zwischen Durchfluss und Geomorphologie (z. B. durch Rückstaueffekte in die Schwechat, Überschwemmungsflächen) eine entscheidende Rolle spielen.

Während des Störereignisses am 6. Juli äußerte sich der Plastikeintrag aus dem Kanal in signifikant höheren Driftdichten der Partikelkategorien Schnitzel, Pellets und Granulat an den Standorten Schwechat und DRD im Vergleich zu den beiden Referenzstellen DRU und DL. Der Nettoeintrag aus der Schwechat in die Donau belief sich an diesem Tag auf 0,5g.  $100 \text{ m}^{-3}$  Pellets, 1,5g.  $100 \text{ m}^{-3}$  Schnitzel und 3,7g.  $100 \text{ m}^{-3}$  Granulat. Bei „Routinebetrieb“ unterschied sich der Standort DRD nur durch die signifikant höheren Schnitzeldriftdichten von beiden Referenzstellen. Der Nettoeintrag an Schnitzel betrug hier 0,01g.  $100 \text{ m}^{-3}$ . Die mittleren Driftdichten für Pellets und Granulat waren an besagten Tagen flussauf der Schwechatmündung sogar höher als flussab derselbigen, weswegen eine Berechnung des Nettoeintrags nicht möglich ist. Wir nehmen an, dass dafür unter anderem die unterschiedliche Ufermorphologie der Donau ober-, und unterhalb der Schwechatmündung eine Rolle spielt. Während sich entlang des hart verbauten Blockwurfes flussauf kaum Rückhaltestrukturen und Retentionsräume befinden, stellen die flussab gelegenen Schotterbänke potentielle Sedimentationsflächen dar, wo sich die Plastikpartikel,

beobachteter Weise, in großen Mengen ablagern. Unser Befund, dass sämtliche Plastikfraktionen, die im Betriebskanal der Firma Borealis nachgewiesen wurden, auch flussaufwärts der Schwechatmündung in der Donau auftreten könnte darauf hindeuten, dass es zu einem sekundären Partikeleintrag durch Abnehmer der Firma Borealis stromaufwärts kommt bzw. andere Hersteller eines ähnlichen Produkts dieses ebenfalls in die Donau einbringen. Des Weiteren scheint für die kleineren Partikelfraktionen auch die Winderosion (vom Borealisgelände) als Eintragsquelle in Frage zu kommen. Für eine genaue Klärung des Sachverhaltes müssten die Partikel einer chemischen Analyse unterzogen werden. Mit Ausnahme der Schnitzeldriftdichte bei „Normalbetrieb“ waren die Driftdichten aller Plastikfraktionen an den Standorten DRU und DRD signifikant höher als am gegenüberliegenden Probepunkt DL, was (abgesehen vom Eintrag aus der Schwechat) mit hydromorphologischen Parametern der Donau zusammenhängen kann oder durch die Lage potentieller Emittenten bedingt ist. Aus der Literatur ist bekannt, dass sich passiv mitgeführtes Material am äußeren Ufer von Flussbiegungen konzentriert. Da sämtliche Probestellen an der Donau an einer lang gezogenen Linkskurve lokalisiert waren, müssten sich die transportierten Partikel dementsprechend und wie beobachtet am rechten Ufer sammeln (dann kann man aber nicht davon ausgehen, dass die Partikel vom linken Ufer nicht zum rechten gelangen, siehe oben).

Die Partikelfracht im Werkskanal korrelierte an keinem Probetermin mit dem Durchfluss. Zwar ging der erste Massenausstoß an Plastik im Kanal um 11.40 Uhr des 6. Juli mit einer erhöhten Wasserführung einher, für die folgenden Driftspitzen um 18.00 Uhr und 23.00 Uhr war das aber nicht der Fall. Vielmehr wurde während der Eintragsmaxima sämtlicher Kategorien um 18.00 Uhr ein deutlicher Rückgang der Wasserführung im Kanal gemessen. Den Autoren ist nichts über die Funktionsweise bzw. Konstruktionsweise des Kanals oder der eingebauten Rückhalte und Filtersysteme bekannt, was eventuell Rückschlüsse auf die beobachteten Muster erlauben würde.

