

# Messungen und Ergebnisse zum Phosphoreintrag in den Mondsee/Irrsee und seine Zuflüsse

Abschlussbericht zum Interreg IIIa Projekt  
Nachhaltige Landwirtschaft in der euRegionalen Seenlandschaft



Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt  
Bundesamt für Wasserwirtschaft

Messzeitraum 2004 – 2005  
Bericht Dezember 2006

## Abschlussbericht zum Interreg IIIa-Projekt Seenlandwirtschaft

### Teil 2

### Messungen und Ergebnisse zum Phosphoreintrag in den Mondsee/Irrsee und seine Zuflüsse

Bearbeiterin: DI Dr. Barbara Staudinger

Anschrift: Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt  
Bundesamt für Wasserwirtschaft  
Pollnbergstr. 1  
A-3252 Petzenkirchen  
Tel.: +43-7416-52108-0  
[barbara.staudinger@baw.at](mailto:barbara.staudinger@baw.at)

SeenLandWirtschaft ist ein Gemeinschaftsprojekt folgender Partner: HBLFA Raumberg-Gumpenstein (Projektträger in Österreich) ■ Regierung von Oberbayern SG. Wasserwirtschaft (Projektträger in Bayern) ■ Amt für Landwirtschaft und Forsten Traunstein ■ Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft ■ Institut für Gewässerbiologie, Fischereibiologie und Seenkunde des Bundesamtes für Wasserwirtschaft ■ Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt des Bundesamtes für Wasserwirtschaft ■ Kammer für Land- und Forstwirtschaft Salzburg ■ Land Oberösterreich ■ Land Salzburg ■ Landwirtschaftskammer für Oberösterreich ■ Limnologische Station der Technischen Universität München ■ Oberösterreichische Wasserschutzberatung ■ Reinhaltungsverband Mondsee – Irrsee ■ Wasserwirtschaftsamt Traunstein ■ Zentrum für GeoInformatik, Universität Salzburg ■ in Zusammenarbeit mit der EuRegio Salzburg - Berchtesgadener Land - Traunstein und dem Verein zur Regionalentwicklung Mondseeland



gefördert von der Europäischen Union mit Mitteln aus dem Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung EFRE(INTERREG IIIA).

## Abschlussbericht zum Interreg IIIa-Projekt Seenlandwirtschaft

### Teil 2

#### Messungen und Ergebnisse zum Phosphoreintrag in den Mondsee/Irrsee und seine Zuflüsse

Bearbeiterin: DI Dr. Barbara Staudinger

Anschrift: Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt  
Bundesamt für Wasserwirtschaft  
Pollnbergstr. 1  
A-3252 Petzenkirchen  
Tel.: +43-7416-52108-0  
[barbara.staudinger@baw.at](mailto:barbara.staudinger@baw.at)

SeenLandWirtschaft ist ein Gemeinschaftsprojekt folgender Partner: HBLFA Raumberg-Gumpenstein (Projektträger in Österreich) ■ Regierung von Oberbayern SG. Wasserwirtschaft (Projektträger in Bayern) ■ Amt für Landwirtschaft und Forsten Traunstein ■ Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft ■ Institut für Gewässerbiologie, Fischereibiologie und Seenkunde des Bundesamtes für Wasserwirtschaft ■ Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt des Bundesamtes für Wasserwirtschaft ■ Kammer für Land- und Forstwirtschaft Salzburg ■ Land Oberösterreich ■ Land Salzburg ■ Landwirtschaftskammer für Oberösterreich ■ Limnologische Station der Technischen Universität München ■ Oberösterreichische Wasserschutzberatung ■ Reinhaltungsverband Mondsee – Irrsee ■ Wasserwirtschaftsamt Traunstein ■ Zentrum für GeoInformatik, Universität Salzburg ■ in Zusammenarbeit mit der EuRegio Salzburg - Berchtesgadener Land - Traunstein und dem Verein zur Regionalentwicklung Mondseeland



gefördert von der Europäischen Union mit Mitteln aus dem Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung EFRE(INTERREG IIIA).

## **INHALTSVERZEICHNIS: Bundesamt für Wasserwirtschaft**

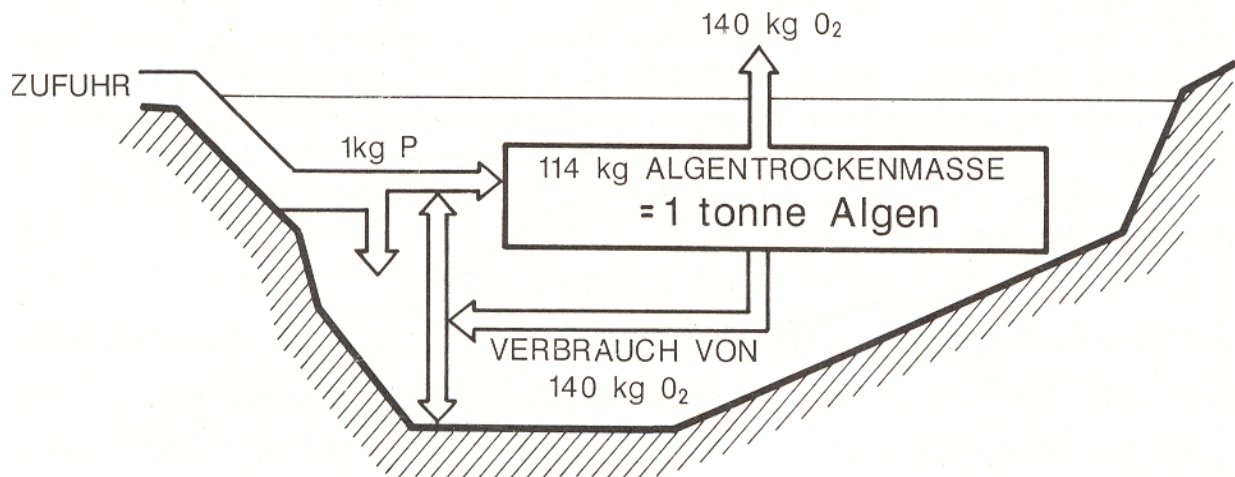
1	EINLEITUNG .....	1
2	BESCHREIBUNG DES UNTERSUCHUNGSGEBIETS .....	3
3	METHODIK.....	5
3.1	Messkampagnen .....	5
3.1.1	Allgemeines zu Datenerhebung und Beprobungsdesign.....	5
3.1.2	Messungen an Bachläufen im Einzugsgebiet.....	7
3.1.2.1	Abflussmessungen und Wasserproben an definierten Punkten.....	7
3.1.2.2	Messserien.....	8
3.1.3	Messungen bei Pegelmessstellen .....	8
3.1.3.1	Probensammler .....	9
3.1.4	Analytik.....	12
3.1.4.1	Phosphor.....	13
3.1.4.2	Schwebstoff.....	13
3.1.4.3	Chlorid.....	13
3.1.4.4	Leitfähigkeit .....	13
3.2	Datenauswertungen .....	13
3.2.1	Verdunstung - eine Komponente im Wasserkreislauf.....	13
3.2.2	Berechnung der kritischen Phosphor-Flächenbelastung für den See.....	14
3.2.3	Darstellung der Messergebnisse und statistische Datenanalyse.....	14
3.2.3.1	Messpunkte im Einzugsgebiet.....	14
3.2.3.2	Auswertung der Probensammlerdaten .....	15
3.2.3.3	Berechnung der Phosphorausträge.....	15
3.2.4	Räumliche Analyse im Geoinformationssystem (GIS).....	16
3.2.4.1	Datengrundlage .....	16
3.2.4.2	Teileinzugsgebiete der Messpunkte .....	17
4	ERGEBNISSE UND INTREPRETATION.....	18

4.1	Gewähltes Verdunstungsmodell.....	18
4.2	Kritische Phosphorflächenbelastung für den Mondsee.....	21
4.3	Auswertungen der Messungen an Punkten im Einzugsgebiet .....	24
4.3.1	Phosphorkonzentrationen und –frachten in Gewässern und Drainagen.....	24
4.3.2	Phosphorausträge aus Teileinzugsflächen.....	34
4.3.3	Phosphorausträge aus Teilflächen.....	36
4.4	Auswertung der Probensammlerdaten .....	42
4.4.1	Elektrische Leitfähigkeit und Chloridanteil im Wasser .....	44
4.4.2	Zusammenhang Abflusshöhen und Phosphorkonzentration .....	47
4.4.3	Phosphorbilanzierung und Monats- bzw. Jahresfrachten.....	55
4.4.4	Einfache Wasserbilanzierung des Einzugsgebiets .....	58
5	ZUSAMMENFASSUNG UND DISKUSSION .....	59
6	LITERATUR.....	61

## 1 EINLEITUNG

Im Zuge des Projektes „Nachhaltige Landwirtschaft in der euRegionalen Seenlandschaft-Pilotprojekt zur Sicherung und Verbesserung der ökonomischen und ökologischen Funktionsfähigkeit der Lebensgrundlage „Seenlandschaft“ im bayerisch-österreichischen Voralpenland durch umsetzungsorientierte Maßnahmen im Bereich nachhaltige Landwirtschaft und Gewässerentwicklung“ (im Folgenden kurz “ Nachhaltige Landwirtschaft in der euRegionalen Seenlandschaft” genannt) wurden Gewässeruntersuchungen seitens der beiden Institute, Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Petzenkirchen (IKT-BAW) und Institut für Gewässerökologie, Fischereibiologie und Seenkunde, Scharfling (IGF-BAW) des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, durchgeführt. Im Zeitraum von Mitte des Jahres 2004 bis Ende des Jahres 2005 fanden die Gewässeruntersuchungen und Analysen mit Schwerpunkt auf den Nährstoff Phosphor statt. Der Mondsee und der Irrsee wurden der genaueren Betrachtung unterzogen, weil eine Erhöhung des Phosphors im Freiwasser bei den laufenden Untersuchungen des IGF-BAW vor Projektbeginn beobachtet wurden. Der Focus dieses Projektes liegt auf der Immissionsbetrachtung der Stoffeinträge, speziell des Phosphors, in den Mondsee.

Warum ist die Phosphorfracht maßgebend für den See? Eine Nährstoffanreicherung im Wasser begünstigt die Eutrophierung der Gewässer. Durch die Besonderheit, dass im Wasser die Nährstoffe Stickstoff und Kohlenstoff ausreichend vorhanden sind, wird Phosphor zum Minimumfaktor und dadurch zum Kriterium für den Aufbau von Zellen (Abbildung 1). Die einfache Algenstöchiometrie gemäß der Gleichung nach Redfield (1958) besagt, dass das Verhältnis der Nährstoffe Kohlenstoff, Stickstoff und Phosphor für die Produktion von einer Tonne Algen C:N:P = 106:16:1, betragen muss.



**Abbildung 1: Entstehung von einer Tonne Algen (Quelle: Hubert Gassner, BAW Scharfling)**

Bei genügend gelöstem Phosphor im Wasser kommt es zur Massenentwicklung von Algen, geringeren Sichttiefen und Sauerstoffmangel in unteren Wasserschichten. Dies beeinflusst das ökologische Gleichgewicht. Der Lebensraum einzelner Fischarten und anderer Lebewesen wird eingeschränkt beziehungsweise komplett zerstört. Zusätzlich verliert der See optisch seine Schönheit und seine Anziehungskraft für Touristen. Wie der Nährstoffkreislauf für Phosphor in einem See aussieht, ist in Abbildung 2 dargestellt.

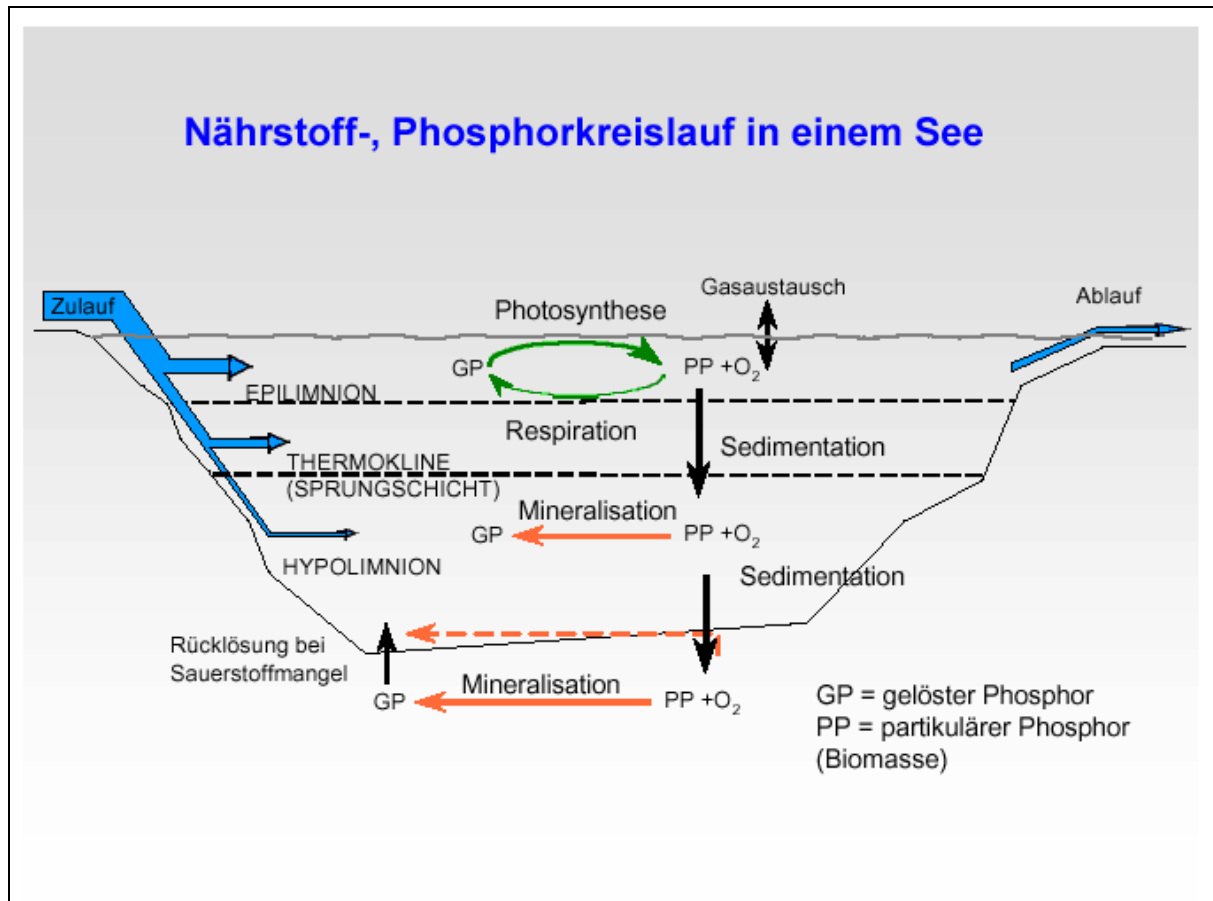


Abbildung 2: Phosphorkreislauf in einem stehenden Gewässer (Quelle: Hubert Gassner, BAW Scharfling)

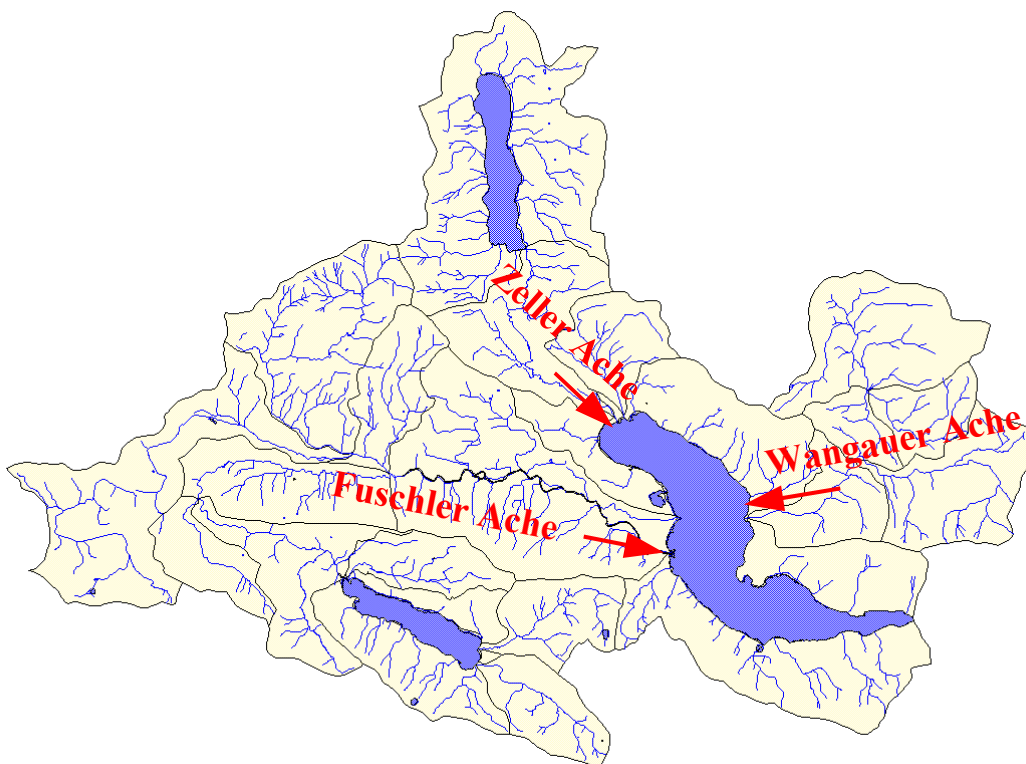
Da es keine bis wenig Information über Nährstofffrachten im Gewässernetz des Einzugsgebietes Mondsee gibt, wurden im Zuge dieses Projektes an Bächen und Flüssen Messungen durchgeführt. Diese Messdaten werden benötigt, um Nährstoffausträge und Nährstoffeinträge zu berechnen. Darüber hinaus dienen diese Messdaten als Basis für weiterführende Modellrechnungen, um Modellergebnisse zu überprüfen.

Da das Verhalten der Phosphorkonzentration bei der Schneeschmelze unbekannt ist, wurde eine Zeitreihe der Phosphorkonzentrationen und Abflusshöhen mit Hilfe von Probensammlern erstellt. Die Untersuchungen im Mondsee - Einzugsgebiet sollen Aufschluss geben darüber, wie sich ein Seeneinzugsgebiet und seine Teileinzugsgebiete im Jahresmittel verhält, um bei weiteren Einzugsgebieten auf diese Informationen zurückgreifen zu können.

## 2 BESCHREIBUNG DES UNTERSUCHUNGSGEBIETS

Im Einzugsbereich des Mondsees liegen der Zellersee (Irrsee) und der Fuschlsee, wobei das Einzugsgebiet des Fuschlsees nur als Input-Parameter über den Abfluss des Sees in die Betrachtung einbezogen wurde.

Das Einzugsgebiet Mondsee hat eine Ausdehnung von 246 km<sup>2</sup>, darin liegen 3 Seen, der Fuschlsee, der Zellersee (Irrsee), und der Mondsee selbst. Wie in Abbildung 3 zu sehen ist, hat der Mondsee drei große Zubringer, die Fuschlerache, die Zellerache und die Wangauer Ache. Südlich des Mondsees fallen steile Felsflanken aus dem kalkalpinen Einzugsbereich ab und führen geringe Wassermengen. In den von der Eiszeit geprägten Becken der Fuschlerache, Zellerache und Wangauerache ist das Wasservorkommen hoch und das Fließgewässernetz ist dicht. Aufgrund der Trockenlegungen von vernässten Flächen für die Bewirtschaftung sind in den Tallagen viele Entwässerungen errichtet worden. Die kleineren Zubringer rund um den See sind durch den geringen Anteil an der Gesamtwassermenge hydrologisch zu vernachlässigen. Will man Aussagen über Nährstoffeinträge treffen, so sind alle Bäche und Flüsse in die Betrachtung miteinzubeziehen.

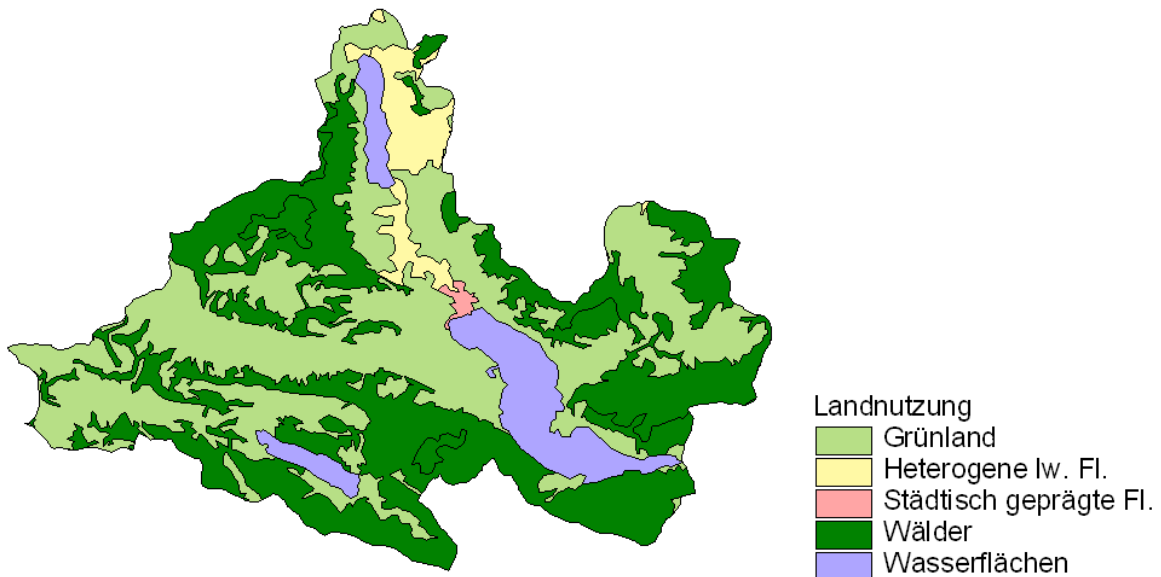


**Abbildung 3: Überblickskarte des Mondsee-Einzugsgebiets**

Der Großteil des Einzugsgebiets wird als Grünlandwirtschaft genutzt, der Rest teilt sich auf in Mischwald und wenig Siedlungsgebiete. Der Waldanteil liegt bei 40 Prozent, der Anteil an landwirtschaftlich genutzten Ackerflächen ist vernachlässigbar und betrifft nur einzelne Feldstücke. Alle westlich des Zellersees als heterogene landwirtschaftliche Nutzflächen klassifizierten Flächen wie sie in Abbildung 4 zu sehen sind, werden als Grünland genutzt.

Da alle Landwirte, die Milchwirtschaft betreiben, Förderungen für extensive Landwirtschaft in Anspruch nehmen, ist keine intensive Bewirtschaftung im gesamten Gebiet zu erwarten.





**Abbildung 4: CORINE Daten der Flächennutzung im Einzugsgebiet Mondsee**

Geologisch gesehen befindet sich das Einzugsgebiet am Rande des Einflusses der Eiszeitgletscher. Der Irrsee ist ein Grundmoränensee und wird im Norden von einer Endmoräne einer eiszeitlichen Gletscherzunge begrenzt. Der Mondsee liegt in einer tektonischen Störzone zweier geologischer Zonen Österreichs am Nordrand der Alpen. Im südlichen Teil liegen die nördlichen Kalkalpen, wo auch das Einzugsgebiet des Fuschlsees liegt, im nördlichen Teil, dem größeren Bereich des Einzugsgebietes, befindet sich die Flyschzone mit ihren sanften Hügeln, in die das Einzugsgebiet des Irrsees eingebettet ist. Aufgrund dessen finden sich Unterschiede in den chemischen Eigenschaften des Wassers der Zubringerbäche.

Gespeist werden die Bäche vor allem vom reichlich vorhandenen Niederschlag. Das Einzugsgebiet liegt im gemäßigten Klima Mitteleuropas mit dem Einfluss westlicher Strömungen vom Atlantik. Im Jahresmittel fallen 1600mm Niederschlag. Über das Jahr verteilt bewegen sich die Monatsmitteltemperaturen von  $-1^{\circ}\text{C}$  im Jänner bis  $20^{\circ}\text{C}$  im August. Durch die hohen Temperaturen im Sommer steigt die Gewitterneigung und im Winter ist Schneefall zu erwarten.

Der Boden im gesamten Einzugsgebiet ist nährstoffarm. Auf den eiszeitlichen Schottern in den Tallagen wird der Boden landwirtschaftlich genutzt. In weiten Bereichen gibt es das Problem der Vernässung auf Moränenlagen, da eine direkte Infiltration ins Grundwasser durch feinkörnige Böden erschwert ist. Für die Bewirtschaftung wurden Entwässerungsanlagen gebaut. In den Hanglagen wurde und wird der Wald forstwirtschaftlich genutzt, daher findet man hier großteils Waldböden vor.

### 3 METHODIK

Der Stofftransport in einen See ist eng mit dem Wasser als Transportmittel verbunden. Der Wasserkreislauf ist von sehr vielen Faktoren beeinflusst. Allem voran sind der Niederschlag und weitere klimatologische Parameter maßgebend, aber auch der Boden, die Hangneigung, die Exposition und der Bewuchs sollten nicht außer acht gelassen werden. Die Verdunstung, ein Faktor im Wasserkreislauf, wurde genauer betrachtet und es wurde aus vielen vorhandenen Modellen das für das Gebiet und die Datenlage beste ausgewählt. Für die hydrologische Beschreibung und den Phosphortransport im Einzugsgebiet wurden Messungen durchgeführt. Daraus abgeleitete Funktionen und Relationen ergeben ein Gesamtbild des mittleren Nährstoffeintrags in den Mondsee und ermöglichen eine Analyse der vorhandenen Unterschiede der Teileinzugsgebiete.

Um das jährliche Mittel des Phosphoreintrags in den Mondsee bestimmen und näherungsweise berechnen zu können wurden zwei Messkampagnen im gesamten Einzugsgebiet durchgeführt. Es wurde dabei darauf geachtet, Niedrigwasserperioden als Beprobungszeitraum zu wählen, um eine Vergleichbarkeit der Messpunkte entlang der Flussläufe zu gewährleisten. Um den Eintrag zweier großer Zubringer besser beschreiben zu können, wurden Probensammler bei der Pegelmessstelle installiert. Aus diesen Messergebnissen wurden der Phosphoreintrag in den See, bzw. der Phosphoraustrag aus der Fläche berechnet.