Diese Studie belegt, dass die Firma Borealis Plastikpartikel mit unterschiedlicher Größe, Form und immanenter Materialeigenschaften in die Flüsse Schwechat und Donau einbringt. Unsere Messungen zeigten, dass der Eintrag in Form kurzfristig auftretender Spitzen erfolgt. An einem von insgesamt 5 über jeweils 24 Stunden dauernden Probeterminen betrug der Eintrag ein Vielfaches (Pellets Faktor 267x; Schnitzel Faktor 11x; Granulat Faktor 159x) der anderen 4 Probestage. Insgesamt besteht aufgrund der festgestellten Einleitung eine unmittelbare und permanente Störung des Ökosystems und dessen Organismen. Die Auswirkungen der Einträge auf das Ökosystem (z.B. Um- und Abbau der eingebrachten

Stoffe, Einbindung und Anreicherung im Nahrungsnetz) können im Rahmen dieser Studie nicht abgeschätzt werden, und bedürfen entsprechender weiterführender Untersuchungen und Analysen.

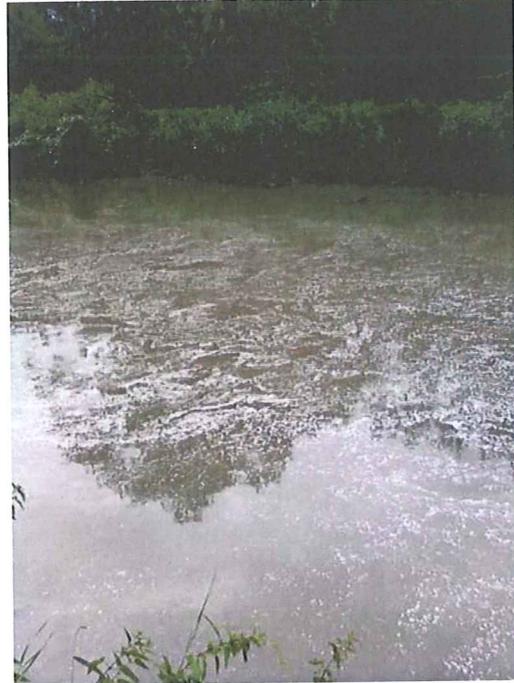


Abbildung 33. Partikelaustritt aus dem Kanal (links) und Weitertransport in der Schwechat (rechts). am 6. Juli 2010, Uhrzeit 12:00 Mittag.

## 5 Literatur

- Baird, R. W. & Hooker, S. K. (2000). Ingestion of plastic and unusual prey by a juvenile porpoise. *Mar. Pollut. Bull.* **40**, 719-720.
- Barnes, D. K. A., Galagni, F., Thompson, R. C. & Barlaz, M. (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Phil. Trans. R. Soc.* **364**, 1985-1998.
- Barnes, D. K. A. (2009). Invasions by marine life on plastic debris. *Nature* **416**, 808-809.
- Fry, D. M., Fefer, S. I. & Sileo, L. (1987). Ingestion of plastic by Laysan albatrosses and wedge-tailed shearwaters in the Hawaiian Islands. *Mar. Pollut. Bull.* **18**, 339-343.
- Gregory, M. R. (2009). Environmental implications of plastic debris in marine settings-entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions. *Phil. Trans. R. Soc.* **364**, 1985-1998.

- Hatzinger, P. B. & Alexander, M. (1997). Biodegradation of organic compounds sequestered in organic solids or in nanopores within silica crystals. *Environ. Toxicol. Chem.* **16**, 2215-2221.
- Jagnytsch, O., Opitz, R., Lutz, I. & Kloas, W. (2006). Effects of tetrabromobisphenol A on larval development and thyroid hormone regulated biomarkers of the amphibian *Xenopus laevis*. *Environ. Res.* **101**, 340-348.
- Laist, D. W. (1997). Impacts of marine debris: entanglement of marine life in debris including a comprehensive list of species with entanglement and ingestion records. In *Marine debris-sources, impacts and solutions*, pp. 99-140. Berlin: Springer.
- Mascarenhas, R. Santos, R. & Zeppelini, D. (2004). Plastic ingestion by a sea turtle in Paraiba, Brazil. *Mar. Pollut. Bull.* **49**, 354-355.
- Mato, Y., Isobe, T., Takada, H., Kanehiro, H., Ohtake, C. & Kaminuma, T. (2001). Plastic resin pellets as a transport medium for toxic chemicals in the marine environment. *Environ. Sci. Technol.* **35**, 318-324.
- Norman, A., Borjeson, H., David, F., Tienpont, B. & Norrgren, L. (2007). Studies of uptake, elimination, and late effects in Atlantic salmon (*Salmon salar*) dietary exposed to di-2 ethylhexyl phthalate (DEHP) during early life. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* **52**, 235-242.
- Ryan, P. G., Moore, C. J., van Franeker, J. A. & Moloney, C. L. (2009). Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment. *Phil. Trans. R. Soc.* **364**, 1999-2012.
- Santos, E. M., Paull, G. C., Van Look, K. J. W., Workman, V. L., Holt, W. V., Van Aerle, R., Kille, P. & Tyler, C. R. (2007). Gonadal transcriptome responses and physiological consequences of exposure to oestrogen in breeding zebra-fish (*Danio rerio*). *Aquat. Toxicol.* **83**, 134-142.
- Teuten, E. L., Rowland, S. J., Galloway, T. S. & Thompson, R. C. (2007). Potential for plastics to transport hydrophobic contaminants. *Environ. Sci. Technol.* **41**, 7759-7761.
- Thompson, R. C., Olson, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W. G., McGonigle, D. & Russel, A. E. (2004). Lost at sea: where is all the plastic? *Science*. **304**, 838.
- Williams, A. & Simmons, S. (1997). Estuarine litter at the estuarine beach interface in the Bristol Channel. *J. Coast. Res.* **13**, 1159-1165.

## 6 Anhang

Tabelle 10. Mittlere Driftdichten mit Standardabweichung für die unterschiedlichen Plastikfraktionen an den einzelnen Probetagen.

| Datum      | Stelle | Pellets             | Sonstiges        | Schnitzel          | Granulat         |
|------------|--------|---------------------|------------------|--------------------|------------------|
| 20.04.2010 | K      | 18.40 ± 22.09       | 0.0 ± 0.0        | 773.6 ± 1313.22    | 0.0 ± 0.0        |
|            | S      | 4.48 ± 9.04         | 0.28 ± 0.76      | 300.38 ± 832.98    | 0.0 ± 0.0        |
|            | DRD    | 1.94 ± 3.29         | 0.0 ± 0.0        | 0.0 ± 0.0          | 0.0 ± 0.0        |
|            | DRU    | 5.97 ± 14.11        | 1.09 ± 2.07      | 0.0 ± 0.0          | 0.0 ± 0.0        |
|            | DL     | 0.0 ± 0.0           | 0.0 ± 0.0        | 0.0 ± 0.0          | 0.0 ± 0.0        |
| 18.05.2010 | K      | 35.47 ± 107.92      | 0.0 ± 0.0        | 2054.46 ± 3561.84  | 0.0 ± 0.0        |
|            | S      | 2.84 ± 11.80        | 3.79 ± 9.43      | 546.11 ± 332.92    | 0.0 ± 0.0        |
|            | DRD    | 0.90 ± 1.27         | 16.21 ± 20.02    | 7.02 ± 13.27       | 0.0 ± 0.0        |
|            | DRU    | 4.69 ± 15.08        | 30.68 ± 63.75    | 0.0 ± 0.0          | 0.0 ± 0.0        |
|            | DL     | 0.0 ± 0.0           | 2.02 ± 1.51      | 0.0 ± 0.0          | 0.0 ± 0.0        |
| 15.06.2010 | K      | 27.71 ± 69.06       | 0.0 ± 0.0        | 433.27 ± 497.94    | 13.38 ± 32.69    |
|            | S      | 20.26 ± 62.43       | 436.43 ± 1544.41 | 503.68 ± 1844.90   | 24.18 ± 87.42    |
|            | DRD    | 7.08 ± 11.51        | 22.11 ± 17.98    | 5.57 ± 8.28        | 3.32 ± 5.91      |
|            | DRU    | 1.78 ± 3.79         | 26.65 ± 32.28    | 1.17 ± 2.58        | 4.38 ± 13.05     |
|            | DL     | 0.0 ± 0.0           | 108.56 ± 107.64  | 1.14 ± 4.14        | 0.0 ± 0.0        |
| 29.06.2010 | K      | 93.53 ± 114.01      | 0.0 ± 0.0        | 281.38 ± 280.36    | 10.4 ± 35.36     |
|            | S      | 0.88 ± 2.92         | 4.93 ± 13.02     | 127.39 ± 227.23    | 0.0 ± 0.0        |
|            | DRD    | 0.63 ± 1.55         | 8.03 ± 3.33      | 5.39 ± 3.27        | 0.0 ± 0.0        |
|            | DRU    | 0.47 ± 0.77         | 5.71 ± 3.84      | 0.05 ± 0.23        | 0.0 ± 0.0        |
|            | DL     | 0.0 ± 0.0           | 21.87 ± 55.08    | 0.10 ± 0.31        | 0.0 ± 0.0        |
| 06.07.2010 | K      | 11626.16 ± 15971.90 | 0.0 ± 0.0        | 9768.81 ± 11913.05 | 916.23 ± 2052.27 |
|            | S      | 349.80 ± 950.14     | 70.32 ± 132.65   | 2655.80 ± 7034.91  | 7876.09 ± 33857  |
|            | DRD    | 22.63 ± 44.11       | 20.01 ± 9.85     | 72.01 ± 87.85      | 842.35 ± 2849.27 |
|            | DRU    | 2.71 ± 3.71         | 31.48 ± 59.12    | 6.44 ± 11.99       | 0.0 ± 0.0        |
|            | DL     | 0.21 ± 0.69         | 22.11 ± 31.56    | 0.65 ± 2.14        | 0.0 ± 0.0        |