#### 3.1 Messkampagnen

##### 3.1.1 Allgemeines zu Datenerhebung und Beprobungsdesign

Zur Quantifizierung des Eintrags aus diffusen Nährstoffquellen in den See wurde versucht alle vorhandenen Informationen über Klimaparameter, Abfluss, und Nährstoffkonzentrationen zusammenzutragen. Aus früheren Untersuchungen vorhandene Datengrundlagen, zum Beispiel die Phosphorkonzentration im Freiwasser und Nährstofffrachten einzelner Zubringer, wurden herangezogen, um weitere notwendige Gewässeruntersuchungen zu definieren.

Klimatologische Kenngrößen:

- Lufttemperatur im Tagesmittel
- Niederschlag Tagessumme
- Weitere Klimadaten bei Stationen innerhalb und außerhalb des Einzugsgebietes vorhanden

Hydrologische Kenngrößen:

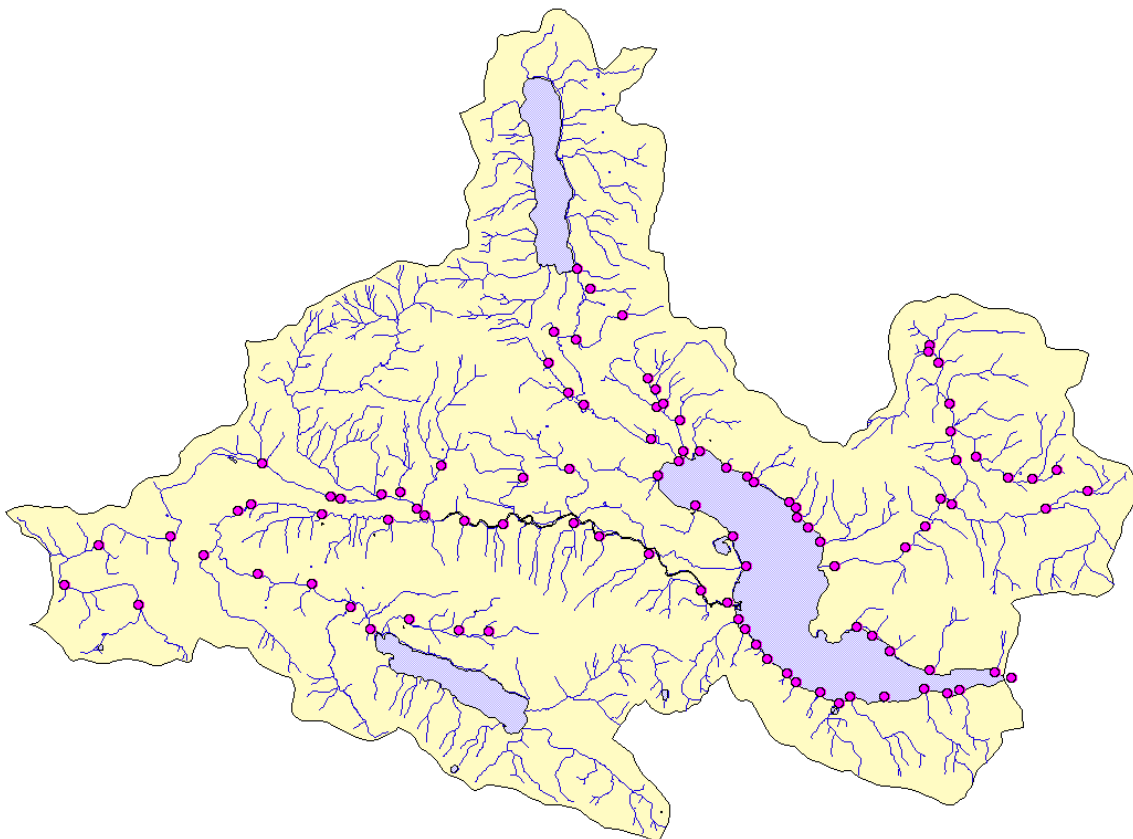
- Pegelmessungen an 2 Messstellen

Durchgeführte Gewässeruntersuchungen:

- Messpunkte an Bächen im Einzugsgebiet, Phosphorkonzentration in [mg/l] und Durchfluss in [m<sup>3</sup>/s]
- Zeitreihen am Fluss: Probensammler an der Zellerache und der Fuschlerache installiert

In der ersten Jahreshälfte 2004 wurde das Monitoring und Probenahmedesign für die flächenhafte Gewässernetzbeprobung festgelegt (Abbildung 5). Das gesamte Einzugsgebiet des Mondsees hat eine Ausdehnung von 246 km<sup>2</sup>. Teileinzugsgebiete mit hohem Waldanteil, wurden ausgeschieden, bzw. weniger dicht beprobt, weil auf diesen Flächen kaum Veränderungen im Jahresverlauf durch Schnitt und Düngung mit Phosphoranreicherung zu erwarten ist. Auf landwirtschaftlichen Flächen wird Dünger in Form von Stallmist, Gülle oder Kunstdünger ausgebracht. Auf diese Weise wird der Phosphorgehalt im Boden erhöht und es kann zu einer höheren Konzentration von Phosphor im Vorfluter kommen. Am See entlang wurde bei allen einmündenden Bächen der Abfluss gemessen und die Phosphorkonzentration bestimmt. Für das Einzugsgebiet des Mondsees wurde der Zellersee nicht genauer betrachtet, es wurde nur beim Ausfluss aus dem Zeller See der Abfluss gemessen. Beim Fuschlsee wurde gleich vorgegangen. Jeweils der Ausfluss des Sees wurde bei der Betrachtung des Mondsees wie eine große Quellschüttung betrachtet, ohne die Besonderheiten des dahinter liegenden Seeneinzugsgebietes genauer zu untersuchen.

Bei der Wahl des Zeitpunktes wurde darauf geachtet die Messserie in einer Trockenwetterperiode durchzuführen, da nur dann gewährleistet ist, dass annähernd gleiche Bedingungen herrschen. Je nach Lage der Messpunkte konnten 8 – 12 von einer Gruppe an einem Tag durchgeführt werden. Man muss innerhalb von 4 Stunden die Wasserprobe zur weiteren Aufbereitung bringen. Das erklärt, dass 3 Gruppen eine Trockenwetterperiode von mindestens vier Tagen brauchen, um die 98 Punkte beproben zu können.



**Abbildung 5: Lage der 98 Messpunkte**

Weiters wurde festgelegt, dass Wasserprobensammler für eine Zeitreihe, aus der die Phosphorfracht herausgelesen werden kann, nur dort installiert werden, wo Abflussmessungen

durchgeführt werden. Auf diese Weise kann man auf die gleichzeitige Wasserstandsmessung verzichten und die Stromversorgung des Gerätes ist für 24 Wasserproben gesichert.

Das Land Oberösterreich betreut im Einzugsgebiet drei Pegelmessstellen. Eine an der Zellerache, eine an der Fuschlerache und der dritte Pegel liegt an der Seeache, dem Abfluss des Mondsees. In Abbildung 6 sind die beiden Pegel dargestellt, bei denen ein Probensammler aufgestellt wurde, besonders um Informationen über das Verhalten der Phosphorkonzentration während der Schneeschmelze zu erhalten.



Abbildung 6: Lage der Pegel an denen Probensammler installiert wurden

### 3.1.2 Messungen an Bachläufen im Einzugsgebiet

Zur Ermittlung von Phosphorfrachten, die räumlich und funktionell unterschiedlicher hydrologischen Belastungspfaden zugerechnet werden können, wurden Messungen an Bachläufen bei räumlich definierten Punkten durchgeführt.

An den Messpunkten wurden Abflussmessungen durchgeführt und die Phosphorkonzentration bestimmt, um daraus die Frachten an den gewählten Punkten rechnen zu können.

#### 3.1.2.1 Abflussmessungen und Wasserproben an definierten Punkten

Die Abflussmessung bei kleineren Abflusshöhen bis 500 l/s wurde mittels Salzverdünnung durchgeführt, bei allen weiteren Messstellen mit größerer geschätzter Durchflussmenge wurde

eine Flügelmessung durchgeführt. Eine Ausnahme bildet die Messserie im Winter. Durch die teilweise Vereisung des Bachbettes ist eine Flügelmessung nicht mehr möglich, der Abfluss findet unterhalb der Eisdecke statt. Es wurde in diesem Fall im gesamten Einzugsgebiet, an Messpunkten wo die Messung möglich war, die Salzverdünnung angewandt.

Bei Verdünnungsmethoden wird dem fließenden Wasser an einer Impfstelle ein Markierungsstoff (Tracer) zugesetzt und dessen Verdünnung nach durchlaufen der Messstrecke im Messquerschnitt bestimmt. Unter der Voraussetzung einer völligen Durchmischung des Tracers (z.B. Kochsalz) mit dem fließenden Wasser ist die Verdünnung dem Durchfluss des Gewässers proportional, so dass aus der Verdünnungsmessung (z.B. Leitfähigkeitsmessung) der gesuchte Durchfluss berechnet werden kann.

Bei der Salzverdünnungsmessung benötigt man 1l Wasserprobe, für die chemische Analyse und die Herstellung der Eichbeziehung. Die Löslichkeit von Kochsalz liegt bei 2,6kg / 10l bei 20°C. Die für die Messung notwendige Kochsalzmenge ist abhängig vom Abfluss. Man braucht 0,5 bis 1kg Kochsalz /100 ls<sup>-1</sup>, dementsprechend wurde die benötigte Menge Markierungslösung aufgrund der geschätzten Abflussmenge hergestellt.

Die abfließende Wassermenge bei Drainagen bei Trockenwetter wurde mit Hilfe eines Messbechers mit der dazugehörigen Füllzeit bestimmt. Diese Messung wurde dreimal wiederholt und der Mittelwert des Abflusses pro Sekunde berechnet.

### **3.1.2.2 Messserien**

Es wurden zwei große Messserien durchgeführt. Jeweils wurde darauf geachtet, dass die Messungen in einer Trockenperiode durchgeführt werden. Trotz einer Dauer von vier Tagen Dauer sollten die klimatologischen Randbedingungen ähnlich sein.

Die erste Messserie wurde von 19. – 22. Juli 2004 durchgeführt. Sie stellt eine Beschreibung des Niedrig- bis Mittelwasserabflusses im Sommer dar. Die Messkampagne fand bei sommerlichem Hochdruckwetter statt, die Tagestemperaturen erreichten 30 Grad Celsius.

Die zweite Messserie wurde von 7. – 10 Februar 2005 durchgeführt. Mit Hilfe dieser Messserie sollte der Basisabfluss im Winter ermittelt werden. Temperaturen bis zu minus 17 Grad erschwerten die Kampagne, da viele Bäche vereist waren beziehungsweise der Temperaturfühler bei der Ermittlung der Wassertemperatur vereiste. Trotzdem konnte eine verwertbare Stichprobe erfasst werden.

Im Juli 2005 wurden zusätzlich Drainagewässer bei Trockenwetter beprobt, um einen Einblick zu bekommen, wie das Verhältnis dieser gemessenen Phosphorkonzentrationen zu den in den Vorflutern vorhandenen Konzentrationen ist.

### **3.1.3 Messungen bei Pegelmessstellen**

Zur Ermittlung von Phosphorfrachten, die räumlich und funktionell unterschiedlicher hydrologischen Belastungspfaden zugerechnet werden können, wurden neben den Messserien an zwei definierten Punkten Wasserprobensammler aufgestellt.

Die Probensammler haben zu definierten Zeitpunkten Wasserproben genommen. Die Phosphorkonzentration in der Probe wurde bestimmt und mit den aus den Pegeldaten berechneten Abflusshöhen konnte die Fracht errechnet werden.

### 3.1.3.1 Probensammler

Um Zeitreihen über die Phosphorfracht zu bekommen, wurden neben den beiden Pegelmessstellen an der Zellerache und an der Fuschlerache Probensammler aufgestellt. Anfänglich war ein drittes Gerät installiert. Der Probensammler mit dem sprechenden Namen „Steinerbach Nebengerinne“ ist am Punkt 48 der Messpunkte im Einzugsgebiet aufgebaut worden. Bei einem starken Hochwasser und wurde großer Zug auf das Gerät ausgeübt, aus Sicherheitsgründen wurde es wieder abgebaut.

Besonderes Augenmerk galt der Erhebung von Daten in der Periode der Schneeschmelze, daher wurde in diesem Zeitraum das Zeitintervall kürzer definiert, als bei laufendem Betrieb zur Aufzeichnung des Tagesgangs. Eine Wasserprobe wurde immer um 8:00 morgens laut Winterzeit genommen, die anderen Zeitintervalle variierten zwischen 3 und 8 Stunden über den gesamten Messzeitraum. Die Phosphorfracht konnte aus der analysierten Phosphorkonzentration zu einem bestimmten Zeitpunkt und der dazugehörigen Wassermenge ermittelt über die Pegeldaten errechnet werden.

In den Abbildungen, Abbildung 7 bis Abbildung 9, ist auf Fotografien zu sehen, wie der Probensammler nahe der Pegelmessstelle installiert wurde und wie die einzelnen Komponenten eines solchen Gerätes aussehen. Die Wartung erfolgte im Rhythmus des eingestellten Zeitintervalls, als alle 24 Flaschen gefüllt waren beziehungsweise wenn das Intervall verändert wurde. Es mussten die Batterien getauscht und wieder geladen werden, sowie leere Flaschen für die Befüllung in das Rondell gestellt werden. Bei einem Neustart beginnt die Befüllung zum vorgegebenen Zeitpunkt bei der Nummer eins, daher wurden die Flaschen nummeriert und entsprechend gereiht.





Abbildung 7: Probensammler an der Zellerache beim Messpegel



**Abbildung 8: Probensammler 1. Ebene, technische Ausrüstung: Display, 2 Batterien, Ansaugpumpe, diverse Elektronik**

In Abbildung 8 ist ein Teil der technischen Ausrüstung des verwendeten Probensammlers zu sehen. Das Display, 2 Akku-Batterien, die Ansaugpumpe, wenig elektronische Steuerung machen das System zu einem einfach zu wartenden Gerät, das auch wetterfest ist.

Solange das Wasser im Fluss nicht gefroren ist, kann eine Wasserprobe entnommen werden, da zuerst das Restwasser auch mit kleinen Eislinsen aus dem Ansaugschlauch ausgeblasen wird und erst dann Wasser angesaugt wird. Im Winterbetrieb gefriert das Wasser in den Abfüllflaschen, was aber bei der Analyse des Nährstoffes Phosphor keinerlei Auswirkungen hat.

Die Probenahme wurde so eingestellt, dass zum gewählten Zeitpunkt eine Wasserprobe entnommen wird und ein Schwenkhebel je eine Flasche befüllt, die sortiert im Rondell in Abbildung 9 zu sehen sind. Diese Methode gewährleistet, dass es keine Mischprobe gibt und der Zeitpunkt der Entnahme klar definiert ist.





Abbildung 9: Probensammler 2. Ebene, 24 Abfüllflaschen im Rondell

### 3.1.4 Analytik

Bei den Wasserproben an den Messpunkten wurde die Konzentration des Gesamtphosphors (Pt) und des filtrierte Phosphors (Pfiltr) bestimmt. Bei den Wasserproben der Probensammler war es aufgrund der längeren Stehzeiten nicht möglich filtrierte Phosphor zu bestimmen. Phosphor hat die Tendenz sich zu binden. Daher muss die Wasserprobe innerhalb von 4 Stunden gefiltert werden. Bei Wasserproben aus der Hochwasserwelle wurde zusätzlich der Chloridgehalt und die Leitfähigkeit bestimmt, um einen möglichen Anstieg durch die Abschwemmung von Streusalz erkennen zu können. In Tabelle 1 sind die gemessenen Parameter zusammengestellt.

Tabelle 1: Überblick über analysierte Nährstoffkonzentrationen bei Wasserproben

Messung	Pt	Pfiltr	Chlorid	Leitfähigkeit
Messserien 2004 und 2005	x	x	-	
Probensammler	x	-	x	x
Drainagen	x	-	-	

#### **3.1.4.1 Phosphor**

Der Gesamtphosphor  $P_t$  wurde mittels Molybdat-Schwefelsäure und Ascorbinsäure als Reduktionsmittel als Phosphor-Molybdänblau-Komplex analytisch bestimmt, nachdem kondensierte und organische Phosphorverbindungen durch Druckaufschluss mit Kaliumperoxodisulfat in Orthophosphate überführt wurden. Die Methode folgt der Vorschrift von Vogler (MEYNS et al., 1965).

Der filtrierte Phosphor wurde nach der gleichen Methode bestimmt, allerdings wurde vorher die Wasserprobe nach Standard durch einen Filter mit 45µm Maschenweite filtriert. Das Ziel ist die Menge des gelösten Phosphors derselben Wasserprobe zu bekommen. Die Differenz aus Gesamtphosphor und filtriertem Phosphor entspricht dem partikulär gebundenen Phosphor in der Wasserprobe.

#### **3.1.4.2 Schwebstoff**

Die Schwebstoffbestimmung erfolgte gravimetrisch nach Filtration mit einem Membranfilter der Größe 0.45µm (DIN 38409, 1987).

#### **3.1.4.3 Chlorid**

Die Chloridbestimmung erfolgte titrimetrisch nach Mohr, beschrieben in der DIN 38405 Teil1.

#### **3.1.4.4 Leitfähigkeit**

Die analytische Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit, mit der die Summe der im Wasser enthaltenen Ionen erfasst werden, erfolgte nach der ÖNORM EN 27888.

### **3.2 Datenauswertungen**

#### **3.2.1 Verdunstung - eine Komponente im Wasserkreislauf**

Eine Komponente im Wasserkreislauf ist die Evapotranspiration. Für die Verbesserung beziehungsweise für eine neue Art der Vorgehensweise der räumlichen Verdunstungsberechnung wurden Rahmenbedingungen (STAUDINGER, 2006) festgelegt. Mit im Einzugsgebiet vorhandenen Messwerten wie Tagesmitteltemperatur und Tagesniederschlag und dem digitalen Geländehöhenmodell sollte es möglich sein, eine räumlich differenzierte Verdunstung zu berechnen. Es wurde ein Modell gewählt, welches diese vorgegebenen Kriterien erfüllt.

Vor allem sind Modelle mit Berechnungsformeln interessant, die Temperaturdaten direkt einfließen lassen. Die Lufttemperatur ist ein räumlich differenzierter Parameter und es liegen mehr als 10 Messstationen im Einzugsgebiet bzw. in der nahen Umgebung. Methoden, die sich rein auf die Strahlung beziehen, müssten im Raum mit einer Beschattungskarte verknüpft werden, was durch einzelne Messstationen außerhalb des Einzugsgebiets und eine andere Höhenlage derer, Unsicherheiten bei der räumlichen Verteilung der Strahlung ergibt. Die Standardmethode im Westen der USA, die Formel nach Jensen-Haise (BURMAN und POCHOP, 1994), beinhaltet den Faktor der Seehöhe. Es ist aber nicht möglich, mit einer Messstation nur unter Abänderung der Eingangsgröße  $z$  (Seehöhe) eine Verdunstungsverteilung im Raum zu rechnen. Laut Berechnung würde die Verdunstung mit der Seehöhe zunehmen, was sicher nicht der Fall ist. Für die Messstation selbst und deren

Höhenlage lässt sich die Verdunstung gut berechnen. Alle weiteren Berechnungsmethoden arbeiten nicht mit der Seehöhe.

Um die monatliche Verdunstung auf Basis der vorhandenen hydrographischen Messdaten rechnen zu können, wurde ein geeignetes Verdunstungsmodell gesucht. Es wurden unterschiedliche Modelle gewählt, die Verdunstung berechnet, und mit dem Mittelwert des Hydrologischen Atlas Österreichs verglichen. Zur Berechnung herangezogen wurden die oben erwähnte Formel nach Jensen-Haise, (BURMAN und POCHOP, 1994), das Verfahren nach TURC (1961) mit einer Ergänzung für negative Temperaturen (WENDLING und MÜLLER, 1984), das auf dem Dalton-Ansatz beruhende Verfahren nach HAUDE (1955) (siehe auch DIN 19685), die für Mitteleuropa modifizierte Blaney-Criddle Formel nach SCHRÖDTER (1985), die rein auf Dampfdruck basierte Methode nach Papadakis (LEGARDA und FORSYTHE, 1972), eine Modifikation des Turc-Verfahrens mit Integration der Makkink-Formel nach WENDLING et al. 1991, die Berechnung nach Thornthwaite (HEUVELDOP et al. , 1986), nach HAGREAVES (1975), und nach Penman (DOORENBOS, 1984).

Die berechnete potentielle Evapotranspiration nach Penman (DOORENBOS, 1984) mit vereinfachten Eingangsparametern wurde herangezogen, um die Modelle auf ihre Eignung zu überprüfen. Die Berechnung der Verdunstung mit dem Penman-Verfahren (PENMAN 1956) gilt in Mitteleuropa als Standard, fordert allerdings sehr viele Eingangsparameter und ist daher meist nicht anwendbar. Für den im Detail berechneten Vergleich wurden in diesem Fall Lysimeterstandorte herangezogen, wo alle benötigten Daten als Messwerte zur Verfügung stehen und das Klima dem im Einzugsgebiet des Mondsees ähnlich ist. Die räumliche Übertragbarkeit wurde überprüft.

### **3.2.2 Berechnung der kritischen Phosphor-Flächenbelastung für den See**

Mit dem Vollenweider-Modell (DOKULIL, HAMM und KOHL 2001) wurden die kritischen Phosphorausträge im Einzugsgebiet berechnet. Es wurde für den Irrsee und den Mondsee die kritische Phosphorkonzentration im See bei voller Durchmischung von  $10 \text{ mg/m}^3$  herangezogen. Für Werte, die über dem kritischen Schwellenwert liegen wurden die Flächenausträge für 25, 50, 100, und  $200 \text{ mg/m}^3$  Phosphorkonzentration im Seewasser berechnet und mit dieser Skalierung in den Karten (Abbildung 25 bis Abbildung 32) dargestellt.

### **3.2.3 Darstellung der Messergebnisse und statistische Datenanalyse**

#### **3.2.3.1 Messpunkte im Einzugsgebiet**

Da es eine Winterserie und eine Sommerserie gibt, wurde bei der Punktdarstellung die Klassifikation nach Quantilen gewählt. Dabei werden alle Messwerte über den Messbereich mengenmäßig gleich verteilt, das heißt, innerhalb einer Klasse ist die Anzahl der Messwerte gleich groß. Auf diese Weise können die Ergebnisse der beiden Messserien, obwohl sie unterschiedliche Größenordnung haben, verglichen werden, da sie in einem Verhältnis, wie sie sich der einzelne Messwert innerhalb dieser Messung verhält, dargestellt werden.

An den großen Flussläufen wurden mehrere Punkte entlang der Fließstrecke gemessen. Daher ist es möglich einen hydraulischen Längenschnitt darzustellen und die aufsummierte Wasserbilanz des betrachteten Gewässers bis zur Mündung in den See zu rechnen.

Aus den Messpunkten wurde eine Phosphorfracht für den Mondsee gerechnet. Auf diese Weise erhält man eine sehr genaue Aussage über Einträge in dem Beprobungszeitraum.

Bei den Drainagebeprobungen wurden die Messdaten dargestellt. Um mit dem Fluss, in dessen Einzugsgebiet die Probenahme stattgefunden hat, vergleichen zu können, wurde auch der Flächenaustrag für diese Messung auf die Einheit kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> hochgerechnet.

### 3.2.3.2 Auswertung der Probensammlerdaten

Über die gesammelten Wasserproben erhält man eine Phosphorkonzentration zum Entnahmezeitpunkt. Die Pegelmessstelle des Landes Oberösterreich hat die Abflusshöhen zur Verfügung gestellt. Daher ist es möglich, eine Ganglinie der Phosphorfracht im Zeitraum der Schneeschmelze und ein wenig darüber hinaus darzustellen. Zusätzlich wurden Ganglinien der Messwerte erstellt, da die Fracht nur ein Produkt der beiden Kenngrößen ist und daher das Verhalten der Phosphorkonzentration dargestellt als eine eigene Linie besser ersichtlich wird. Bei der Frachtberechnung ist die Wassermenge Hauptfaktor und verantwortlich für hohe und niedrige Frachten.

Aus den gewonnenen Daten wurde versucht, einen Zusammenhang zu erkennen und eine Regressionsanalyse des Verhältnisses Abfluss – Phosphorkonzentration durchgeführt. Es wurde dabei immer die Wassermenge der gemessenen Konzentration gegenübergestellt. In einer Annahme wurden alle Daten bei der Berechnung berücksichtigt, im anderen Fall wurde nur die Schneeschmelze, bzw. nur die Messungen unter „Normalbedingungen“ mit Niederschlagsereignissen gerechnet. Aus diesen einzelnen Regressionsanalysen wurde ein einfacher Zusammenhang entwickelt, um rein aus den Pegelmessungen die Monatsfracht, bzw. Jahresfracht für diesen Standort zu rechnen. Auf diese Weise können Jahre zurück, wo nur Abflussmessungen vorhanden sind, beschrieben werden und ein jährliches Mittel aus diesen Berechnungen abgeschätzt werden.

Aus den Abflusshöhen an den Pegelmessstellen zweier Zubringer und des Abflusses vom Mondsee wurde zusätzlich versucht, die Größenordnungen der zufließenden Wassermengen zu berechnen. Dies ist besonders ausschlaggebend bei der unterschiedlichen Betrachtungsweise des Nährstoffes. Entweder vergleicht man Konzentrationen, als eine Einheit pro Liter, oder man versucht Frachten zu berechnen und zu beschreiben, die stark von der zu diesem Zeitpunkt fließenden Wassermenge abhängig ist. Die zeitliche Verschiebung der gemessenen Abflusshöhen bei den Zuflüssen und im Abfluss aufgrund der Aufenthaltsdauer im Mondsee wurde berücksichtigt. Aus dem Ergebnis kann man die prozentuelle Aufteilung der zufließenden Wassermengen erkennen.

### 3.2.3.3 Berechnung der Phosphorausträge

Bilanzierung der Phosphorbelastung räumlich und funktionell verschiedener hydrologischer Belastungspfade im Einzugsgebiet Mondsee.

Der Phosphoraustrag wurde aus den gewonnenen Daten doppelt errechnet. Einmal wurden die Daten und Informationen der Probensammler herangezogen und daraus Monats- und Jahresbilanzen errechnet. Andererseits wurde die Daten und Erhebungen der Messserien im Winter und im Sommer zur Berechnung einer Phosphorfracht herangezogen, wobei man sich bewusst sein muss, dass die Aufnahme bei einer Niedrigwassersituation stattgefunden hat.