Tabelle 11. U-Test auf Unterschiede der Granulat- und Schnitzeldriftdichten an den einzelnen Probetagen.

| Schnitzel | 20. Apr                | 18. Mai                | 15. Jun                | 29. Jun                | 06. Jul |
|-----------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|---------|
| 20. Apr   |                        |                        |                        |                        |         |
| 18. Mai   | Z = -2.45<br>p < 0.05  |                        |                        |                        |         |
| 15. Jun   | Z = -0.67<br>p > 0.05  | Z = -3.70<br>p < 0.001 |                        |                        |         |
| 29. Jun   | Z = -0.49<br>p > 0.05  | Z = -4.39<br>p < 0.001 | Z = -0.53<br>p > 0.05  |                        |         |
| 06. Jul   | Z = -4.07<br>p < 0.001 | Z = -3.42<br>p < 0.001 | Z = -4.79<br>p < 0.001 | Z = -5.19<br>p < 0.001 |         |
| Granulat  | 20. Apr                | 18. Mai                | 15. Jun                | 29. Jun                | 06. Jul |
| 20. Apr   |                        |                        |                        |                        |         |
| 18. Mai   | Z = 0.00<br>p = 1.0    |                        |                        |                        |         |
| 15. Jun   | Z = -1.38<br>p > 0.05  | Z = -1.86<br>p > 0.05  |                        |                        |         |
| 29. Jun   | Z = -1.03<br>p > 0.05  | Z = -1.39<br>p > 0.05  | Z = -0.50<br>p > 0.05  |                        |         |
| 06. Jul   | Z = -3.46<br>p < 0.001 | Z = -4.46<br>p < 0.001 | Z = -3.74<br>p < 0.001 | Z = -4.17<br>p < 0.001 |         |