Zu diesem Zweck wurden Messwerte und Kenngrößen unterschiedlicher Datengrundlagen zu einer einheitlichen Darstellung mit gleichen Einheiten zusammengeführt. Es wurde eine neue



einheitliche Basis für die einzelnen Parameter erstellt, da eine Berechnung von Monatsdaten einfach ist, leicht wiederholbar und modifizierbar in Fixwerten. Da in einem Flusslauf immer gemessene Werte von allen Werten oberhalb beeinflusst sind, muss bei Berechnungen aus Punkten entlang eines Flusslaufes eine Schleife gerechnet werden. Das bedeutet, der errechneten Wert eines Punktes wurde in die Berechnung eines weiteren Ergebniswertes flussab miteinbezogen.

### **3.2.4 Räumliche Analyse im Geoinformationssystem (GIS)**

Die räumliche Analyse im GIS dient der Identifikation von kritischen Flächen und Prozessen des Phosphoreintrags im Einzugsgebiet Mondsee. Die Basis dazu bilden die Gewässeruntersuchungen aus den Jahren 2004 und 2005, das digitale Geländehöhenmodell, Landnutzungskarten und Bodenkarten.

#### **3.2.4.1 Datengrundlage**

Je nach Bedarf, welche Teilbereiche des gesamten Mondsee-einzugsgebiets genauer betrachtet werden sollten, wurden Basiskarten im Vektor- wie im Rasterformat erstellt, die auf der ursprünglichen Ausdehnung des gesamten Einzugsgebietes beruhen. In Anlehnung an das digitale Geländehöhenmodell wurden mit der gleichen Ausdehnung (Zeilen und Spalten – Matrix) Karten aus den Vektordatensätzen erstellt. Diese wurden je nach Anforderung der weiteren Map – Calculations und Overlay – Studien modifiziert. Für das Einzugsgebiet Mondsee liegen folgende Kartengrundlagen vor:

- Rasterkarte wobei die EZ-Fläche den Wert 1 hat und die Umgebung den Wert 0
- Rasterkarte wobei die EZ-Fläche den Wert 1 hat und die Umgebung den Wert No Data
- Rasterkarte wobei die EZ-Fläche den Wert 1 hat, die Umgebung und die Fläche der eingebetteten Seen den Wert No Data

Das digitale Geländehöhenmodell DHM wurde modifiziert für die Abgrenzung der Teileinzugsflächen zu den Messpunkten. Dadurch wurde es möglich, die Messungen der Gewässeruntersuchung auf die Fläche zu übertragen und kartographisch darzustellen.

- Vorhandenes DHM verwendet
- Vorhandenes DHM auf die EZ – Fläche reduziert
- Vorhandenes DHM auf EZ – Fläche ohne die Seeflächen reduziert, um eine Hangneigungskarte, bzw. Fließrichtungen ohne Fehlschlüsse bei den Seemündungen erstellen zu können (Werte sind No Data bzw. 0)
- DHM des Einzugsgebietes mit Seen (No Data oder 0) und das vorhandene Gewässernetz in den betroffenen Rasterzellen einen Meter tiefer gelegt für die plausible Fließrichtungsberechnung.
- DHM der einzelnen Gewässerstränge gerechnet.

Durch die Erstellung verschiedenster Basiskarten mit unterschiedlicher Ausrichtung war es möglich, die erhobenen Daten aus verschiedenen Blickwinkeln zu betrachten und zu interpretieren.

Fließwege, Fließzeiten, und andere räumliche Interpolationen wurden aus Kartengrundlagen gerechnet. Die errechneten digitalen Grundlagenkarten fließen in die Berechnungen der Phosphorausträge in Teilflächen und für die Teileinzugsflächen ein. Teilflächen, die bei einer Messerie nicht beprobt wurden, bekommen den Wert vom Oberlieger zugeteilt, um nicht weiße Flecken auf der Karte zu bekommen.

#### **3.2.4.2 Teileinzugsgebiete der Messpunkte**

Es werden die Einzugsgebiete des Zellersees und des Fuschlsees aus der Betrachtung ausgenommen, da sie über die Regulierung der Wehre anthropogen beeinflusste Parameter darstellen. Der Ausfluss der Fuschlerache und der Ausfluss der Zellerache bilden eine Außengrenze des Mondseeinzugsgebietes mit einem gewissen Startwert.

Die Messpunkte der Messerien haben zugehörige Teilflächen und Teileinzugsflächen. Wobei die Teilfläche immer nur den Gewässerabschnitt beschreibt, die Teileinzugsfläche aber das gesamte Einzugsgebiet zu diesem Punkt beinhaltet. Aus dem digitalen Geländehöhenmodell wurde mit der Funktion im GIS Einzugsgebiete zu berechnen, begonnen. Da aber teilweise eindeutig klar erkennbar war, dass der Punkt am Hauptstrang liegt, das Programm aber ein kleines „Minieinzugsgebiet“ rechnet, wurde nachgearbeitet. Die endgültigen Grenzen für die Teilflächen wurden somit mit Hilfe der vom Computer errechneten Daten mit weiterem Digitalisieren erstellt. Auf diese Weise konnte sichergestellt werden, dass die Summe der Teilflächen gleich der Größe des Mondsee Einzugsgebiets ist. Die automatische Berechnung macht Fehler, weil die Abgrenzung der Höhen im Raster nicht immer eindeutig ist, und definiert nach vorgegebenen Kriterien berechnet wird.

Zu diesen Teilflächen wurden jeweils die Flächenausträge über die Bilanzierung des Phosphorausstrags berechnet und so eine Karte erstellt. Die Darstellung erfolgte nach den Kriterien des nach Vollenweider (DOKULIL, HAMM und KOHL 2001) errechneten kritischen Flächenausstrags adaptiert auf die Niedrigwasserperiode. Vollenweider berechnet jährliche Mittel und liegt daher für die Darstellung der Einzelmessung wertemäßig zu hoch.

Über eine räumliche Analyse wurden aus dem digitalen Geländehöhenmodell die Teileinzugsflächen zu den gewählten Messpunkten an den Flussläufen abgegrenzt. Da die Akkumulationsrinnen oft nebeneinander liegen, das Höhenmodell aber nur eine gewisse Auflösung hat, ist es notwendig die rechnerisch ermittelten Gewässerscheiden zu kontrollieren und notfalls händisch zu korrigieren.

Die Berechnung der Phosphorausträge in  $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$  wurde mit Hilfe von Microsoft Access durchgeführt. Die Ergebnisse bezogen auf die Teilflächen beziehungsweise auf die Teileinzugsflächen. Diese wurden über eine Anbindung an die Geometrien ins GIS übertragen und anschließend als Karten dargestellt. Für die Skalierung und die Legende wurden die Ergebnisse der Vollenweiderberechnung über kritische Phosphoreinträge herangezogen. Auf diese Weise konnten die Messergebnisse der Abflussmessung und der analysierten Phosphorkonzentration an einem Messpunkt in die Fläche übertragen werden.

Um eine optisch interpretierbare Kartengestaltung zu haben, inwieweit die gemessene Phosphorkonzentration maßgebend ist für den errechneten Flächenaustrag wurde mit einer definierten anfallenden pro Quadratmeter (2mm) gerechnet. Auf diese Weise können die

gemessenen Phosphorkonzentrationen betrachtet werden, ohne auf die gemessenen Abflussmengen zurückzugreifen.

## 4 ERGEBNISSE UND INTREPRETATION

### 4.1 Gewähltes Verdunstungsmodell

Die Ergebnisse der Berechnung der potentiellen Evapotranspiration fallen sehr unterschiedlich aus. Die Formeln nach Haude, Papadakis, Hargreaves, Thornthwaite und Blaney-Criddle berechnen zu hohe Verdunstungswerte. Das Ergebnis reicht bis zur doppelten Jahresverdunstung, das würde im Wasserkreislauf bei der Berechnung nach Thornthwaite fast einen Verlust, eine negative Bilanz gegenüber dem Jahresniederschlag bedeuten. Da aus diesem Grund diese Formeln zur weiteren Überprüfung ausgeschlossen wurden, werden jene Ergebnisse genauer betrachtet, die ein nachvollziehbares Ergebnis geliefert haben. Die in Tabelle 2 angeführten Werte wurden jeweils aus den vorhandenen Eingangsparameter der Jahre 1996 bis 2005 errechnet.

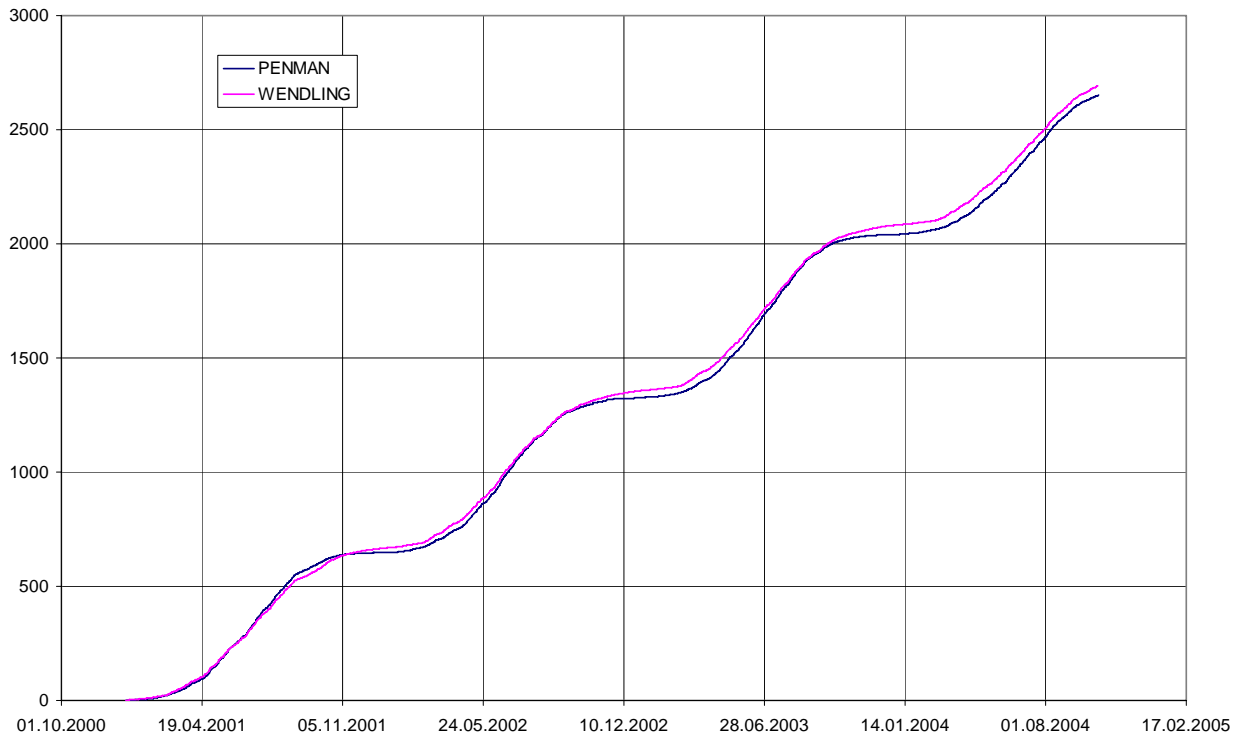
**Tabelle 2: Potentielle Evapotranspiration im Einzugsgebiet Mondsee (Monatsmittel, Jahresmittel)**

Verdunstungshöhen für den Standort Mondsee in mm			
Monat	Turc	Wendling	Schrödter
Jänner	10,0	15,5	-2,1
Februar	16,9	22,4	12,0
März	27,9	41,0	34,1
April	58,0	62,1	62,5
Mai	99,0	92,2	106,2
Juni	109,6	99,5	124,8
Juli	106,6	95,9	127,4
August	103,7	92,6	117,1
September	56,0	50,9	74,7
Oktober	33,5	32,1	47,2
November	15,1	17,2	16,3
Dezember	9,2	12,2	-0,6
Jahresmittel	646	634	719

Die gesuchte Formel zur Verdunstungsberechnung soll die Kriterien der Einfachheit durch eine geringe und meist vorhandene Anzahl von Eingangsparametern erfüllen. Weiters sollte mit Hilfe der gewählten Methode eine räumlich verteilte Verdunstung berechnet und dargestellt werden können. Die Integration in ein GIS und die Eingangsparameter als

Rasterkarten soll möglich sein. Durch diese Kriterien eingeschränkt fiel die Wahl auf das Modell nach Wendling (WENDLING et al. 1991).

Um genauer nachzuprüfen, ob dieses Modell realistische Werte liefert, wurden Daten von Lysimeterstandorten herangezogen. Die potentielle Evapotranspiration wurde nach Penman (DOORENBOS, 1984) und nach Wendling (WENDLING et al. 1991) für jeden Tag berechnet. Die Ergebnisse dieser Berechnungen wurden verglichen.



**Abbildung 10: Summenkurve der potentiellen Evapotranspiration**

Die aufsummierten Tagessummen der berechneten Verdunstung nach Penman und Wendling sind in Abbildung 10 dargestellt. Man kann gut erkennen, dass kaum Abweichungen vorhanden sind. Im Raum Mondsee ist es daher zulässig, die einfachere Formel nach Wendling zur Berechnung der potentiellen Evapotranspiration heranzuziehen.

$$ETP = \left( R_G \cdot (1,1 - \alpha) + 93 \right) \cdot \frac{T + 22}{150 \cdot (T + 123)}$$

RG Strahlung in  $J \cdot cm^{-2} \cdot d^{-1}$

T mittlere Tagestemperatur in  $^{\circ}C$

$\alpha$  Albedo in Prozent



Für das Einzugsgebiet Mondsee sollen Monatsmittel berechnet werden. Die Strahlung im Monatsmittel errechnet sich aus Messdaten der nächsten meteorologischen Station (siehe Tabelle 3) vorerst ohne eine räumliche Verteilung zu berücksichtigen.

**Tabelle 3: Parameter  $R_G$ , Strahlung der Station Freisaal in Salzburg**

Monat	Freisaal
Jänner	395
Februar	631
März	1002
April	1438
Mai	1841
Juni	1945
Juli	1790
August	1693
September	1141
Oktober	721
November	416
Dezember	300

Die Albedo Werte für unterschiedliche Oberflächen kann man der Literatur, DOORENBOS 1984, entnehmen und die räumlich verteilte mittlere Monatstemperatur muss aus den Messstationen im Gebiet errechnet werden.

**Tabelle 4: Gewählte Albedo - Werte für verschiedene Oberflächen im Jahresverlauf**

Albedo $\alpha$ in Prozent, angegeben als Faktor						
Monat	Wasseroberfläche	Schnee	Siedlung	Wiesen	Laubwald	Nadelwald
Jänner	0,16	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
Februar	0,12	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
März	0,09		0,20	0,25	0,20	0,07
April	0,07		0,20	0,25	0,20	0,07
Mai	0,07		0,20	0,25	0,20	0,07
Juni	0,06		0,20	0,25	0,20	0,07
Juli	0,07		0,20	0,25	0,20	0,07
August	0,07		0,20	0,25	0,20	0,07
September	0,08		0,20	0,25	0,20	0,07
Oktober	0,11		0,20	0,25	0,20	0,07
November	0,14		0,20	0,25	0,20	0,07
Dezember	0,16		0,20	0,25	0,20	0,07

Auf diese Weise kann relativ einfach im GIS eine räumlich differenzierte Verdunstung berechnet und dargestellt werden. In der Projektgruppe hat dies Hermann Klug (Zentrum für Geographisch Informationsverarbeitung Salzburg, ZGIS) übernommen, die Ergebnisse sind in seinem Endbericht nachzulesen und dargestellt.

## 4.2 Kritische Phosphorflächenbelastung für den Mondsee

Nach dem Vollenweider-Modell wurden die kritischen Phosphorasträge für die Fläche des Einzugsgebiets berechnet. Für die beiden oligotrophen Seen gilt eine P-Konzentration im Seewasser von  $10 \text{ mg/m}^3$  als Schwellenwert und Übergang zu mesotrophem Zustand. Das Ergebnis der maximalen Phosphorfracht für den Mondsee und Irrsee aufgrund der kritischen Phosphorkonzentration im See von  $10 \text{ mg/m}^3$  ist in

Tabelle 5 zusammengestellt.

**Tabelle 5: Tolerierbarer Phosphoreintrag in den Mondsee und Irrsee**

Art		Mondsee	Irrsee
Tolerierbarer P-Eintrag	t/a	12	1
Flächenausrag	kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	0,50	0,47

Vollenweider kennt mehrere kritische Schwellenwerte, unter anderem für die Klassifikation eutroph, mesotroph und oligotropher Zustand. Zusätzlich sind Flächenbelastungen lokal im Einzugsgebiet oft höher als die für den See tolerierbaren Werte. Aufgrund dessen wurden auch für höhere fiktive Phosphorkonzentrationen im See Schwellenwerte festgelegt, der dazugehörige kritische Flächenausrag gerechnet und dies in Tabelle 6 zusammengestellt. Bei der Darstellung der Flächenausträge kann dadurch ein Bezug zur möglichen Konzentration im Seewasser genommen werden. Der Schwellenwert zwischen mesotrophem und eutrophem Zustand liegt bei 20mg/m<sup>3</sup>.

**Tabelle 6: Kritischer Flächenausrag bei definierten Phosphorkonzentrationen im Seewasser**

Errechneter Flächenausrag in kg ha-1 a-1				
P-Konzentrationen im See in mg/m <sup>3</sup>	Mondsee	Irrsee	Gesamtes Einzugsgebiet	Werte für die Darstellung der Niedrigwasserbeprobungen
> 10	0,50	0,47	0,50	0,15
10 - 25	1,24	1,16	1,25	0,40
25 - 50	2,48	2,33	2,50	0,80
50 - 100	4,96	4,65	5,00	1,50
100 - 200	9,91	9,31	10,00	3,00

Die kritischen Werte für die Flächenausträge finden sich in den räumlichen Darstellungen der gemessenen und errechneten Parameter wieder. Aufgrund der geringen Unterschiede der beiden Einzugsgebiete wurde der errechnete Wert in Tabelle 6 auf 2 Kommastellen angegeben. Das Verfahren nach Vollenweider ist für die Betrachtung auf eine Kommastelle ausgelegt. In der weiteren Analyse der Ergebnisse werden die gerundeten Werte herangezogen.

### **4.3 Auswertungen der Messungen an Punkten im Einzugsgebiet**

In den folgenden Bearbeitungspunkten werden zuerst die gemessenen Werte dargestellt und dann daraus errechnete weitere Parameter, die maßgebend für die Nährstoffanreicherung im See sind.

#### **4.3.1 Phosphorkonzentrationen und –frachten in Gewässern und Drainagen**

Datenerhebungen im Bereich der Oberflächengewässer (Abflüsse, Phosphorkonzentrationen verschiedener Teilbereiche des Einzugsgebietes) und Drainageabwässer (Phosphorkonzentrationen) für die Abschätzung der Phosphorfrachten und Nährstoffpfade.

Die Phosphorkonzentrationen der Wasserproben, die bei den beiden Messserien gemessen wurden, sind in Abbildung 11 für Juli 2004 und Abbildung 12 für Februar 2005 dargestellt. Um die Werte in ihrer Qualität in der Karte vergleichen zu können, wie sich die Gewässer unterscheiden, wurde die Darstellung der Quantile gewählt. Daher sind die angegebenen Absolutwerte der Klassengrenzen unterschiedlich, aber die Werte einer Messserie im Verhältnis zueinander dargestellt.

Bei den Gewässern, wo sich hohe Konzentrationen im Juli 2004 finden, ist auch die Konzentration im Februar 2005 relativ zu den anderen gemessenen Werten hoch. Aufgrund dieser Analyse kann man Ursachenforschung betreiben und besonders diese Gewässerabschnitte genauer analysieren.

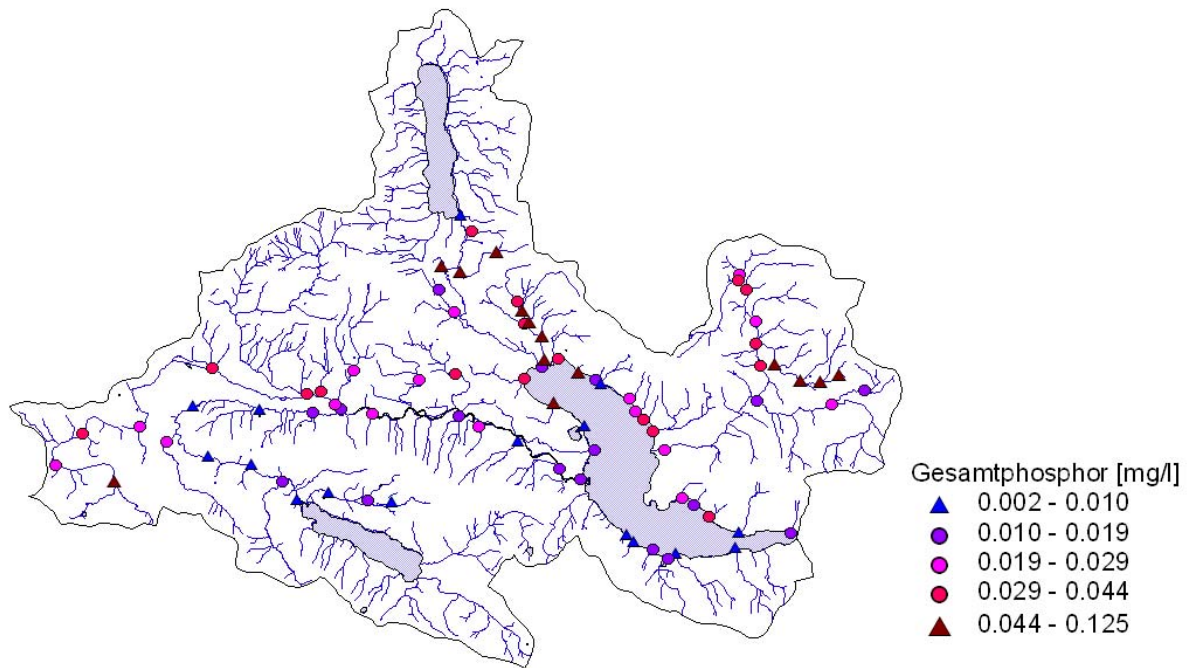


Abbildung 11: Phosphorkonzentration im Juli 2004 im Einzugsgebiet

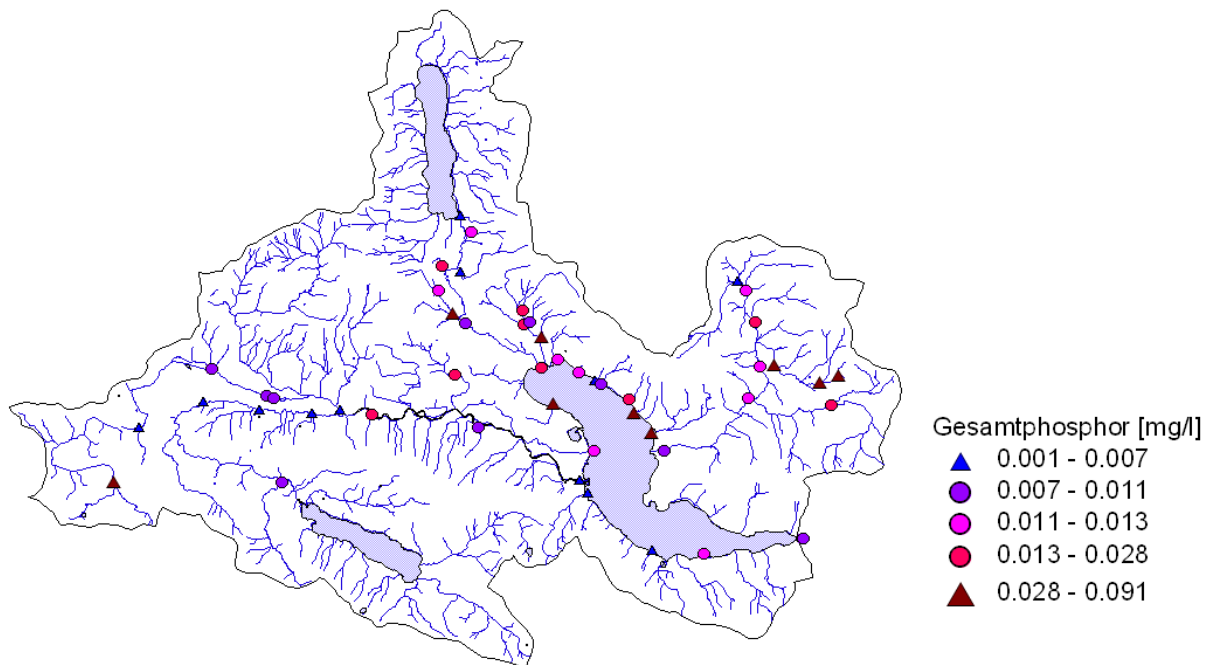


Abbildung 12: Phosphorkonzentration im Februar 2005 im Einzugsgebiet

Im Bereich der Wangauer Ache ist ein Zubringer immer höher belastet, bringt dieser auch große Wassermengen, so kann Handlungsbedarf bestehen. Im südwestlichen Bereich des Einzugsgebietes liegt der Zubringer zu Fuschlerache, der Plainfelder Bach. Auch dieser ist

höher belastet, besonders in der Nähe seines Ursprungs. In den Themenkarten (Abbildung 13 und Abbildung 14) sind die errechneten Phosphorfrachten dargestellt. Es sind Absolutzahlen, wie viel Nährstoff an diesem Punkt in einer definierten Zeit gemessen wurde.

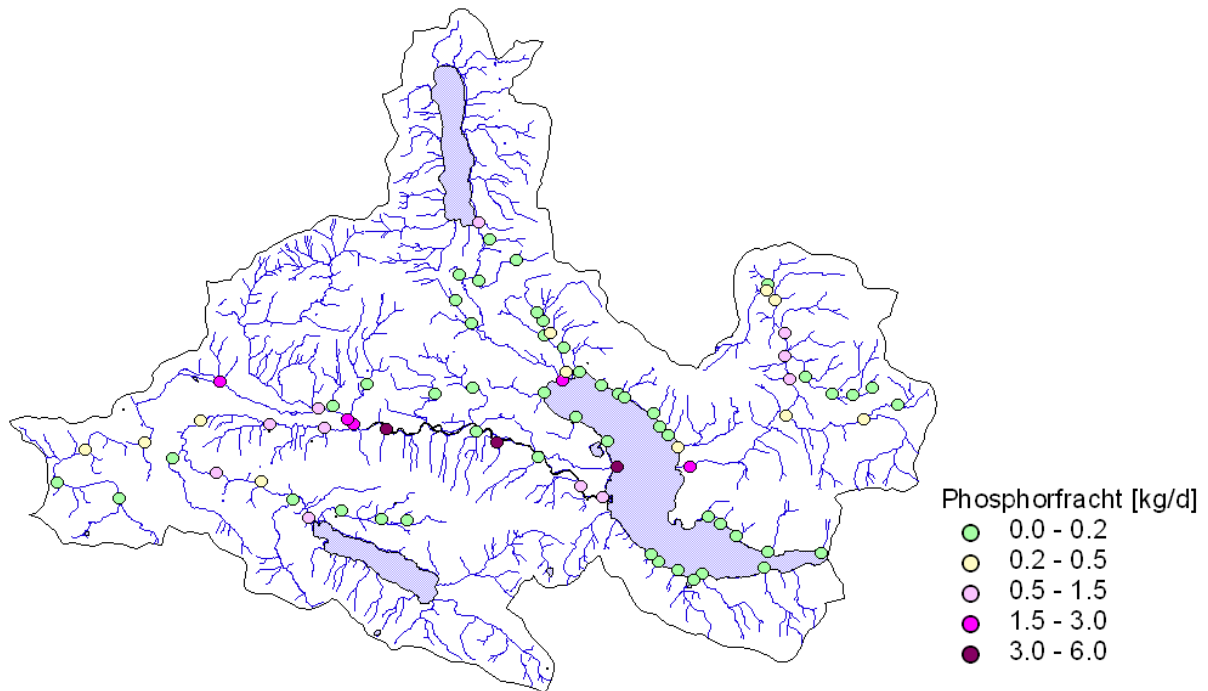


Abbildung 13: Berechnete Phosphorfracht der Messserie Juli 2004

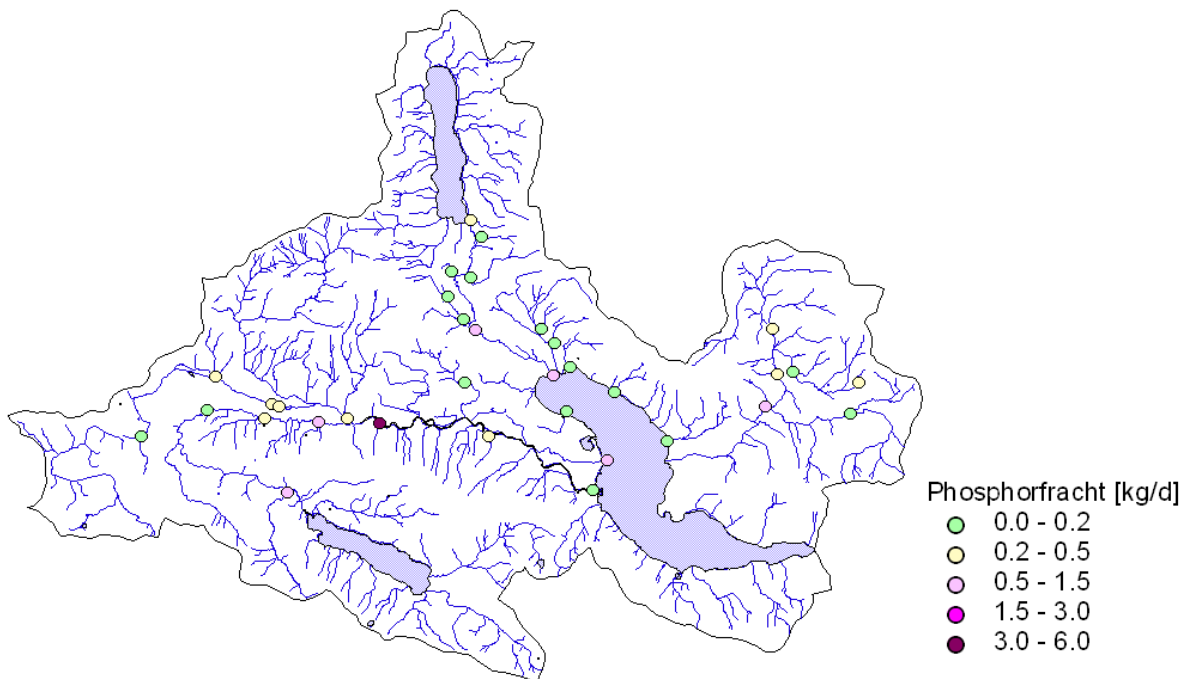
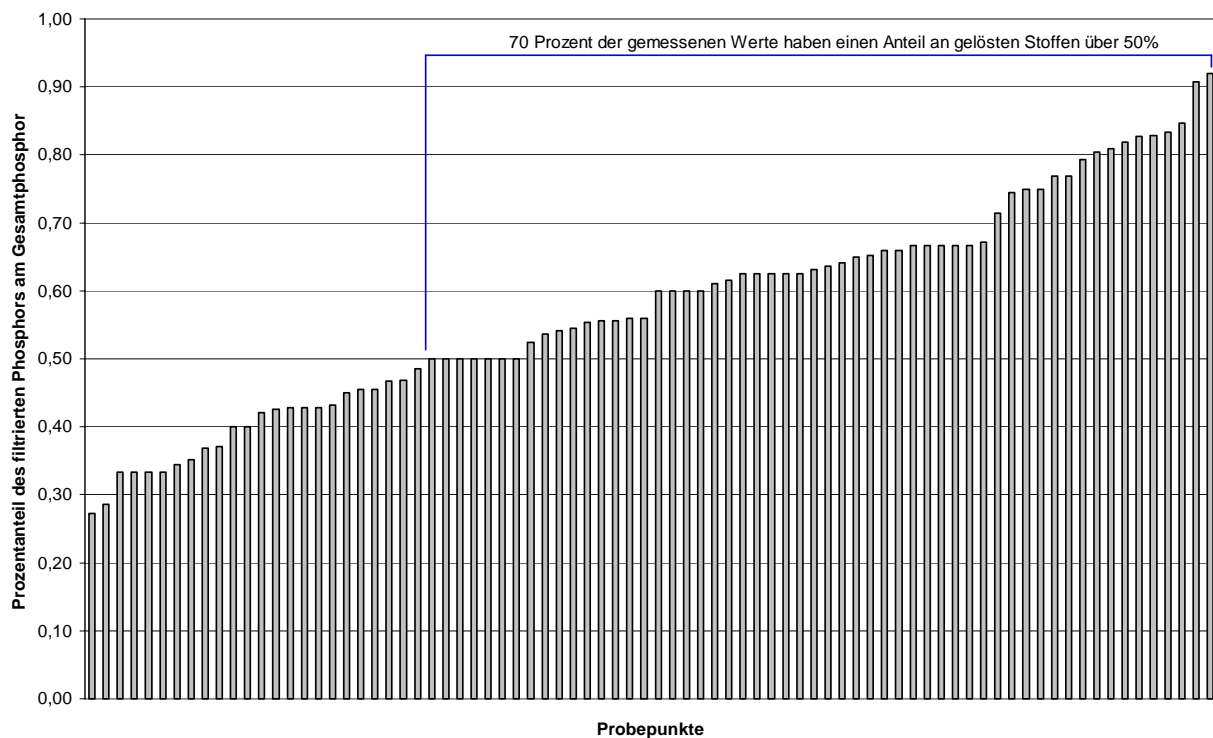


Abbildung 14: Berechnete Phosphorfracht der Messserie Februar 2005

Bei den Frachten sind nur jene maßgebend für den See, wo die Gewässer direkt in den Mondsee einmünden. Betrachtet man die Messergebnisse der Phosphorkonzentrationen im Vergleich zu den Phosphorfrachten, so ist klar zu beobachten, dass die Wassermenge eine große Rolle spielt. Die Mündungspunkte der Wangauerache, der Zellerache und der Fuschlerache weisen hohe Phosphorfrachten auf. Versucht man aus diesen Messergebnissen über das Einzugsgebiet verteilt den Phosphoreintrag im Jahresmittel hochzurechnen, so ergibt sich ein Wert bei 10 Tonnen pro Jahr.

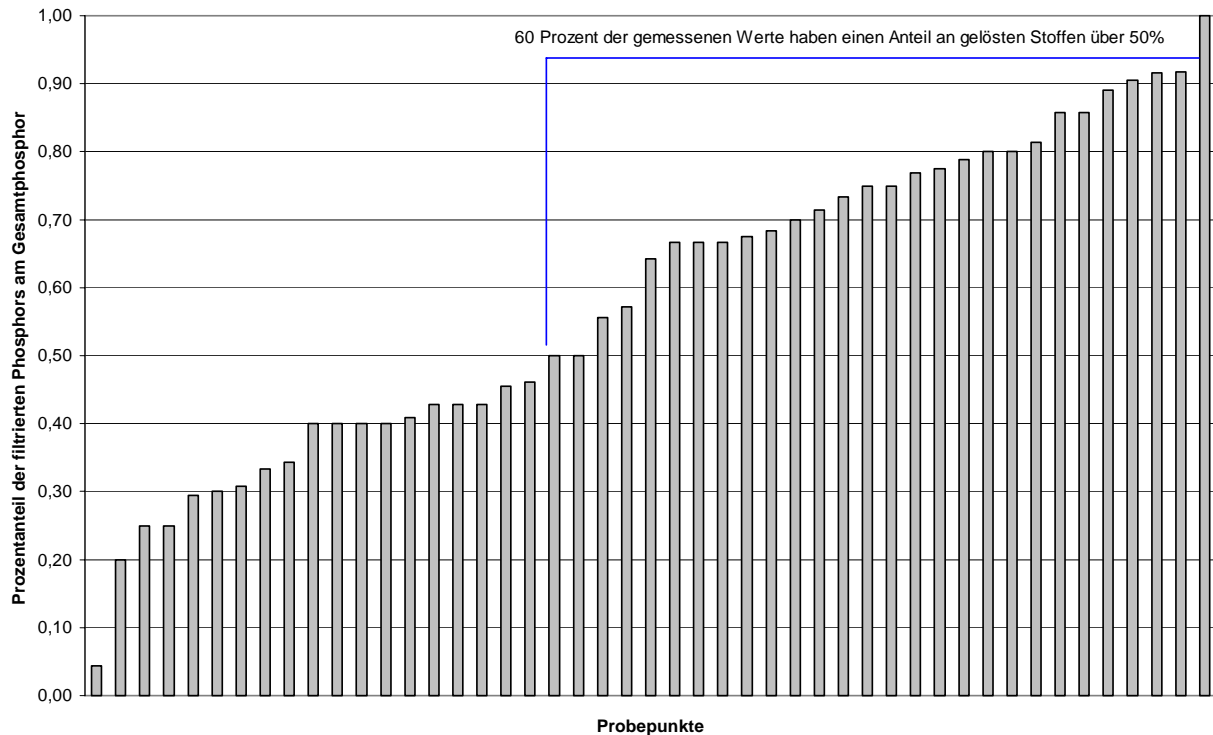
Für den See maßgebend sind vor allem die gelösten Stoffe, da sie schneller zur Verfügung stehen und chemisch reagieren. Phosphor aus Partikeln kann im aquatischen Mileau über Rücklösungsprozesse im sauerstoffarmen beziehungsweise überhaupt anaeroben Bereich mobilisiert und verfügbar gemacht werden. Dies findet teilweise, besonders aber in den Sommermonaten, statt. Um einen Eindruck zu bekommen, wie der Nährstoff Phosphor in den Gewässern vorzufinden ist, wurde bei jeder Wasserprobe nicht nur der Gesamtphosphor, sondern auch der filtrierte Phosphor bestimmt. Dieser entspricht näherungsweise jenem Anteil, der in gelöster Form vorhanden ist.



**Abbildung 15: Anteil des filtrierten Phosphors am Gesamtphosphor der Messserie im Juli 2004**

In Abbildung 15 und Abbildung 16 sind die Ergebnisse so dargestellt, dass jeweils der prozentuale Anteil an derselben Wasserprobe abgelesen werden kann. Optisch leichter lesbar gemacht wurde dieses Verhältnis durch die Reihung nach diesem Anteil. Ein großer Teil der Gewässer transportiert bei mittlerem Abfluss den Phosphor in gelöster Form. Besonders zu beachten ist, dass die großen Zubringer (Wangauer Ache 52%, 80%, Fuschlerache 67%, 75%, Zellerache 30%, 60%, Steinerbach 91%) einen sehr hohen Anteil bei beiden Messerien aufweisen. Dies bedeutet, dass ein Großteil der Phosphorfracht, die in den See mündet, einen direkten Phosphoreintrag in gelöster Form darstellt (siehe Kapitel 4.3.2).





**Abbildung 16: Anteil des filtrierten Phosphors am Gesamtphosphor der Messserie im Februar 2005**

Bei Niedrigwasser ist zu erwarten, dass kein Schwebstofftransport stattfindet und daher der Anteil an Partikeln in der Wasserprobe geringer ist. Die Analyse des filtrierten Phosphor arbeitet aber mit einer sehr engen Maschenweite und entspricht daher nahezu den rein gelösten Stoffen, kleine Salzkristalle werden gefiltert.

Bei den Messreihen durch die Probensammler war es nicht möglich, realistische Werte für filtrierten Phosphor zu bekommen, da es notwendig ist, spätestens nach vier Stunden die Filtration vorzunehmen, andernfalls geht der Phosphor stabilere Verbindungen ein und ist weniger in gelöster Form vorhanden. Daher gibt es hier keine weiteren Vergleichswerte.

Bei den folgenden drei Grafiken (Abbildung 17, Abbildung 18, Abbildung 19) ist für die gemessenen Phosphorkonzentrationen zu zwei Zeitpunkten der Längsverlauf in Fließrichtung für die drei Hauptzubringer zum Mondsee dargestellt.

Bei der Fuschlerache (Abbildung 17) ist ein Anstieg der Nährstoffkonzentration zu beobachten. Der Wert fällt dann wieder ab, aber zu keinem Zeitpunkt erreicht er den Ausgangswert. Im Gegensatz dazu findet sich ein Verdünnungseffekt bei der Zellerache (Abbildung 18) zu jeden Beprobungszeitpunkt. Die Fließstrecke der Zellerache ist kurz für die geführte Wassermenge. Der Zellersee hat das Wasser vorher gesammelt und ist ein großes Retentionsbecken und Wasserreservoir. Bei der Wangauer Ache ist gleich wie bei der Fuschlerache im Oberlauf ein Anstieg der Phosphorkonzentration zu beobachten. Im Mittellauf und Unterlauf findet allerdings eine Verdünnung statt, sodass die Nährstoffkonzentration bei der Mündung in den Mondsee viel geringer ist als bei den Messpunkten entlang der Ache mit größeren Zubringern.

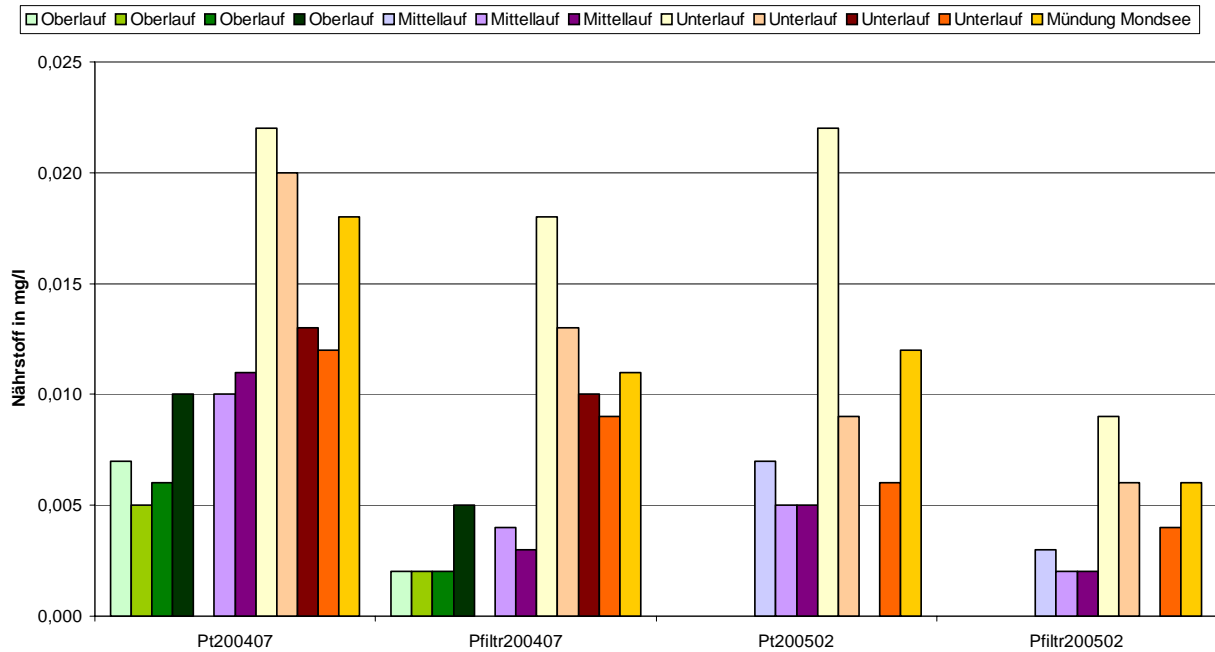


Abbildung 17: Phosphorkonzentrationen entlang der Fuschlerache bei den Messserien

Die beiden letzten Werte, in Abbildung 17 orange und grün dargestellt, entsprechen den beiden Einmündungen in den Mondsee, wobei der hier „Mündung Mondsee“ benannte Wert der Werkskanal ist. Der Messpunkt an dem natürlichen Gerinne der Fuschlerache wurde hier vorangestellt, weil die Wasserprobe an dieser Stelle einer Beprobung unmittelbar vor der Teilung entspricht.

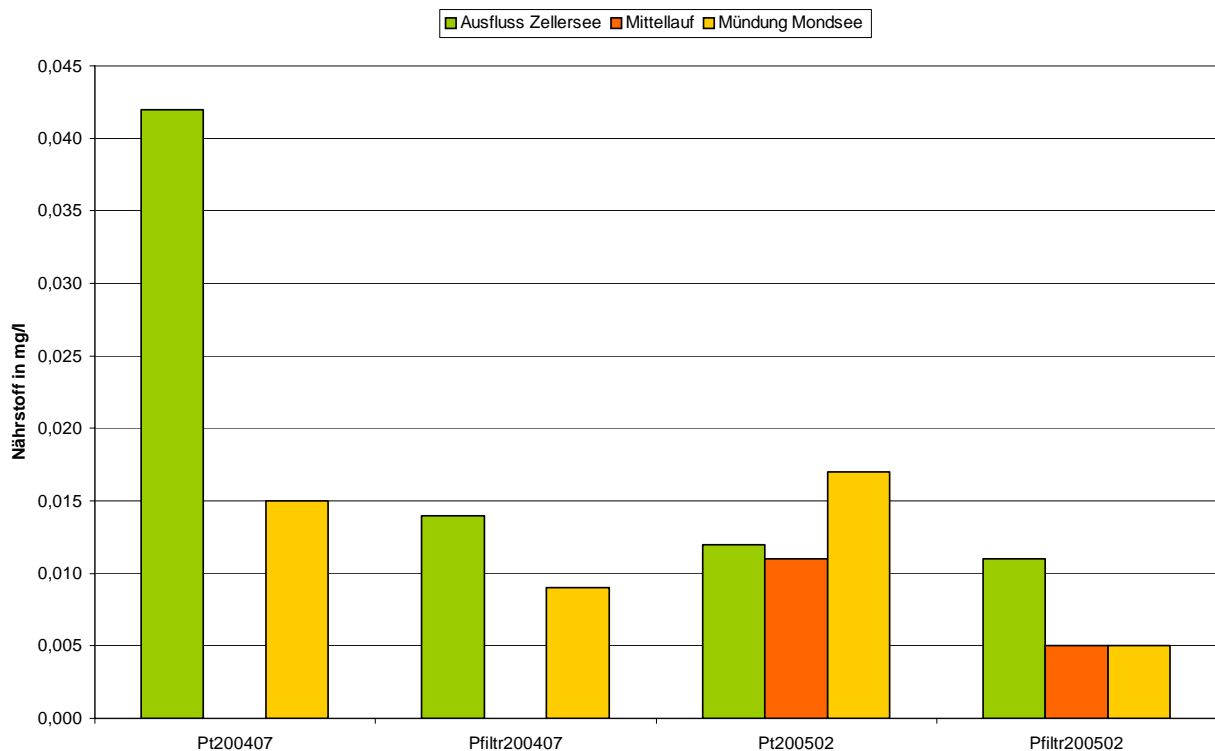
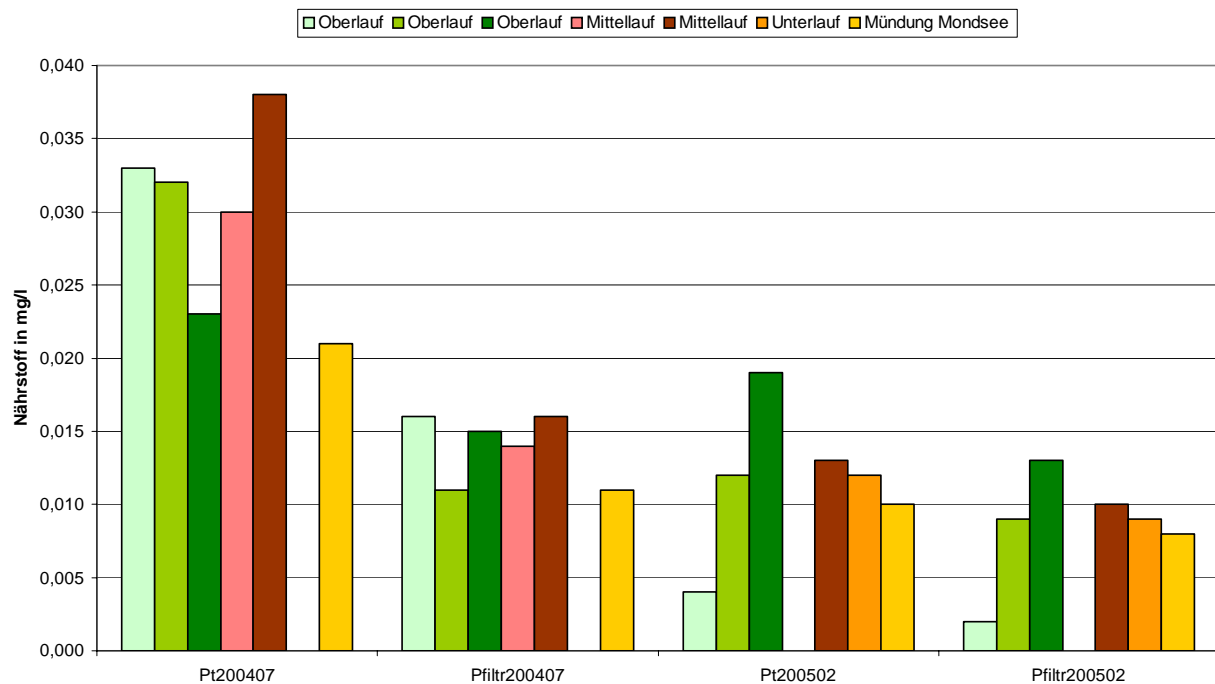


Abbildung 18: Phosphorkonzentrationen entlang der Zellerache bei den Messserien

Bei der Wangauer Ache in Abbildung 19 findet sich ein großer Unterschied der beiden Zeitpunkte. Im Juli wurde fast die doppelte Konzentration gemessen. Das bedeutet, dass die Basiskonzentration gering ist, aber Phosphor im Einzugsgebiet gut mobilisiert werden kann.



**Abbildung 19: Phosphorkonzentrationen entlang der Wangauer Ache bei den Messserien**

Vergleicht man die drei Hauptzubringer, so weist die Wangauer Ache die höchste Phosphorkonzentration auf, die Fuschlerache die niedrigste. Berechnet man die Phosphorfracht, so ergibt sich genau das umgekehrte Bild, weil die Fuschlerache mindestens die doppelte Wassermenge führt.

In den folgenden Grafiken (Abbildung 20, Abbildung 21 und Abbildung 22) sind die Messdaten entlang der Fließrichtung dargestellt. Man kann dadurch die Veränderung im Flusslauf erkennen und die Unterschiede zwischen den einzelnen Messserien. Generell beobachtet, entspricht die Niedrigwassersituation im Juli einem Basisabfluss mit wenig mobilisiertem zusätzlichem Phosphor. Im Winter unter der Eis- und Schneedecke findet reiner Basisabfluss statt. Bei der Zellerache in Abbildung 21 steigt die Phosphorkonzentration im Längsverlauf an.

Der Gesamtposphor einer Messserie ist immer dunkel in dieser Farbe dargestellt, der dazugehörige filtrierte Phosphor dieselbe Farbe, aber heller. Auf diese Weise wurde versucht die Lesbarkeit der Grafik zu unterstützen. Die Fuschlerache in Abbildung 20 hat eine ziemlich gleich bleibende Konzentration im Oberlauf und im Mittellauf. Im Unterlauf steigt die Phosphorkonzentration dann an. Beachtet man die Tatsache, dass für die Gesamtmenge Nährstoff, die transportiert wird die Wassermenge ein maßgebender Faktor ist, so ist diese Analyse entlang des Flusslaufes aufschlussreich. Die Phosphorfracht ist um das mehrfache höher, wenn im Unterlauf die Konzentration auf das Doppelte ansteigt.