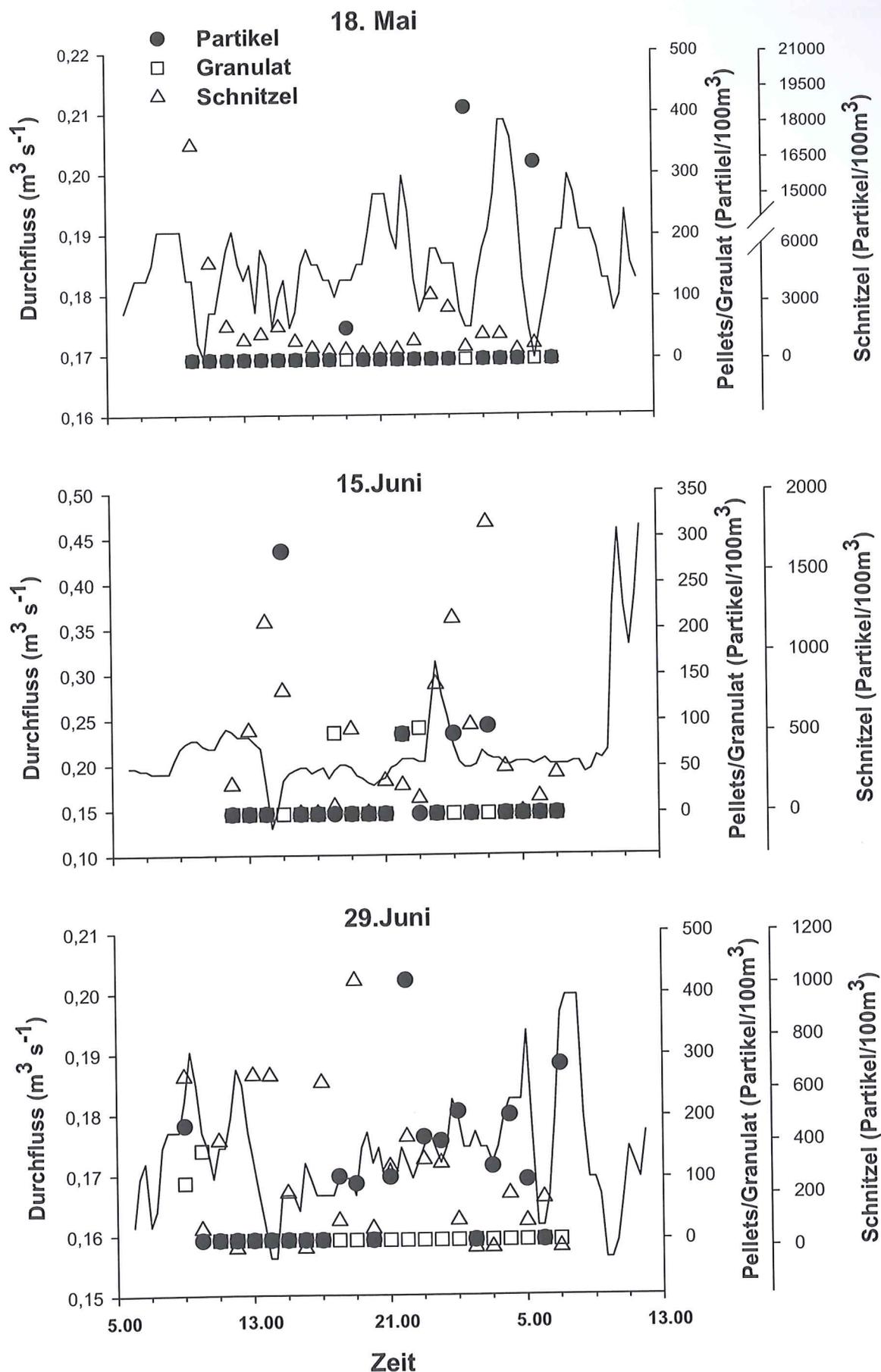


Abbildung 34. Zeitlicher Verlauf von Kanaldurchfluss und Driftdichten der Plastikfraktionen.

Tabelle 14. Rangtest nach Duncan auf Unterschiede der Driftdichten zwischen den einzelnen Standorten bei „Normalbetrieb“.

|                  | Standort | N  | 1               | 2               |
|------------------|----------|----|-----------------|-----------------|
| <b>Pellets</b>   | DL       | 80 | <b>0,000</b>    |                 |
|                  | DRU      | 82 |                 | <b>0,265</b>    |
|                  | DRD      | 83 |                 | <b>0,285</b>    |
|                  | Sig.     |    | 1,0             | 0,698           |
| <b>Schnitzel</b> | DL       | 80 | <b>3,48E-02</b> |                 |
|                  | DRU      | 82 | <b>5,32E-02</b> |                 |
|                  | DRD      | 83 |                 | <b>0,474</b>    |
|                  | Sig.     |    | 0,721           | 1,0             |
| <b>Granulat</b>  | DL       | 80 | <b>0,000</b>    |                 |
|                  | DRU      | 82 |                 | <b>9,48E-02</b> |
|                  | DRD      | 83 |                 | <b>0,117</b>    |
|                  | Sig.     |    | 1,0             | 0,532           |