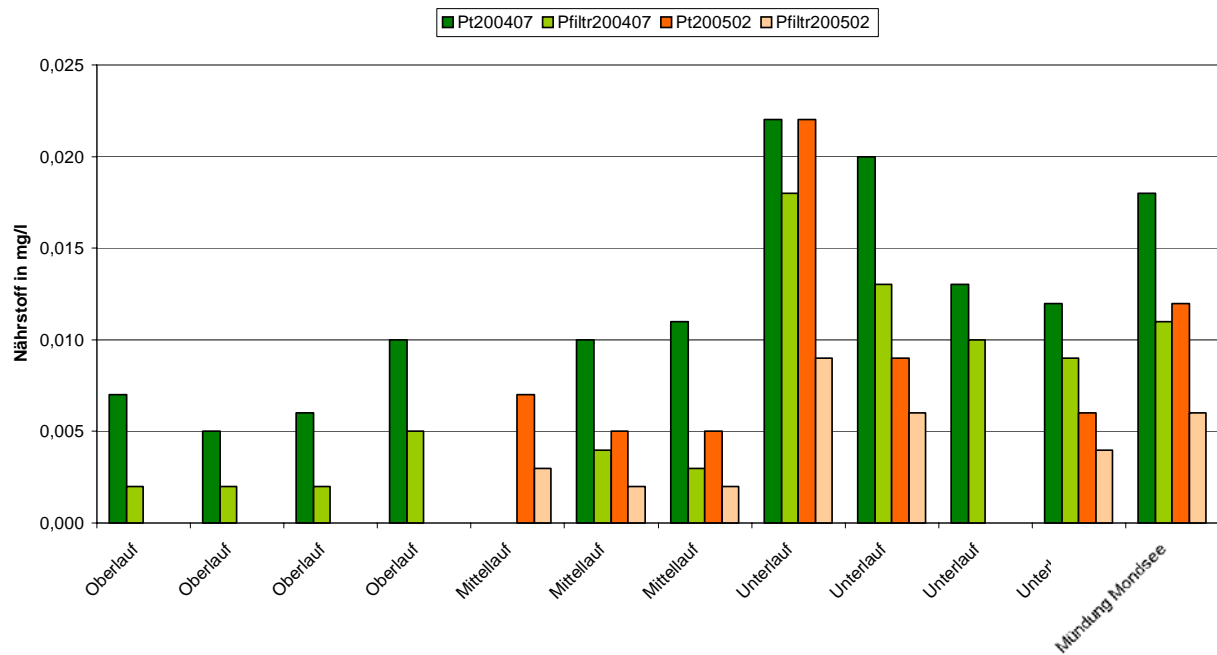


Abbildung 20: Längenschnitt der Fuschlerache der Probepunkte bei den Messserien

Bei der Zellerache gibt es wenig Auskunft über den Längsverlauf. Es gibt wenige kleine Zubringer, die einzeln beprobt wurden, Wasserproben entlang der Zellerache wurden nur zum Zeitpunkt der Messserien gezogen. Interessant zu beobachten ist, dass beim Ausfluss des Zellersees eine höhere Konzentration gemessen wurde.

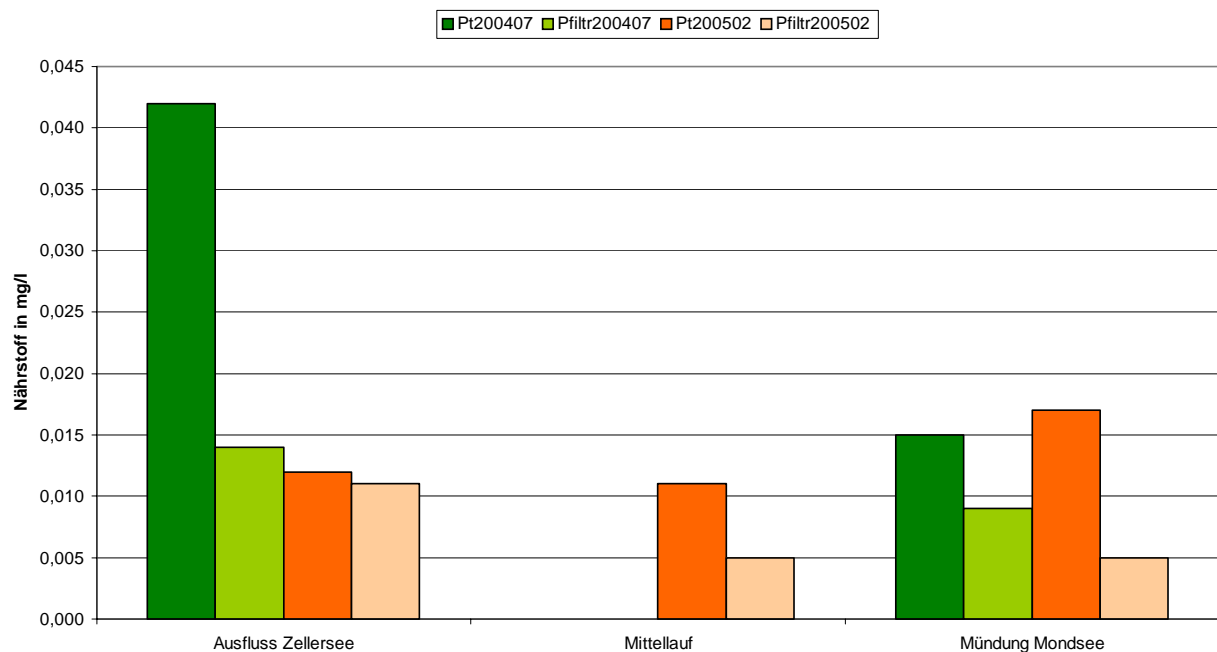
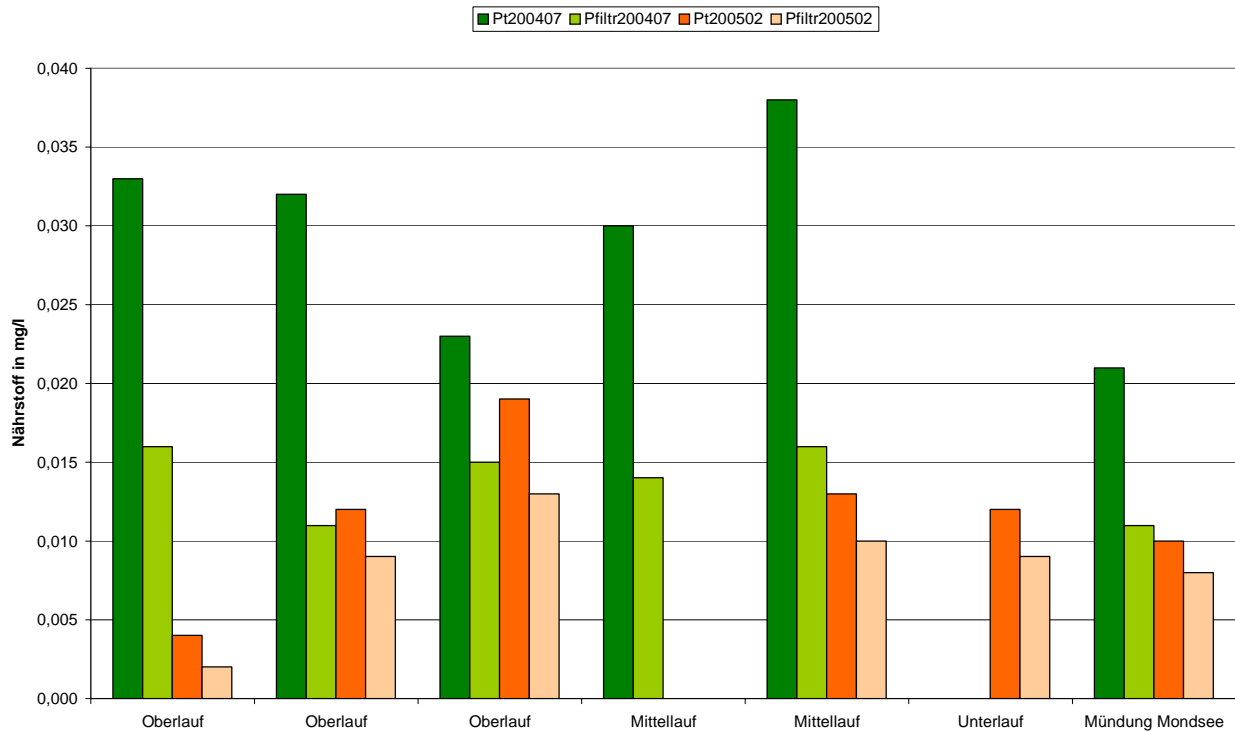


Abbildung 21: Längenschnitt der Zellerache der Probepunkte bei den Messserien



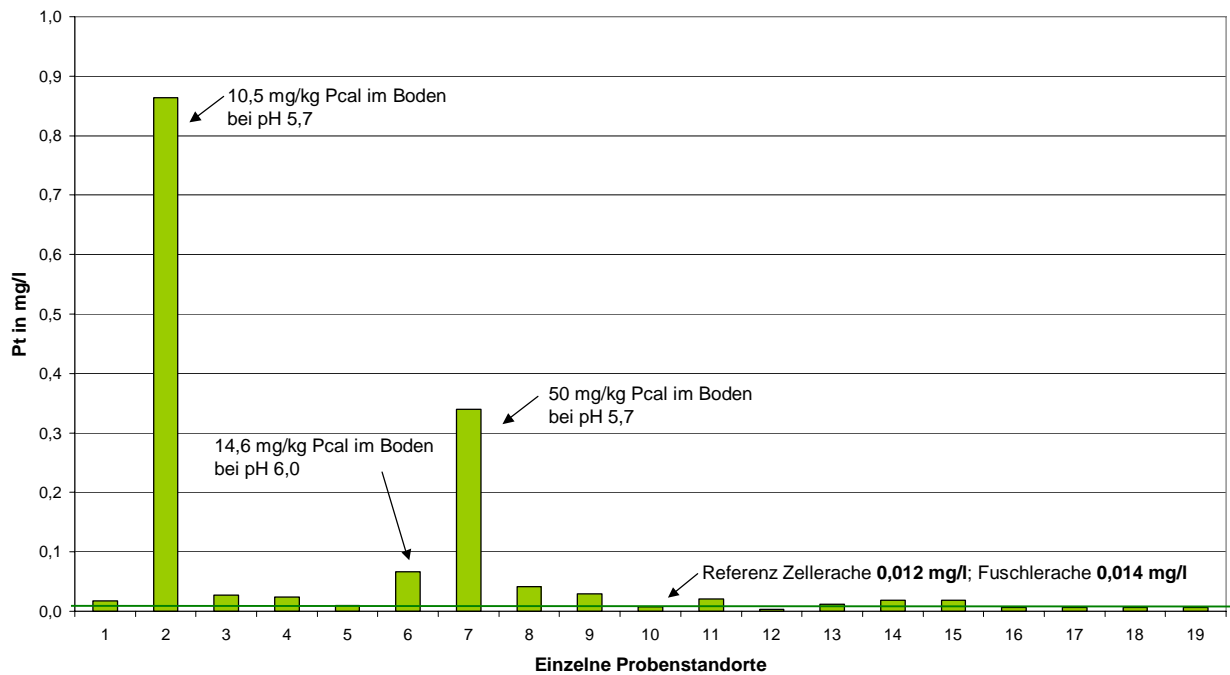
**Abbildung 22: Längenschnitt der Wangauer Ache der Probepunkte bei den Messserien**

Bei der Messkampagne im Juli 2004 ist auffällig, dass die Nährstoffkonzentration des filtrierte Phosphors an der Wangauer Ache in Abbildung 22 gleich bleibend ist, nur der Anteil an Partikeln höher ist. Die Messserie im Februar 2005 zeigt einen ähnlichen Verlauf wie die Fuschlerache, dass im Mittellauf ein Anstieg zu beobachten ist, der im Unterslauf wieder verdünnt wird und dadurch die Phosphorkonzentration den Wert im Oberlauf erreicht.

Bei der Wangauer Ache ist besonders auffällig, dass die beiden Messkampagnen sehr unterschiedlich sind. Die Phosphorkonzentrationen im Juli 2004 weisen den doppelten Wert auf wie im Februar 2005. Dass eine Grundkonzentration im Oberlauf vorhanden ist und diese sich bis zur Mündung kaum verändert geht aus den Untersuchungen klar hervor. Wenn man genauere, vertiefende Untersuchungen ansetzen will, dann sollte man im Oberlauf und bei den Zubringern in diesem Bereich Analysen machen.

Ende Juli 2005 wurden in einer niederschlagsfreien Zeit und hochsommerlichen Temperaturen 19 Wasserproben an Drainagen gezogen. Die Phosphorkonzentration wurde analytisch bestimmt, die Wassermenge mittels Stoppuhr und geeichtem Gefäß gemessen bzw. geschätzt. Auf diese Weise wird es möglich, die Nährstofffracht näherungsweise zu berechnen beziehungsweise deren Größenordnung zu kennen.

### Phosphorkonzentration in mg/l bei Wiesenentwässerungen



**Abbildung 23: Gemessene Phosphorkonzentration bei Drainagen**

Die gemessene Phosphorkonzentration in den Drainagewässern ist gering, wie in Abbildung 23 dargestellt. Drei Probenstandorte fallen auf, weil die Basiskonzentration des Nährstoffes Phosphor sehr hoch ist. Phosphor tritt in geringem Anteil in gelöster Form auf. Ca-Phosphate sind stabil bei höheren pH-Werten und umgekehrt Verhalten sich Fe- und Al-Phosphate (SCHEFFER, 2002). Der Phosphor geht je nach Umgebung rasch eine stabile Verbindung ein, kann maximal partikulär transportiert werden, was in Drainagen schwer möglich ist. Die Löslichkeit von Phosphat ist bei pH 5,5 bis pH 6,5 am höchsten. Die Phosphorkonzentration in der Bodenlösung ist sehr gering und liegt bei ungedüngten Böden bei etwa  $10^{-6}$  mol/l (GISI 1997). Das entspricht 100g P/ha bezogen auf eine Oberbodenmächtigkeit von 25cm. Im Boden kommt der Phosphor stets in seiner oxidierten Form als Orthophosphat vor.

Bei den drei beprobten Entwässerungen mit erhöhten Konzentrationen haben in der Bodenanalyse einen saureren Charakter und liegen mit ihrem pH-Wert bei 5,7 bzw. 6,0. Es scheint, dass für die Nährstoffauswaschung mit Wasser der pH-Wert eine entscheidende Rolle spielt. Durch Kalkung kann dieser gehoben werden und dadurch die Löslichkeit der Phosphate herabgesetzt werden. Die Phosphorbindung nimmt sowohl zum sauren als auch zum alkalischen Bereich zu. Für landwirtschaftliche Nutzung werden alkalische Böden bevorzugt, daher ist eine Maßnahme in diese Richtung zielführend.

### Phosphorfracht und Flächenaustrag bei Wiesenentwässerungen

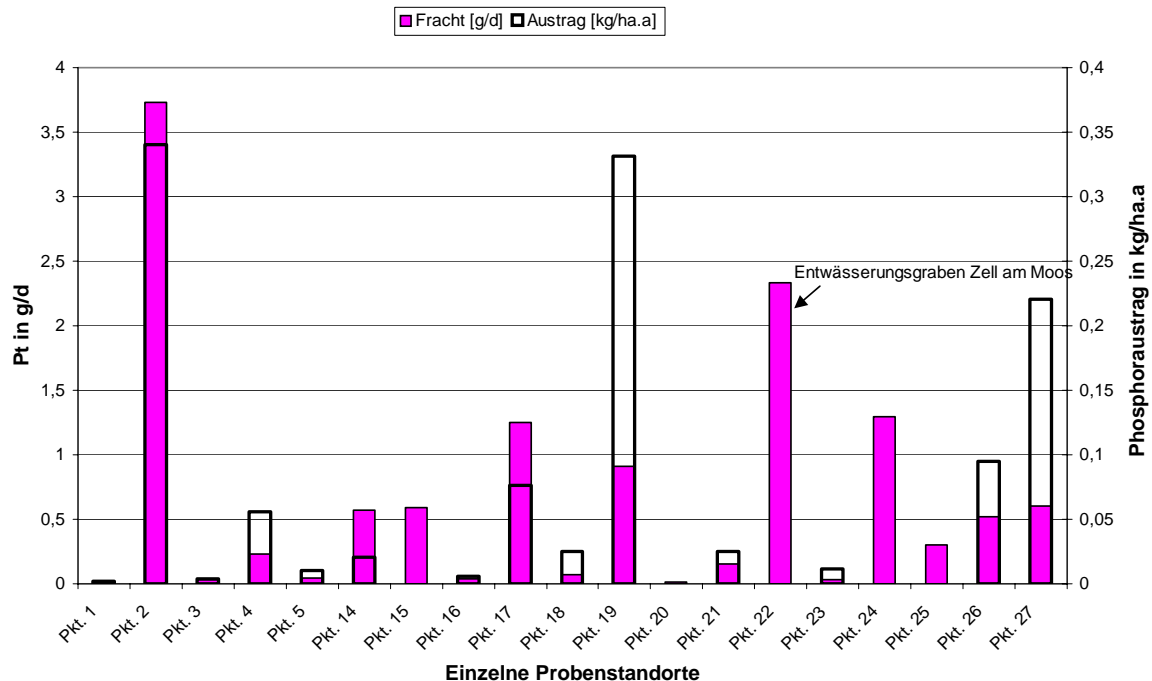


Abbildung 24: Phosphorfracht und –austrag bei Drainagen

Verglichen mit dem Phosphoreintrag über die großen Zubringer in den Mondsee sind die Frachten der Drainagen sehr gering (Zellerache 1750 g/d; Fuschlerache 2600 g/d). Sobald gelöster Phosphor in Entwässerungsleitungen ankommt wird er abtransportiert, was erwarten lässt, dass bei Niederschlagsereignissen die Phosphorfracht überproportional steigt. Versucht man einen vergleichbaren Parameter zu finden, so kommt man auf die Flächenbelastung. In diesem Fall werden die einmalig erhobenen Werte auf die Fläche umgerechnet und auf den Zeitraum eines Jahres hochgerechnet. Für alle erhobenen Phosphorkonzentrationen wurde die Flächenbelastung gerechnet, um unterschiedliche Ansätze, die den Nährstofftransport zu beschreiben, vergleichen zu können.

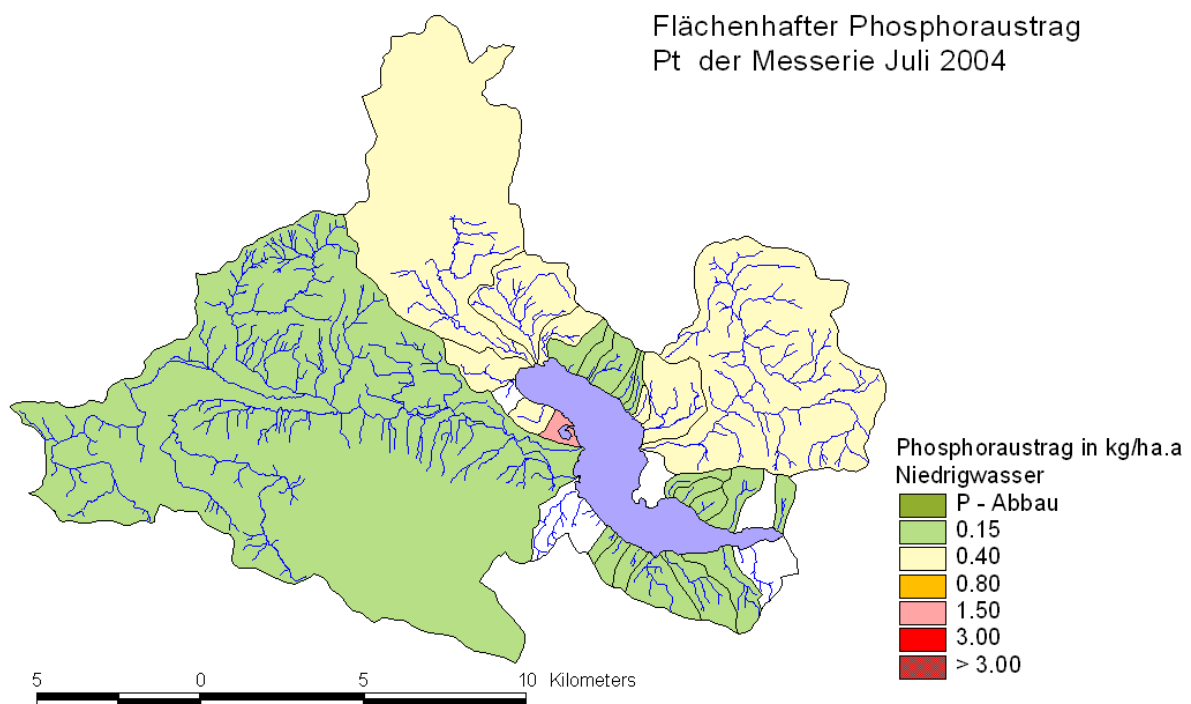
Berechnet nach Vollenweider in Kapitel 3.2.2 ist ein Flächeneintrag über  $0,15\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$  ein Problem für den Mondsee und zu hoch. Bei reiner Wiesenentwässerung beprobt bei Trockenwetter im Sommer bei  $30^\circ\text{C}$  liegen die hochgerechneten Jahreswerte bei drei Standorten darüber. Das Verhalten bei einem Regenereignis kann mit diesen erhobenen Werten nicht beschrieben werden. Das Ergebnis spiegelt wieder, dass Drainageflächen einen höheren Flächenaustrag haben als nicht entwässerte landwirtschaftlich genutzte Flächen. Zum selben Zeitpunkt wurden die Flüsse, in deren Einzugsgebiet die Drainageflächen liegen, beprobt. Der durchschnittliche Flächenaustrag beträgt bei der Zellerache  $0,16\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ , bei der Fuschlerache die Hälfte mit  $0,08\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ . Bei diesen erhobenen Werten und den Ergebnissen in Abbildung 24 ist immer zu berücksichtigen, dass es eine einmalige Erhebung ist, die bei einer Trockenwetterphase im Sommer durchgeführt wurde.

#### 4.3.2 Phosphorausträge aus Teileinzugsflächen

Die Flächenausträge wurden für den Flussverlauf der Fuschlerache, der Zellerache und der Wangauerache berechnet. Dabei wurde die Phosphorfracht an dem jeweiligen Messpunkt auf den gesamten Einzugsbereich umgerechnet. Diese hintereinander gereihten

Teileinzugsflächen zeigen Veränderungen im Flusslauf aufgrund von höherer zufließender Konzentration beziehungsweise aufgrund von Verdünnung der Nährstoffkonzentration.

Für den Mondsee maßgebend ist die zufließende Phosphorfracht beziehungsweise die auf das Einzugsgebiet dieses Flusses umgerechnete Flächenbelastung. Alle anderen Betrachtungen zeigen Unterschiede im Hinterland auf.

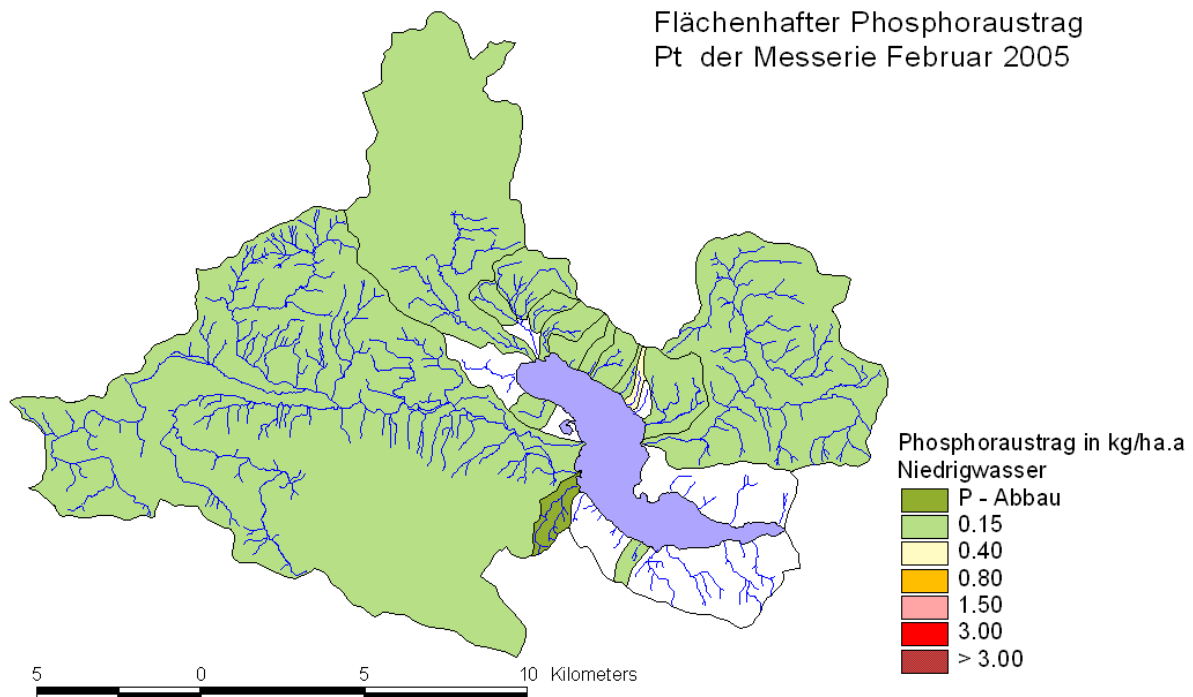


**Abbildung 25: Flächenaustrag der Zuflüsse im Juli 2004**

In den Darstellungen von Abbildung 25 und Abbildung 26 sind flächenbezogene Phosphorausträge farblich dargestellt. Den Klassengrenzen liegt wiederum die Berechnung nach Vollenweider zugrunde (siehe Kapitel 3.2.2).

Bei der Beprobung im Juli 2004 erhobene Werte sind in Abbildung 25 dargestellt. Die Fuschlerache liegt im tolerierbaren Bereich, die Zellerache und die Wangauerache sowie einzelne kleine Zubringer weisen nach Vollenweider zu hohe Flächenausträge auf.





**Abbildung 26: Flächenaustrag der Zuflüsse im Februar 2005**

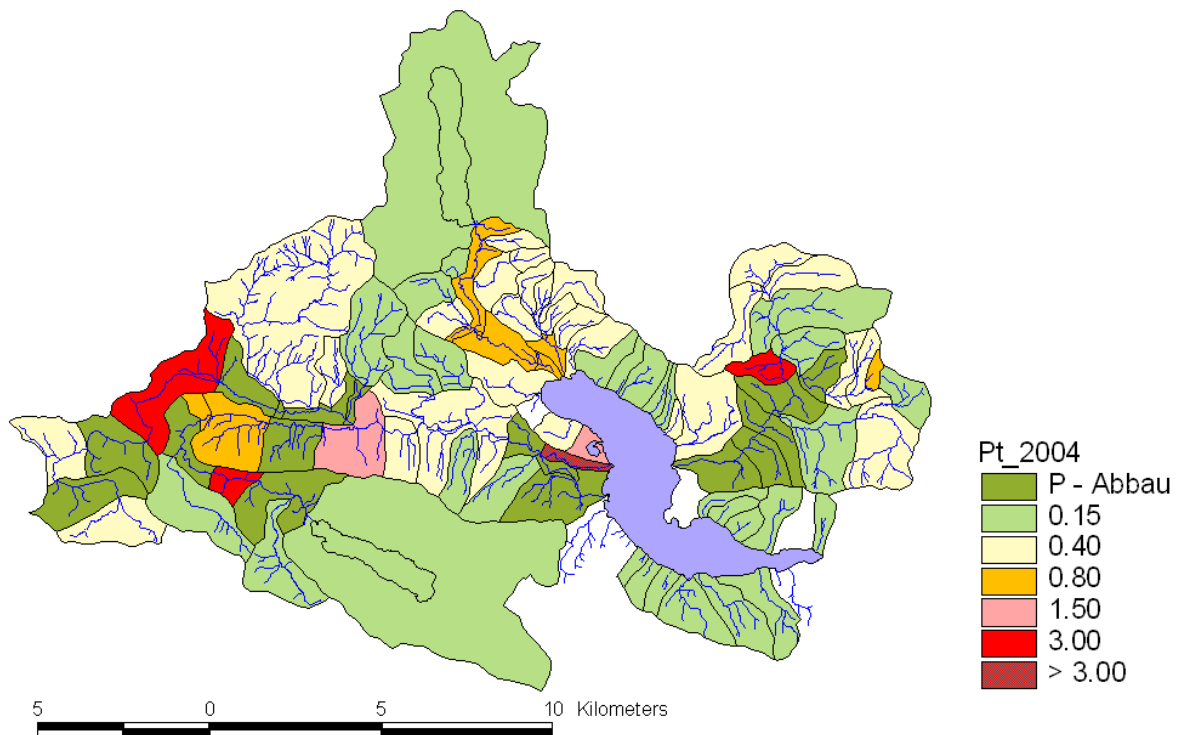
Bei der Beprobung im Winter 2005 war Niedrigwasserabfluss, wobei der Basisabfluss erfasst werden konnte. Das Ergebnis zeigt, dass alle Zubringer zum Mondsee keine kritischen Flächenausträge beim Nährstoff Phosphor aufweisen. Die weißen Flächen wurden nicht beprobt. Wenig Wasser oder zugefrorene Bäche mit niedriger Wasserführung konnten bei der Messkampagne nicht erhoben werden. Das Ergebnis ist zufrieden stellend, es besteht kein Handlungsbedarf, der See verträgt die anfallenden Nährstofffrachten.

### 4.3.3 Phosphorausträge aus Teilflächen

Bei der Darstellung der Phosphorausträge der einzelnen Teilflächen wurde wieder die Berechnung nach Vollenweider (siehe Kapitel 3.2.2 Berechnung der kritischen Phosphor-Flächenbelastung für den See) den Klassengrenzen zugrunde gelegt. Weiße Flächen entsprechen jenen Teilflächen, die zu diesem Zeitpunkt nicht beprobt wurden.

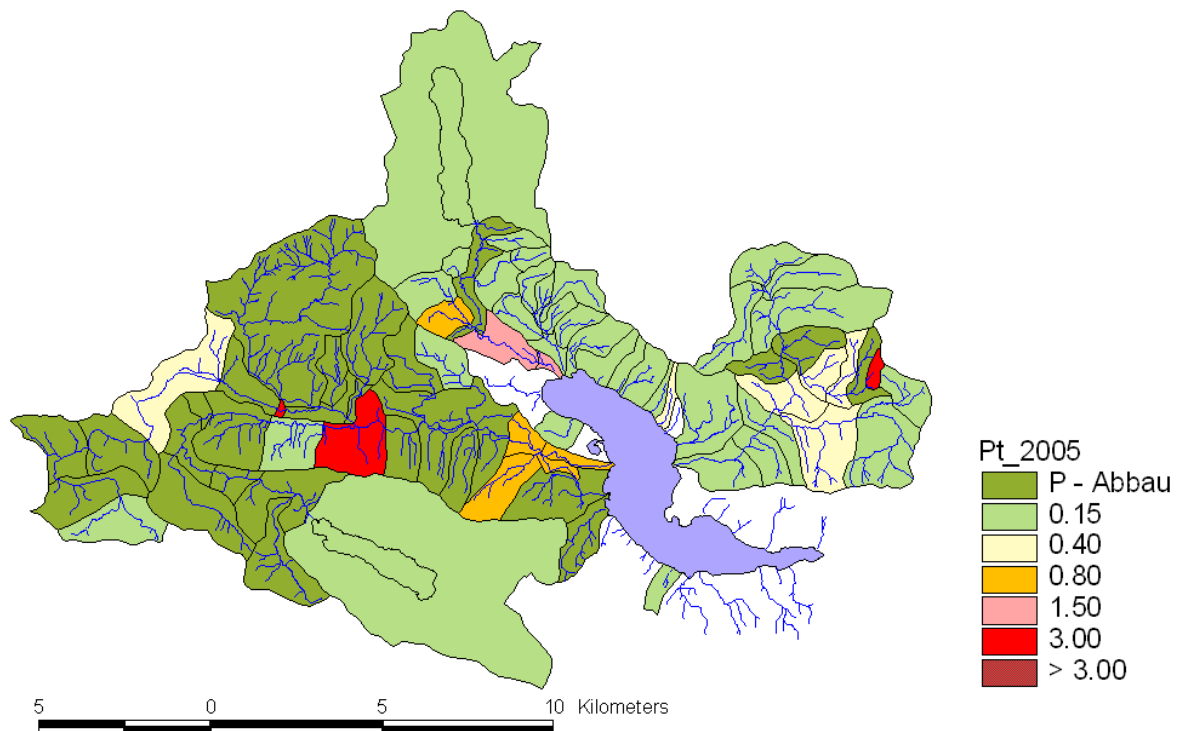
Aufgrund der Einheitlichkeit und Vergleichbarkeit wurden die Messwerte einer Einzelmessung in Jahresfrachten beziehungsweise Jahresausträge umgerechnet, da diese Zahlengrößen bekannt sind und in den anderen Auswertungen auch so aufscheinen. Man sollte sich bei der Analyse aber immer dessen bewusst sein, dass Einzelmessungen diesen Ergebnissen zugrunde liegen.

Allgemein ist die Betrachtung des Flächenaustrags eine Methode, wo Teile des Einzugsgebietes miteinander verglichen und bewertet werden können. Bei der Frachtberechnung ist der Abfluss durch die Multiplikation mit der gemessenen Konzentration ein bestimmender Faktor. Bei der Analyse des Flächenaustrags im Einzugsgebiet gibt es eine Beziehung von der Teileinzugsfläche Fläche zum Wasseranfall. In diesem Einzugsgebiet ist kein unterirdischer Zustrom zu erwarten gewesen und wurde auch nicht gemessen, daher können alle Teilbereiche nach denselben Kriterien beurteilt und beschrieben werden.



**Abbildung 27: Gesamter Phosphoraustrag der Messserie Juli 2004 der Teilflächen in kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>**

Die räumliche Verteilung der Phosphorbelastung aus diffusen Quellen im Einzugsgebiet des Mondsees im Sommer 2004 (Abbildung 27) zeigt auf, dass kleine Zubringer rund um den See keine große Rolle spielen. Die Zellerache hat eindeutig höhere Werte als umliegende Gewässer, der Steinerbach mit dem kleineren steileren Einzugsgebiet mit der Mündung gleich neben der Zellerache liegt im selben Wertebereich. Die Wangauerache hat im Hinterland höhere Werte und auf der Fließstrecke Richtung Mondsee findet ein Phosphorabbau statt. Da in diesem Fall die einzelnen Teilflächen ausgewertet wurden, die gemessenen Phosphorkonzentrationen auf die Fläche umverteilt wurde mit Berücksichtigung des Oberlieggers, zeigt sich hier ein differenzierteres Bild als bei der Auswertung der Teileinzugsflächen, wo immer auf die gesamte Einzugsfläche dieses Messpunktes zurückgegriffen wurde. Man kann auf kleinere Bereiche im Einzugsgebiet zurückgreifen und diese genauer analysieren und wenn nötig neuerliche Messungen durchzuführen.



**Abbildung 28: Gesamter Phosphoraustrag der Messserie Februar 2005 der Teilflächen in kg ha-1 a-1**

Die generelle Flächenbelastung der Phosphorausträge der Messkampagne im Februar 2005 ist nicht so hoch wie im Sommer 2004. Dennoch zeigen dieselben Teilflächen erhöhte Werte auf. Die Zellerache ist nach wie vor erhöht, der Steinerbach liegt im tolerierbaren Bereich und einzelne Gebiete der Fuschlerache und der Wangauerache fallen deutlich mit erhöhten Werten auf. Die kleinen Zubringer rund um den See sind auch in dieser Messserie bei der Betrachtung des Flächenaustrags kein Problem für den See.

Um eine genauere Auskunft zu bekommen, ob die gemessene Phosphorkonzentration an den einzelnen Messpunkten zu erhöhten Werten geführt hat, oder ob die erhobene Wassermenge eine Rolle spielt, wurde mit fiktiven Wassermengen ( $2 \text{ l/m}^2$ ) und den gemessenen Phosphorkonzentrationen eine ähnliche Karte erstellt (Abbildung 29 und Abbildung 30). In diesen Karten kann man gut den Einfluss der gemessenen Konzentration ablesen und aufgrund der Analyse und neuerlichen Begehungen vor Ort versuchen den Grund für die erhöhten Werte zu erforschen.

Es zeigt sich deutlich, dass einzelne kleine Einzugsbereiche, die hohe Konzentrationen aufweisen, durch die geringe Wassermenge und den relativ großen zugehörigen Flächenanteil einen tolerierbaren Flächenaustrag aufweisen.

Da Maßnahmen leichter dort gesetzt werden können, wo die Konzentration erhöht ist und nicht die Wassermenge maßgebend für eine hohe Phosphorfracht und Flächenbelastung ist, kann man die Information über die Phosphorkonzentration und zusätzlich die Flächenbelastung der Teilflächen gemeinsam betrachtend bei der Maßnahmenplanung hinzuziehen.

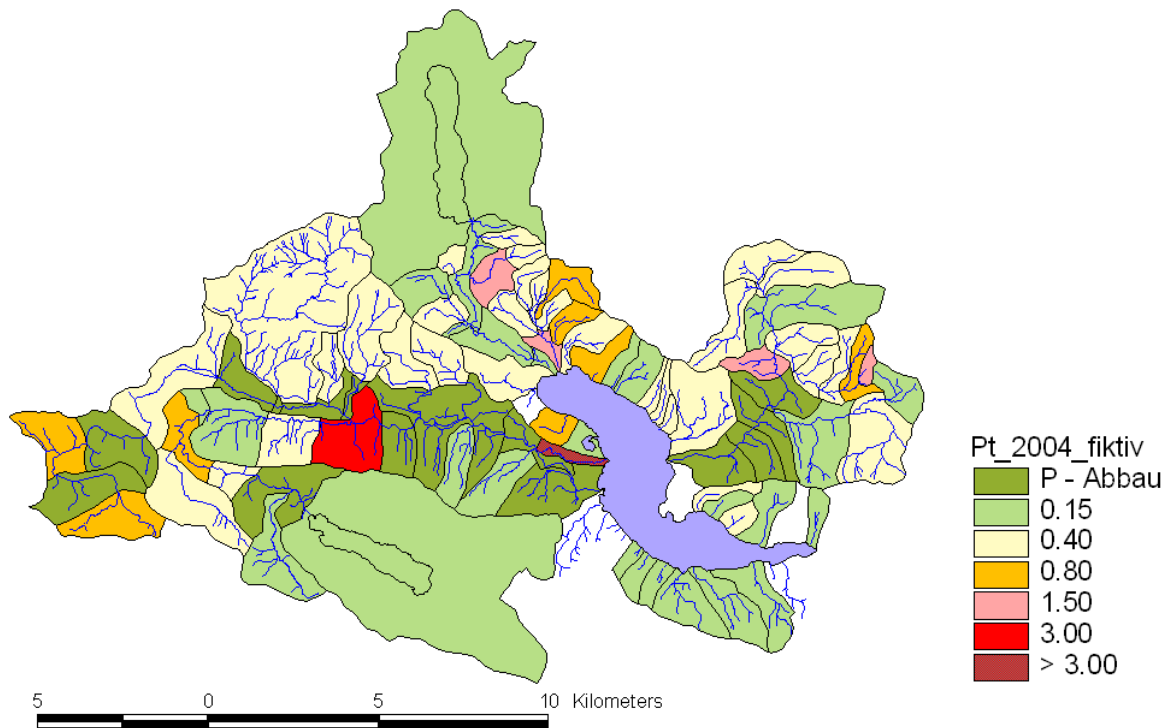


Abbildung 29: P-Austrag der Messserie Juli 2004 der Teilflächen in kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> mit fixen Wassermengen

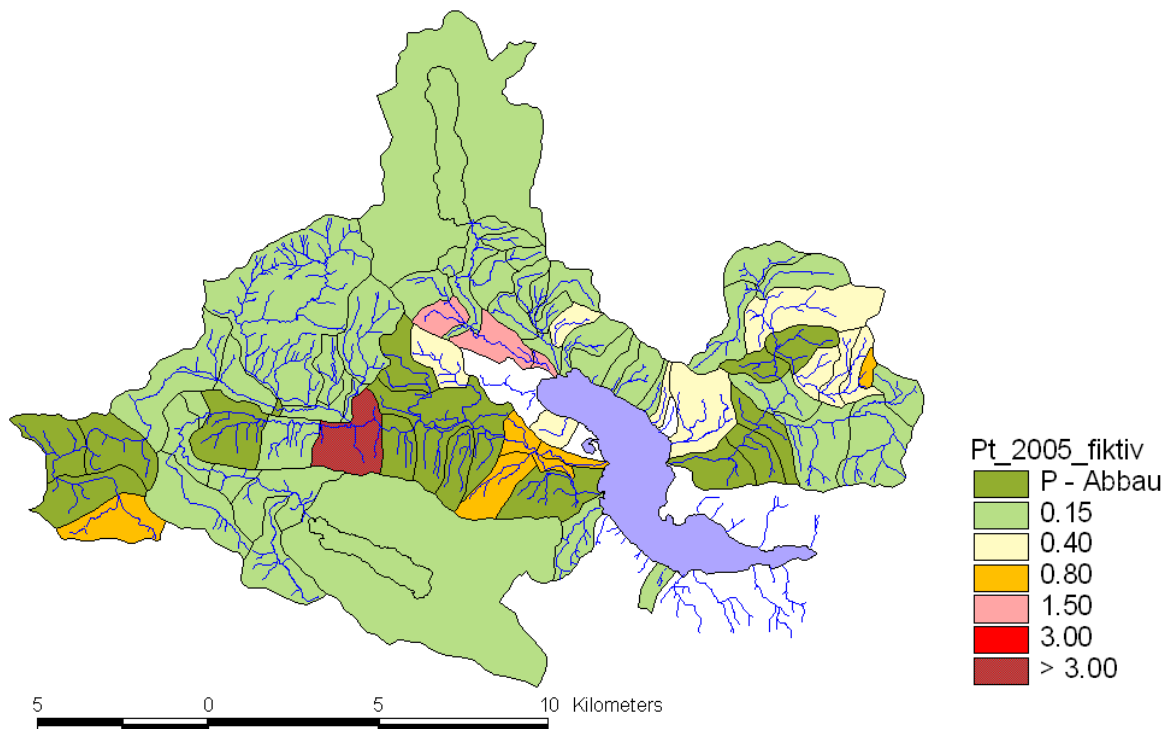
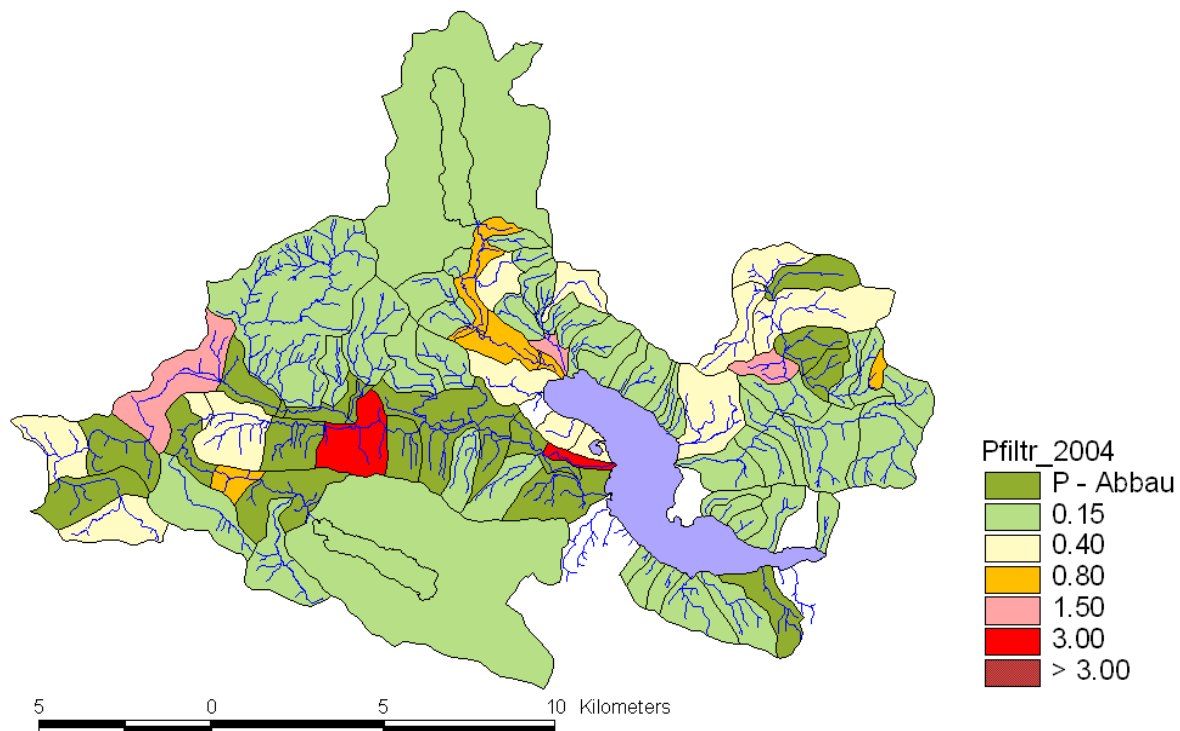


Abbildung 30: P-Austrag der Messserie Febr. 2005 der Teilflächen in kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> mit fixen Wassermengen

Welchen Anteil der gelöste Phosphor am Flächenausstrag hat wurde unabhängig von den anderen Messwerten berechnet. Der gelöste Phosphor steht im See sofort zur Verfügung und trägt den größeren Anteil zur Nährstoffakkumulation bei. Das Bild ähnelt sehr dem Flächenausstrag berechnet mit Gesamtphosphor, in einzelnen Bereichen wie dem Steinerbach fällt nun die Teilfläche in eine andere Klasse. Will man Werte vergleichen, ist bei dieser Darstellung zu beachten, dass man sich in Wertebereichen und Klassengrenzen bewegt, aber keine Aussage getroffen werden kann, welche Höhe der betrachtete Parameter hat. Würde man dies auch noch in die Karte einfügen, so wird sie unlesbar. Es gibt kaum Unterschiede bei der Betrachtung des Flächenausstrags bezogen auf den Gesamtphosphor und dem gelösten Phosphor (Abbildung 31).



**Abbildung 31: Gelöster Phosphor als Flächenbelastung in  $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$  der Messserie Juli 2004**

In den Wintermonaten, beprobt im Februar 2005 (Abbildung 32), ist der Anteil an gelöstem Phosphor geringer, daher ist eine Verbesserung bei der Betrachtung des flächenhaften Austrags dieses Nährstoffes zu beobachten.

Die Teilflächen, welche einen erhöhten Wert aufzeigen, bleiben aber dieselben. Es sind in diesem Fall zwei Teilflächen, die aufgrund der hohen gemessenen Konzentration einen hohen Flächenausstrag aufweisen. Die Zellerache hat im flussnahen Einzugsbereich höhere Austräge, die nur beschrieben aber nicht näher erklärt werden können.

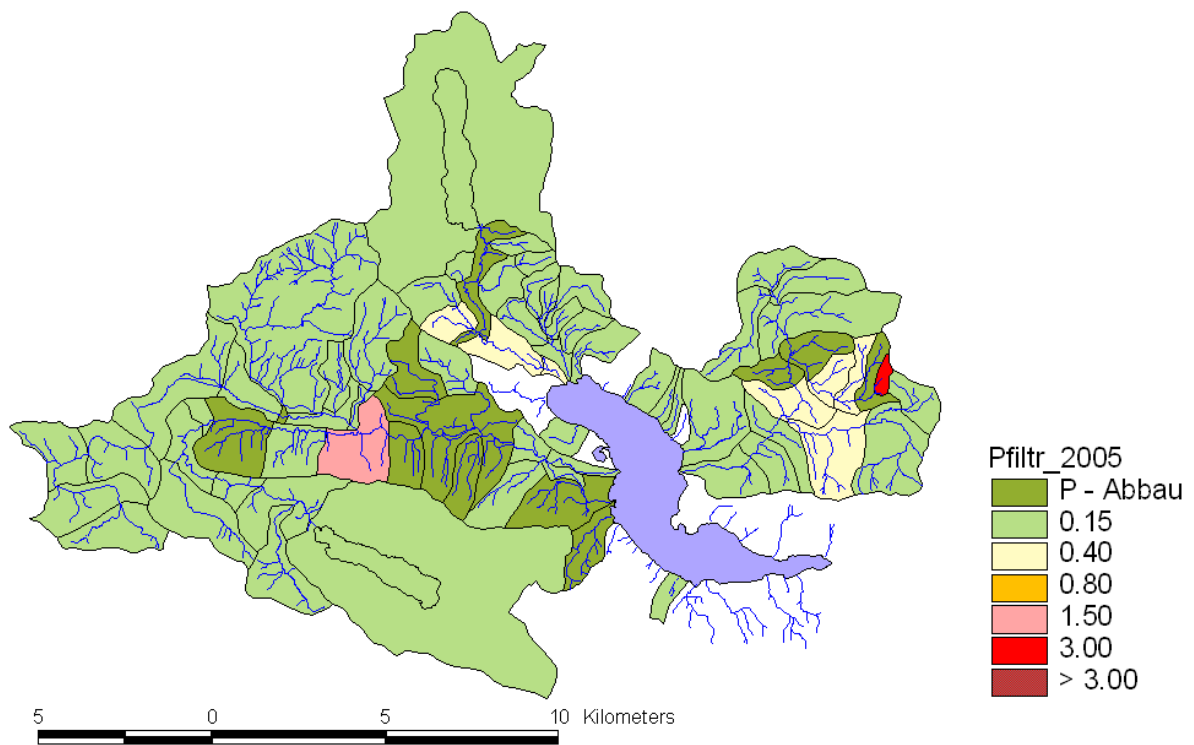


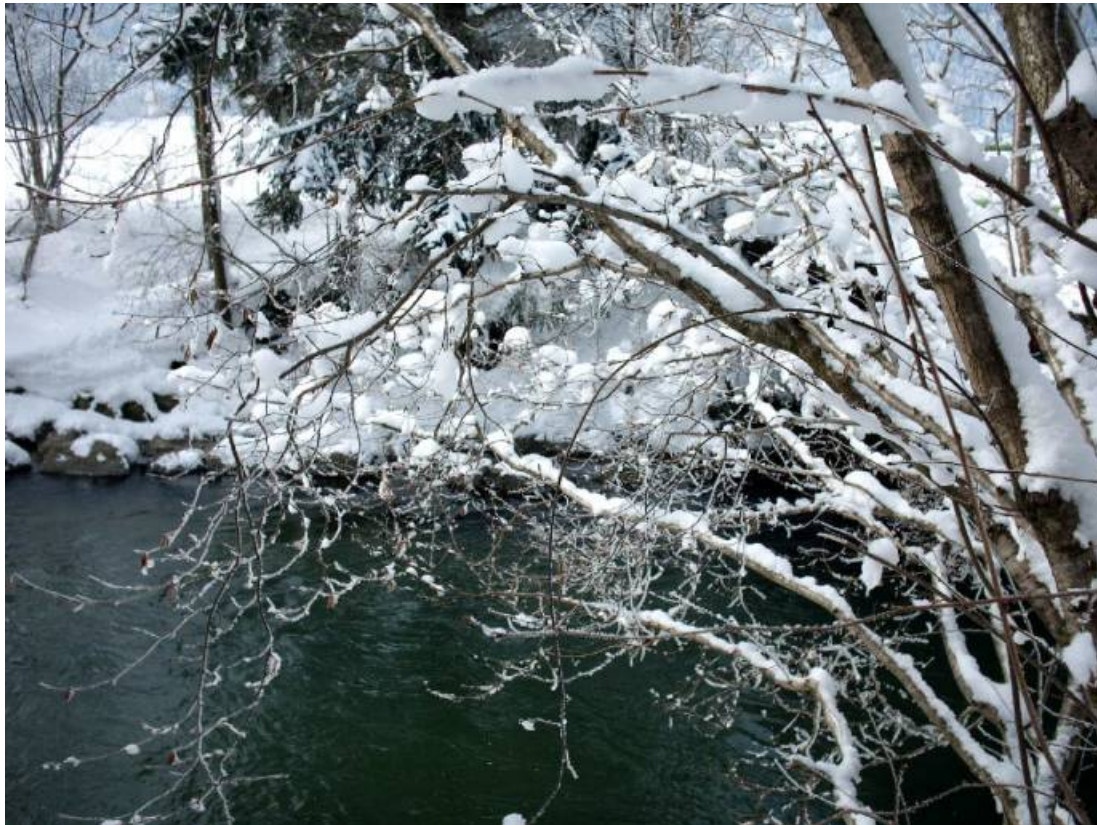
Abbildung 32: Gelöster Phosphor als Flächenbelastung in kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> der Messserie Februar 2005



#### 4.4 Auswertung der Probensammlerdaten

Mit den gemessenen Parametern der Wasserproben und der Information über die Durchflussmenge an der Messstelle wurden Ganglinien der Messdaten erstellt und versucht, das Verhalten der analysierten Parameter abhängig von der Wassermenge zu beschreiben.

Um einen Eindruck zu bekommen, wie die Schneedecke im Zeitraum der Schneeschmelze verschwindet, sind Fotos vom März 2005 angeführt (Abbildung 33 bis Abbildung 35).



**Abbildung 33: Einzugsgebiet am 11.03.2005**

Die Schneeschmelze 2005 fand ohne Niederschlagsereignis statt, allein die Sonneneinstrahlung und die höheren Tagestemperaturen haben die geschlossene Schneedecke zum Schmelzen gebracht.

Bei den weiteren Grafiken und Ergebnissen, die in den Zeitraum der Schneeschmelze fallen kann auf die Betrachtung der Fotos zurückgegriffen werden. Sie zeigen sehr deutlich das rasche Fortschreiten des Frühlings und den Verlust der geschlossenen Schneedecke.



Abbildung 34: Einzugsgebiet am 21.03.2005

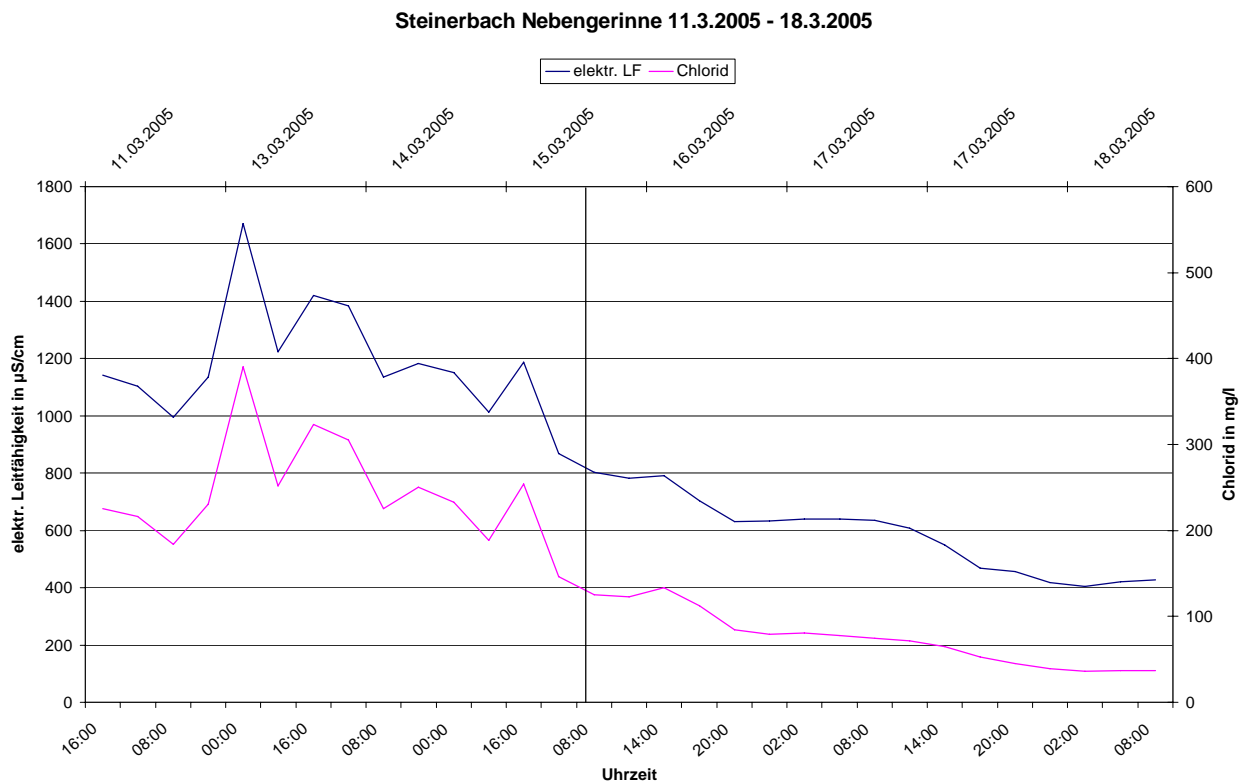


Abbildung 35: Einzugsgebiet am 24.03.2005



#### 4.4.1 Elektrische Leitfähigkeit und Chloridanteil im Wasser

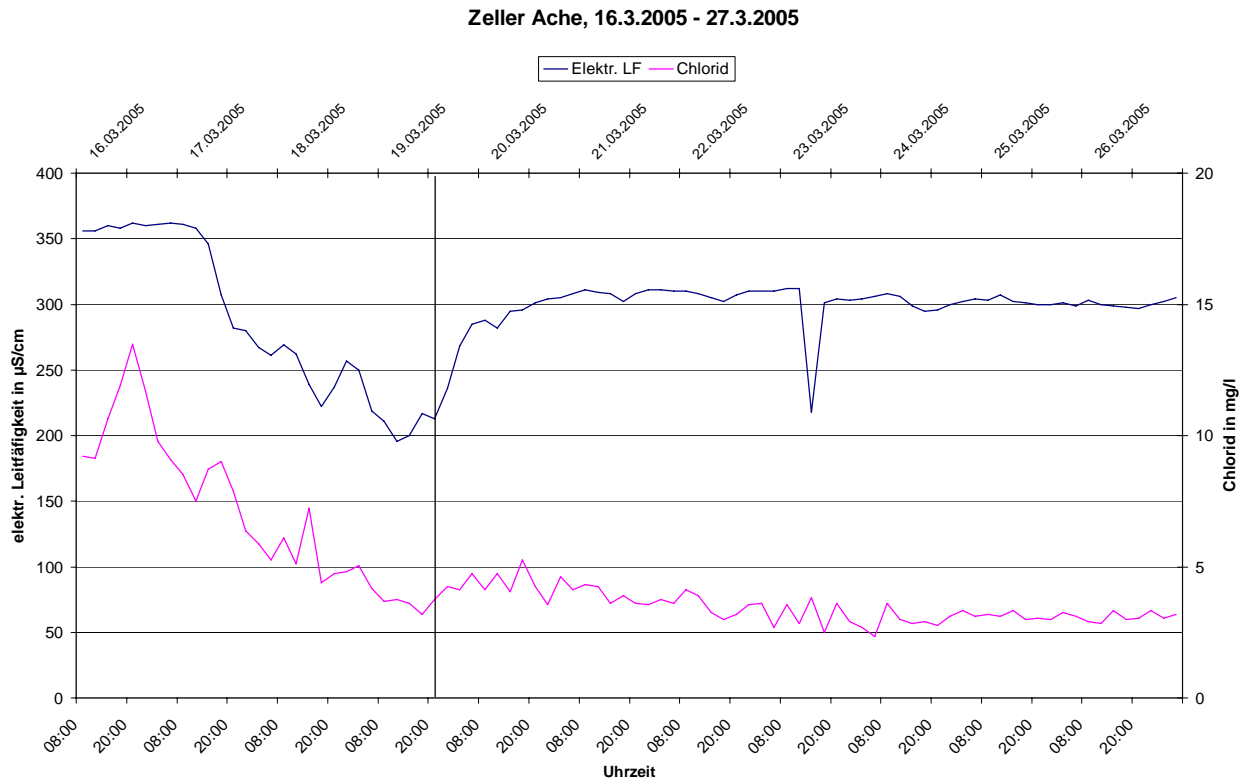
In den anschließenden drei Grafiken Abbildung 36 bis Abbildung 38 wird das Verhalten der elektrischen Leitfähigkeit zum Zeitpunkt der Schneeschmelze an drei Standorten dargestellt.



**Abbildung 36: Elektrische Leitfähigkeit und Chloridgehalt am Punkt 48**

Der Probensammler an Punkt 48 wurde 5 Tage früher installiert (Abbildung 36) als an den beiden anderen Standorten. Das Wasser hat eine Basisleitfähigkeit von etwas über  $400 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Das Einzugsgebiet ist klein, hat steile Hänge und weist dadurch eine geringe Fließzeit auf bis zur Mündung ins Gewässer. Bei der Schneeschmelze ist die Anreicherung mit Ionen gut zu erkennen, da der Wert bis auf das vierfache ansteigt. Die Chlorid-Ionen tragen zu einem Großteil zu diesem Wert bei. Es findet eine allgemeine Anreicherung von gelösten Salzen statt, nicht allein das Chlorid aus dem Streusalz ist maßgebend für die hohe Leitfähigkeit. Die Markierung am 16. März 2005 steht für das Ende der Schneeschmelze. Das bedeutet, dass die geschlossene Schneedecke im Einzugsgebiet dieses Punktes geschmolzen ist.

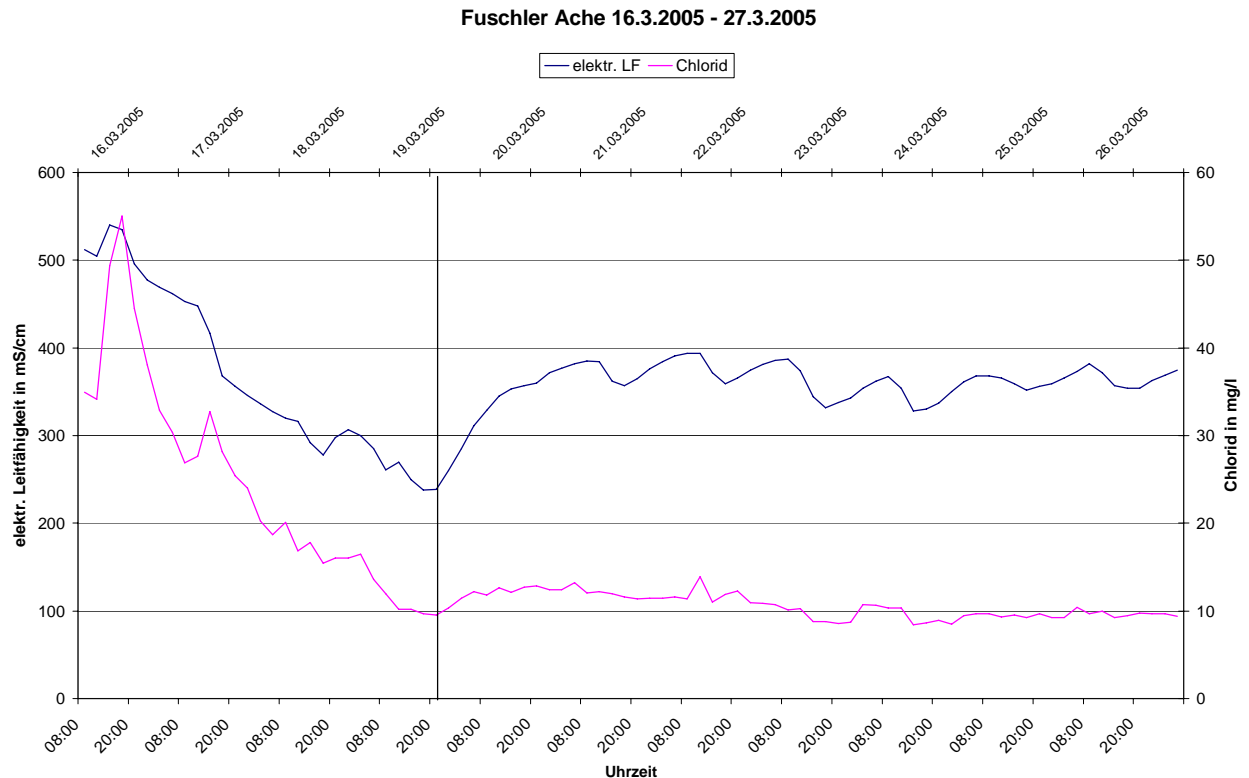
In Abbildung 37 sind die Aufzeichnungen der Zellerache festgehalten. Der Tagesgang der Hochwasserwelle ist gut zu erkennen. Von 16.03.2005 bis 18.03.2005 ist jeweils ein Hochpunkt in der Ganglinie zu erkennen. Dieser Hochpunkt fällt immer auf den Nachmittag, wenn das Abschmelzen der Schneedecke einen Höhepunkt erreicht. Interessanterweise steigt nach dem Ende der Hochwasserwelle der Schneeschmelze die Leitfähigkeit wieder an und erreicht so ihren Basiswert. Im Gegensatz dazu ändert sich die Chloridkonzentration kaum nach Ende des Abschmelzens der geschlossenen Schneedecke. Diese geringere Leitfähigkeit und der Abfall der Chloridkonzentration fallen mit dem Hochpunkt der Hochwasserwelle, zu sehen in Abbildung 42, zusammen. Offenbar trat hier ein Verdünnungseffekt auf.



**Abbildung 37: Elektrische Leitfähigkeit und Chloridgehalt an der Zellerache**

Dieselben Aussagen gelten für die Messungen an der Fuschlerache. In Abbildung 38 sieht man ein ähnliches Bild, dass während der Schneeschmelze eine hohe Ionenkonzentration zu beobachten ist, sich aber nach dem Ende der Hochwasserwelle ein stabiler höherer Wert einpendelt. Die Chloridkonzentration sinkt stetig und bleibt nach Abschluss des massiven Abschmelzens der Schneedecke auf einem konstanten Wert.

Die Basisleitfähigkeit zeigt einen eindeutigen Tagesgang, in der Nacht steigt die Menge an gelösten Inhaltsstoffen an, der Tiefpunkt ist am Nachmittag zu beobachten. Die Chloridkonzentration zeigt keine eindeutig zuweisbaren Schwankungen der Ganglinie. Da beim Ende dieser Beobachtung nach wie vor Schneefelder im Einzugsgebiet zu beobachten waren, ist die Schneeschmelze zu diesem Zeitpunkt nicht abgeschlossen, aber die Hochwasserwelle erzeugt durch die Schneeschmelze ist vorüber.



**Abbildung 38: Elektrische Leitfähigkeit und Chloridgehalt an der Fuschlerache**

Die Beobachtung der Menge an gelösten Stoffen zum Zeitpunkt der Schneeschmelze bringt die Erkenntnis, dass diese Anzahl ansteigt. Offensichtlich sind viele Ionen im Winter immobil, werden automatisch beim Auftauen durch das anfallende Wasser gelöst und direkt ins Gewässer transportiert. Die größere Menge an gelösten Stoffen ist nicht allein auf die erhöhte Chloridkonzentration durch die Salzstreuung zurückzuführen.

Beim Probensammler „Steinerbach-Nebengerinne“ zeigt sich ein starker Anteil der Chlorid-Ionen an der elektrischen Leitfähigkeit. Dieser Wert beträgt bis zu 50 Prozent und sinkt gegen Ende der Beobachtungszeit auf 10 Prozent ab. Somit ist der Chloridanteil in diesem Gewässer generell höher als in den beiden großen Zubringern, Zellerache und Fuschlerache. Die Zellerache zeigt kaum Unterschiede im Chloridanteil an den gelösten Ionen zum Zeitpunkt der Hochwasserwelle (6%) und als Basiswert (2%). Die Fuschlerache hat einen Verlauf, der erwartet wurde, ein Anstieg zum Zeitpunkt der Hochwasserwelle, die Basiskonzentration des Chlorids liegt aber eher in einem niedrigeren Bereich. In Prozentanteilen der elektrischen Leitfähigkeit, als Maß der gelösten Stoffe, liegt der Wert zum Höhepunkt der Schneeschmelze bei 20%, bei Ende dieser Hochwasserwelle sinkt der Chloridanteil auf 6% ab. Einzig eindeutiger Unterschied dieser drei Einzugsgebiete ist in der durchschnittlichen Hangneigung, also dem Gelände, zu finden. Die Zellerache hat ein eher flaches Einzugsgebiet, das Einzugsgebiet der Fuschlerache ist groß, die stärkeren Hangneigungen überwiegen und das kleine Nebengerinne des Steinerbachs hat ausschließlich steilere Hanglagen im Einzugsgebiet. Bei der Mobilisierung der Nährstoffe scheint diesem Faktor (Gelände, Hangneigung) eine große Bedeutung zuzukommen.

#### 4.4.2 Zusammenhang Abflusshöhen und Phosphorkonzentration

Probensammler wurden für die Beobachtung der Phosphorkonzentration über eine gewisse Zeitspanne aufgestellt und betreut. Auf das Verhalten während der Schneeschmelze wurde besonderes Augenmerk gelegt, um diese Werte mit „normalen“ Abflussverhältnissen vergleichen zu können wurde der Zeitraum verlängert. Auf diese Weise konnte die Basiskonzentration und das Verhalten aufgrund kleinerer Niederschlagsereignisse abgebildet werden.

Die Grafiken in Abbildung 39 und Abbildung 40 zeigen den zeitlichen Verlauf der Phosphorkonzentration. Eindeutig zu erkennen ist ein starker Anstieg im Frühjahr. Bei der Fuschlerache erreicht die gemessene Konzentration sogar den 30fachen Wert. Da zu diesem Zeitpunkt auch die Wassermenge erhöht ist, ist die Phosphorfracht bei der Schneeschmelze sehr groß, und somit der Eintrag in den See besonders im Frühjahr zu beachten.

Phosphorkonzentration der Fuschlerache im Frühjahr und im Herbst 2005

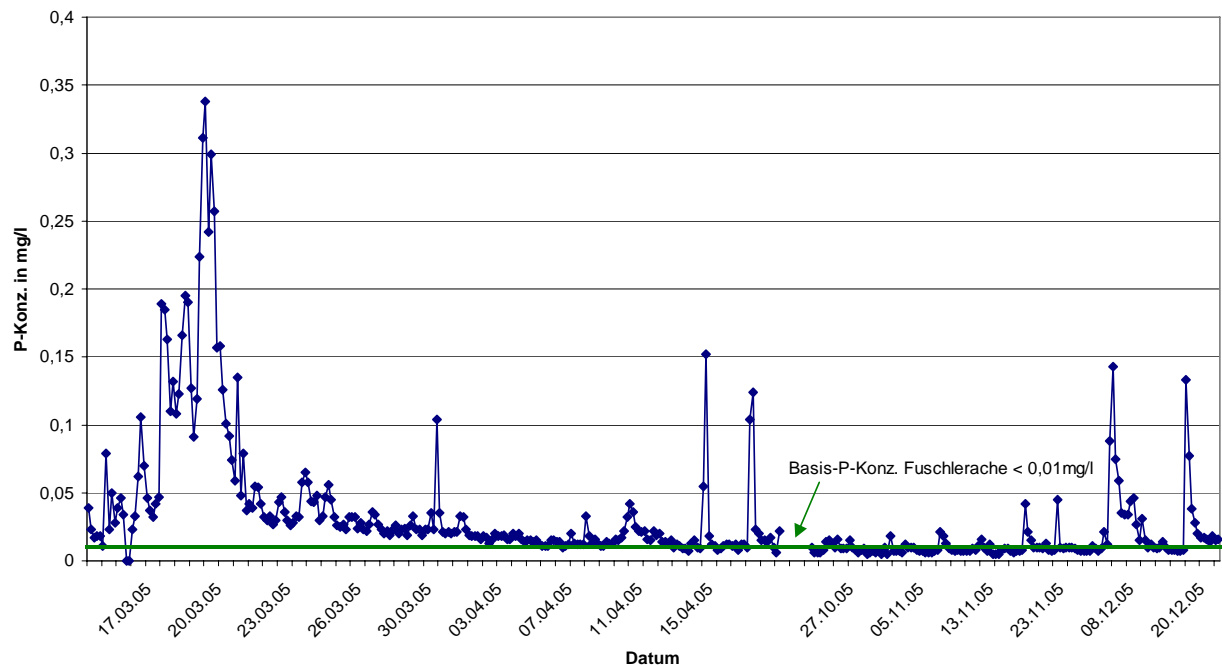
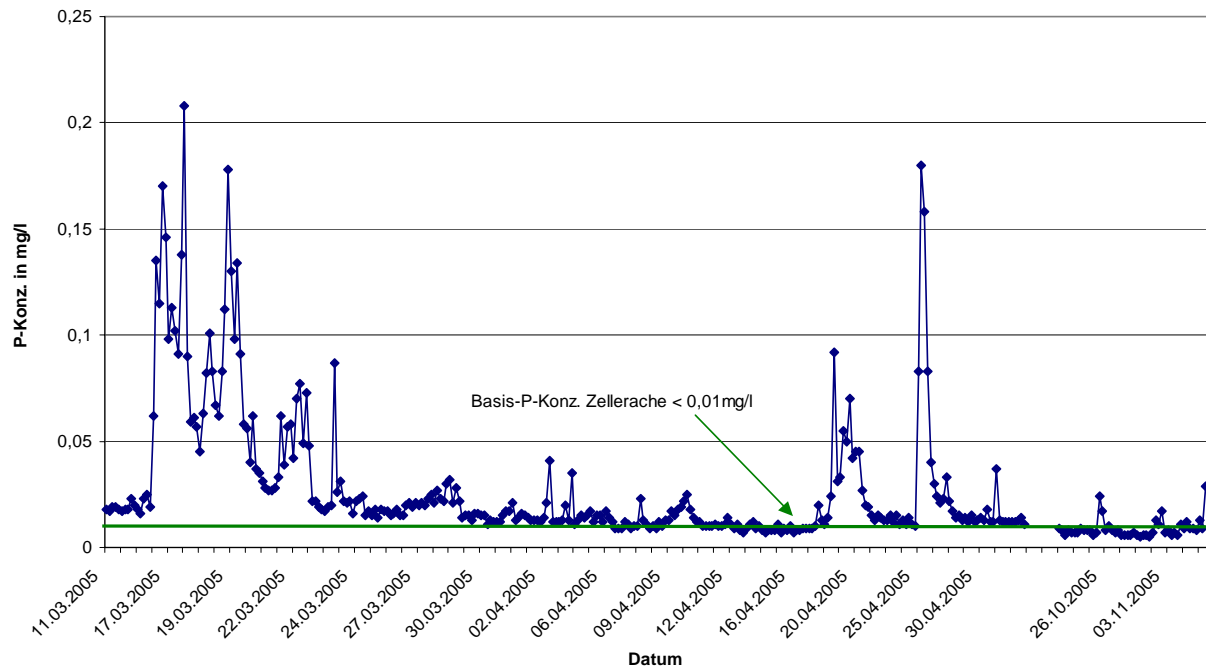


Abbildung 39: Ganglinie der Phosphorkonzentration in der Fuschlerache

Die beiden Ganglinien der Phosphorkonzentration unterscheiden sich nur wenig. Die Fuschlerache tendiert zu einem stärkeren Anstieg bei Niederschlagsereignissen. Um genauere Hintergründe und Zusammenhänge herauszufiltern wurden weitere Interpretationsansätze durchgeführt, wobei auf den folgenden Seiten nur die Analysen und Grafiken der Zellerache dargestellt sind. Die Ergebnisse der Fuschlerache sind ähnlich, auf die gleiche Weise durchgeführt. Das Endergebnis für die weiteren Berechnungen der Phosphorfracht ist wieder von beiden Flüssen angeführt und dargestellt (Abbildung 46; Tabelle 7 bis Tabelle 13).



Phosphorkonzentration in der Zellerache im Frühjahr und im Herbst 2005

**Abbildung 40: Ganglinie der Phosphorkonzentration in der Zellerache**

Da vorhin der Zusammenhang mit der abfließenden Wassermenge angesprochen wurde, ist diese Abflussganglinie der Zellerache in Abbildung 41 dargestellt. Man sieht eindeutig die Abhängigkeit der Phosphorkonzentration von der Wassermenge, was einen interessanten Zusammenhang zeigt. Mehr Niederschlag könnte auch einen Verdünnungseffekt zur Folge haben.

Die Phosphorkonzentration steigt vor dem Eintreten der Hochwasserwelle an und erreicht ihren Peak vor der Abflusswelle. Es scheint dass der Lösungsprozess mit Auftreffen der Wassertropfen beginnt und ein Großteil der mobilen Nährstoffe vor dem Eintreffen der großen Wassermenge abfließt. Ergebnisse von Georgia Buchmeier (Wasserwirtschaftsamt Traunstein) im Einzugsgebiet vom Waginger – Tachinger See aus den Jahren 2001/2002 zeigen den ähnlichen Verlauf des Verhältnis von Phosphorkonzentration zu Abflusshöhe.

Abflussganglinie und Phosphorkonzentrationen der Zellerache (11. März - 4. Mai 2005)

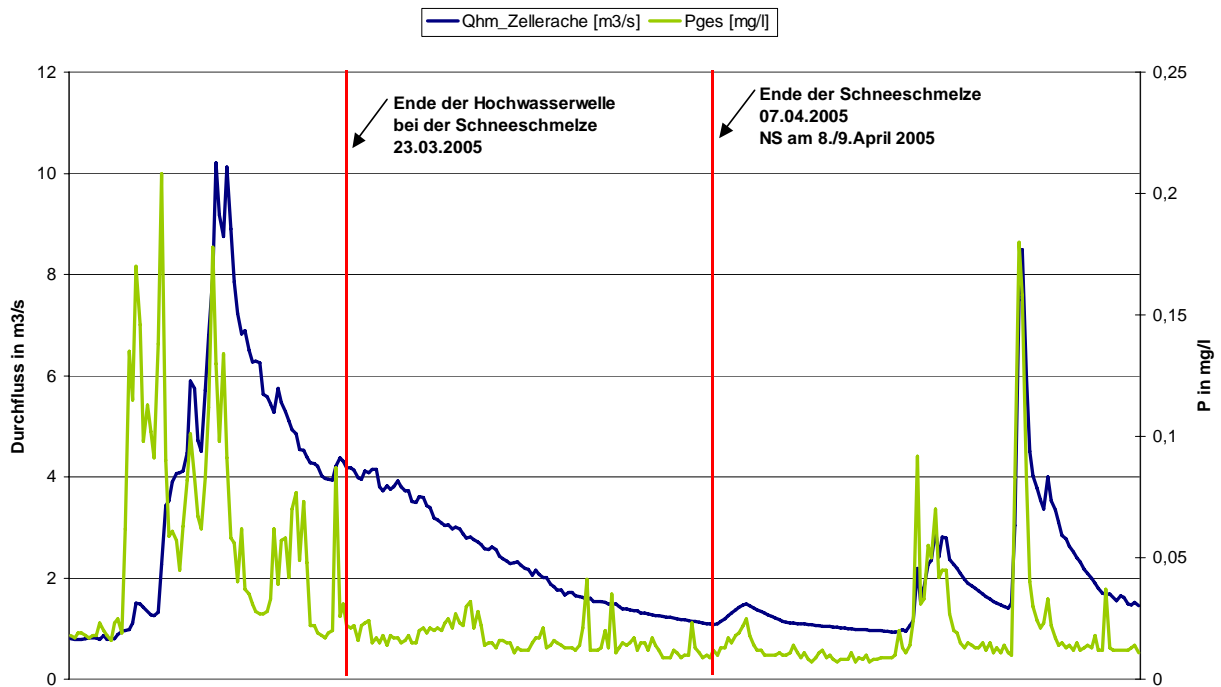


Abbildung 41: Abflussganglinie der Zellerache im Frühjahr

Tagesabfluss und Phosphortagesfrachten der Zellerache

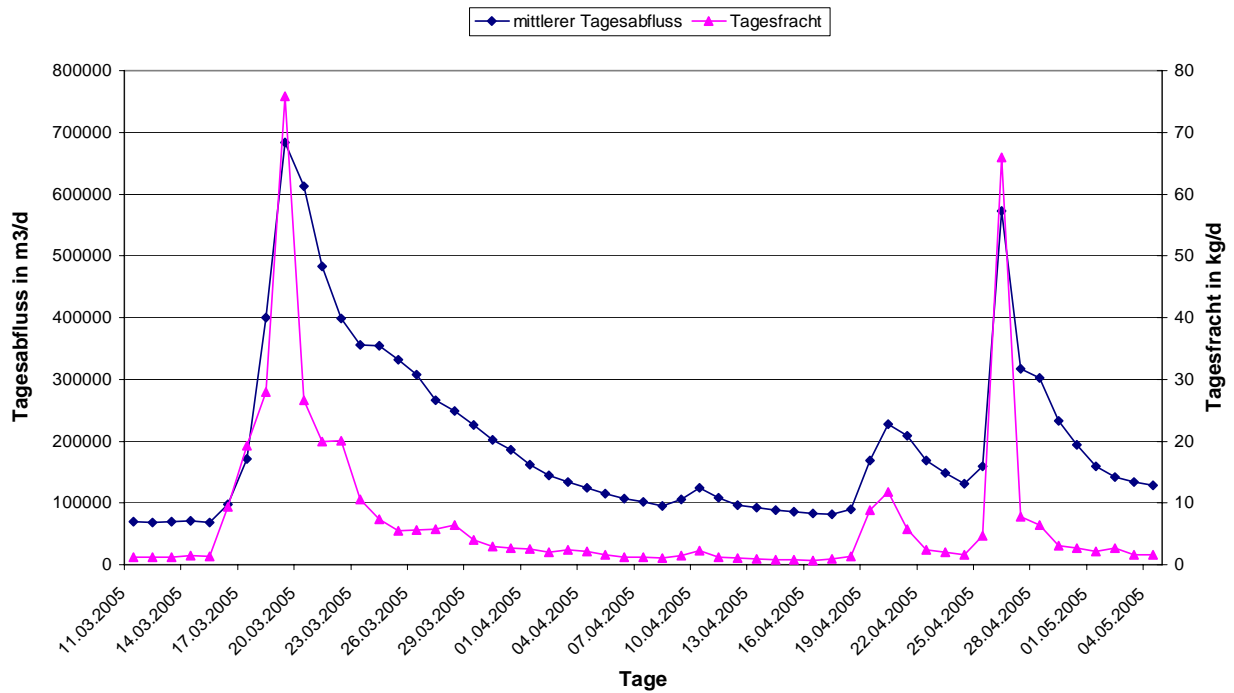


Abbildung 42: Ganglinie der Phosphorfrachten der Zellerache

In den beiden Darstellungen der Ganglinien in Abbildung 41 und Abbildung 42 sind die gemessenen Werte und die daraus errechneten Phosphorfrachten dargestellt. Bei der Frachtberechnung spielt die Wassermenge eine zentrale Rolle. Eine niedrige Phosphorkonzentration bewirkt, dass bei großen abfließenden Wassermengen der Multiplikator gering ausfällt. Um auch Phosphorfrachten von unbekanntem Zeiträumen rechnen zu können, wo nur die Information der Abflusshöhen vorhanden ist, wurden die gemessenen Werte weiter analysiert und interpretiert.

Bei der Analyse der einfachen Grafik in Abbildung 41 der Ganglinien des Abflusses, angegeben in mittlerem Abfluss in  $\text{m}^3/\text{s}$ , und der Phosphorkonzentration kann man erkennen, dass beide Ganglinien im gleichen Zeitraum ansteigen und abfallen. Aus dieser Überlegung heraus wurden die Abflusswerte gereiht, und diese Verteilung dargestellt. Da es bei der Analyse zwei Zeiträume gibt, die Schneeschmelze und das „normale“ Abflussgeschehen, wurde auch bei dieser Betrachtung unterschieden welche Werte einfließen. Zu erkennen ist diese bei der Zeitraumangabe, welche Messergebnisse dargestellt werden.

Fließen alle Messwerte in diese Betrachtung ein, so erkennt man einzelne Ausreißer (Abbildung 43), die bei niedrigen gemessenen Abflüssen eine hohe Konzentration aufweisen. Sieht man von jenen ab, so ist ein eindeutiger Trend zu beobachten. Filtert man die im Zeitraum der Schneeschmelze gemessenen Werte heraus zu einer Stichprobe heraus, so ergibt sich ein einheitlicheres Bild (Abbildung 44).

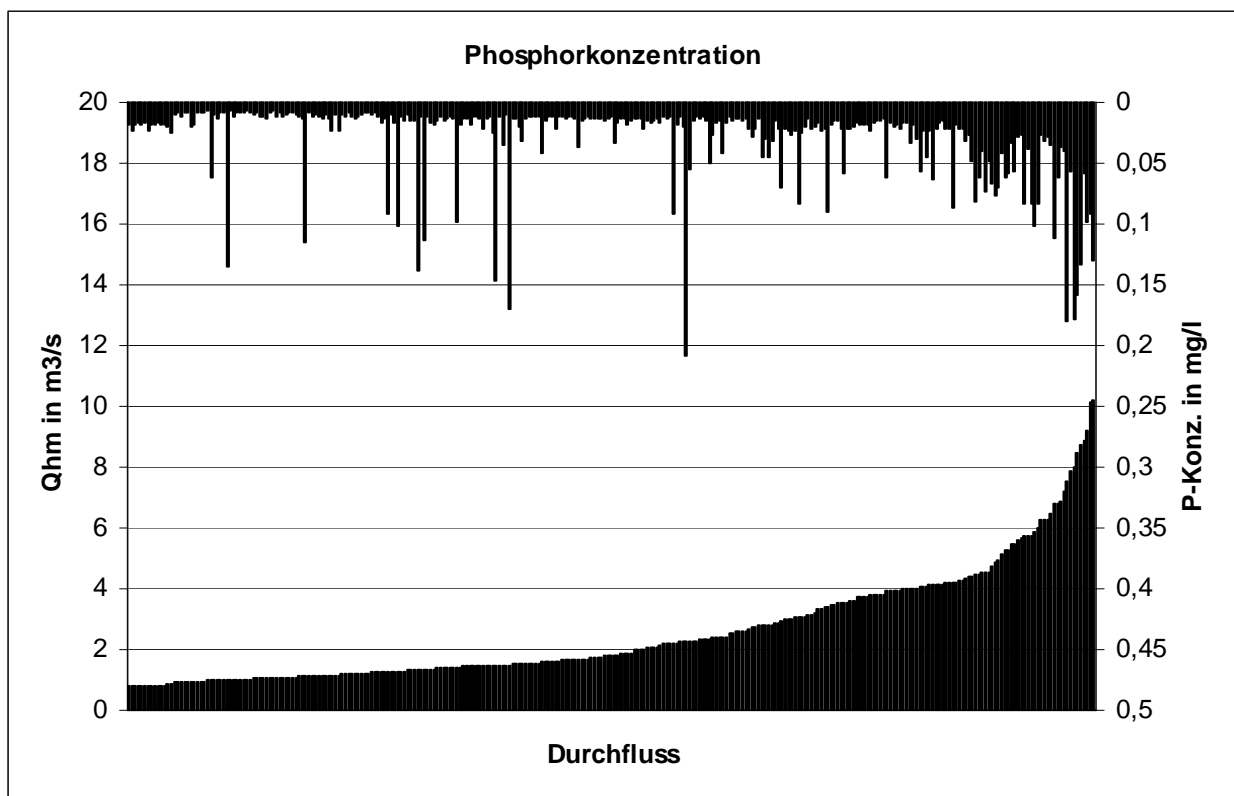
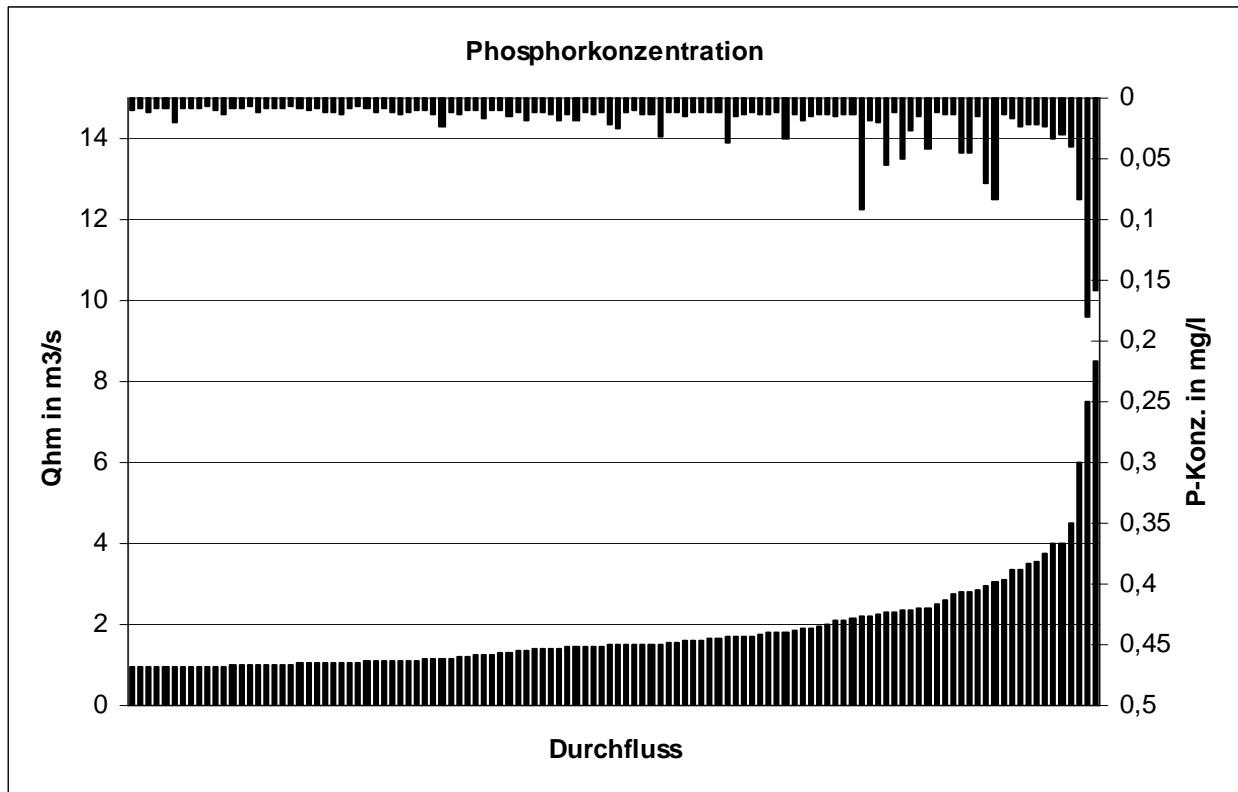


Abbildung 43: Phosphorkonzentration aller gemessenen Werte an der Zellerache



**Abbildung 44: Phosphorkonzentration aller Werte ab 9. April an der Zellerache**

Aus diesen Ergebnissen, die bei der Fuschlerache optisch sehr ähnlich ausfallen, wurde weiter versucht, einen Zusammenhang dieser beiden Parameter zu finden und diesen für weitere Berechnungen zu definieren. Dafür wurden die Messwerte in Abhängigkeit voneinander dargestellt und eine Trendlinie erzeugt (Abbildung 45 und Abbildung 46).

Die gemessenen Phosphorkonzentrationen steigen mit zunehmendem Abfluss. Daher wurde eine Trendlinie zur zweiten Potenz gewählt. Um aber zu sehen, wie gut kann diese Beziehung mit einer einfachen Formel beschrieben werden, wurde auch der lineare Zusammenhang, soweit vorhanden, über eine Trendlinie abgebildet. Es gibt bei beiden Berechnungsarten Ausreißer, aber das  $R^2$ , ein Maß für die Güte des Zusammenhangs, ist in beiden Fällen gut und man kann die gefundene Beziehung zur weiteren Berechnung unbekannter Werte heranziehen. Bei der Analyse des Zusammenhangs Phosphorkonzentration zu mittlerem Tagesabfluss wurden zusätzlich nur Stichproben gewählt, mit diesen eine Trendlinie berechnet und fehlende Werte ergänzt und verglichen mit den restlichen Messwerten. Als Ergebnis dargestellt ist die Gesamtübersicht über alle Messwerte bei der Fuschlerache (Abbildung 46) und bei der Zellerache (Abbildung 45).

Zellerache-Abfluss-Phosphorkonzentrationen

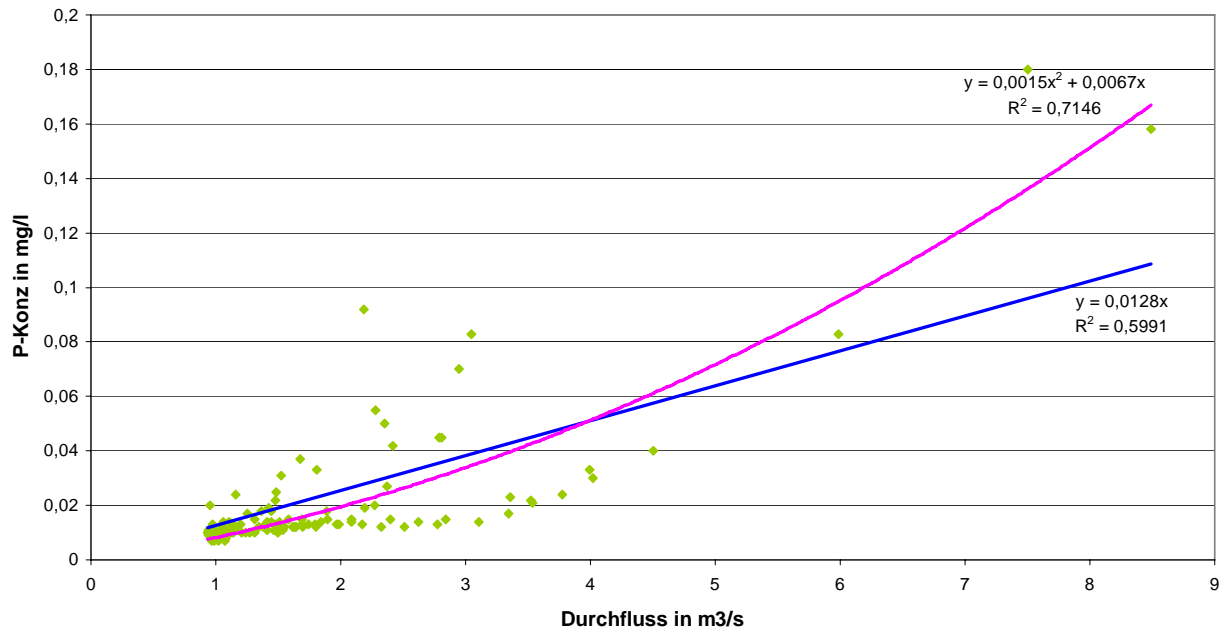


Abbildung 45: Zusammenhang Phosphorkonzentration zu Abflusshöhe bei der Zellerache

Fuschlerache-Abfluss-Phosphorkonzentration

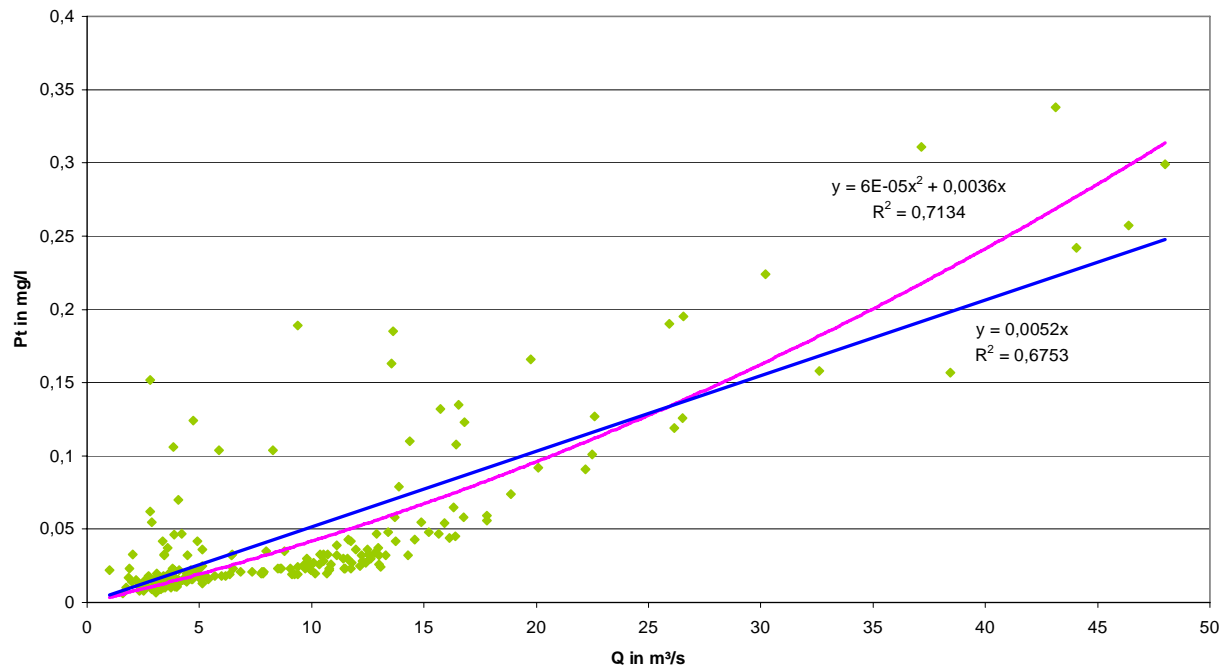
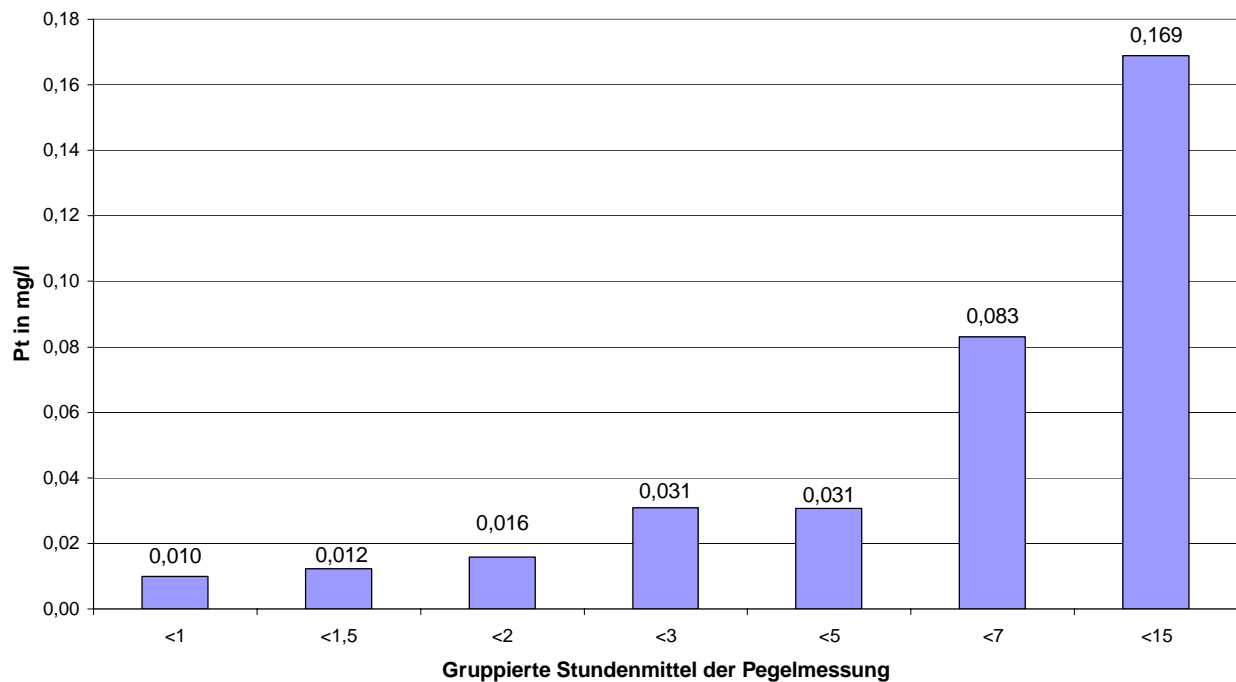


Abbildung 46: Zusammenhang Phosphorkonzentration zu Abflusshöhe bei der Fuschlerache

Da es Abweichungen von der Trendlinie gibt und höhere Abflüsse einen überdimensionalen Einfluss bei der Berechnung von Jahresfrachten mit Hochwasserereignissen haben, wurde versucht, diese Berechnung zu vereinfachen und nicht mit der Regressionsgleichung zu rechnen. Diese Diskretisierung und Gruppierung der Werte findet man in der Abbildung 47.

Um diese beiden Ansätze vergleichen zu können, wurde auch für diese gruppierten Werte eine Trendlinie berechnet. Sie ist der bei allen gefundenen Werten sehr ähnlich, daher kann man davon ausgehen, dass die gewählten Phosphorkonzentrationen bei gruppierten Abflusshöhen realistische Werte sind.

**Mittlere P-Konz. bei Normalabfluss an der Zellerache**



**Abbildung 47: Verhältnis Phosphorkonzentration zu Abflusshöhe gruppiert für die Zellerache**

In der obigen Abbildung 47 sind die Phosphorkonzentrationen der Zellerache für klassifizierte Abflüsse graphisch dargestellt. In den Tabellen Tabelle 7 und Tabelle 8 sind dieselben Werte noch einmal aufgelistet und auch für die Fuschlerache angeführt.

Diese Einteilung der Beziehung zwischen Abfluss und P-Konzentration ist eine Kernaussage der Wasserproben aus Probensammler, da über diese Wertetabelle andere unbekannte Monate und Jahre aufgrund der vorhandenen Abflusshöhen der Pegelstellen berechnet werden können.

Interessant zu beobachten ist, dass der nahezu lineare Zusammenhang besteht. Bei gelöstem Phosphor erwartet man, dass ein Verdünnungseffekt bei einer größeren Abflussmenge auftritt, bei partikulärem Phosphortransport erwartet man ein Ansteigen, weil die Transportkapazität im Fluss mit steigender Wassermenge erhöht ist. Da der Gesamtphosphor gemessen und berechnet wurde, gleichen sich diese beiden Phänomene bei der empirischen Betrachtung der ablaufenden Prozesse aus und ergeben einen nahezu linearen Zusammenhang.



**Tabelle 7: Gruppierte Abflusshöhen und dazugehörige Pt-Konzentrationen der Zellerache**

<b>ZELLERACHE</b>	
<b>Mittlerer Tageabfluss [m³/s]</b>	<b>Pt [mg/l]</b>
< 1	0,010
1,0 – 1,5	0,012
1,5 – 2,0	0,016
2,0 – 3,0	0,031
3,0 – 5,0	0,031
5,0 – 7,0	0,083
7,0 – 15,0	0,169

**Tabelle 8: Gruppierte Abflusshöhen und dazugehörige Pt-Konzentrationen der Fuschlerache**

<b>FUSCHLERACHE</b>	
<b>Mittlerer Tageabfluss [m³/s]</b>	<b>Pt [mg/l]</b>
< 1	0,009
1 – 2	0,015
2 – 5	0,025
5 – 10	0,031
10 – 15	0,041
15 – 20	0,081
20 – 30	0,130
30 – 40	0,213
40 – 50	0,284

Bei den gruppierten Ergebnissen wurde auch die Trendlinie berechnet.

**Zellerache:**

$$\text{Pt-Konz. [mg/l]} = 0,0109 * \text{Mittlerer Tagesabfluss [m³/s]} \quad \text{mit } R^2 = 0,9655$$

**Fuschlerache:**

$$\text{Pt-Konz. [mg/l]} = 0,0051 * \text{Mittlerer Tagesabfluss [m³/s]} \quad \text{mit } R^2 = 0,9532$$

Vergleicht man diese Trendlinien mit jenen errechnet aus allen vorhandenen Messwerten (Abbildung 45 und Abbildung 46), so zeigt sich, dass sich die errechneten Beziehungen sehr ähnlich sind. Das bedeutet, dass die Gruppierung gut gewählt wurde und eine Abbildung der tatsächlichen Werte möglich ist.

Die beiden Tabellen Tabelle 7 und Tabelle 8 sind die Grundlage für die Berechnungen der Monats- und Jahresfrachten vergangener Jahre. Den an den Pegeln gemessenen Abflusshöhen wurden aufgrund dieser Tabelle Phosphorkonzentrationen zugewiesen und mit dem tatsächlichen mittleren Tagesabfluss die Phosphorfracht berechnet. Ergebnisse dazu findet man in Kapitel 4.4.3.

#### 4.4.3 Phosphorbilanzierung und Monats- bzw. Jahresfrachten

Im Kapitel 4.4.2 Zusammenhang Abflusshöhen und Phosphorkonzentration wurde beschrieben wie man auf Werte für Phosphorkonzentrationen kommt, mit Hilfe derer man auch für Jahre, wo nur die Abflusshöhen der hydrographischen Dienste zur Verfügung stehen, die Phosphorfracht berechnen kann. In den Zusammenstellungen der Tabelle 9 bis Tabelle 13 sind die Ergebnisse dieser Berechnungen angeführt.

**Tabelle 9: Phosphor-Monatsfrachten der Fuschlerache für die Jahre 1998 bis 2005**

FUSCHLERACHE Pt [kg/Monat]								
Monat	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Jänner	5,1	5,8	15,0	4,2	23,6	15,4	11,7	4,8
Februar	2,7	66,3	26,4	8,7	12,5	5,6	10,4	14,6
März	44,4	51,7	47,7	17,4	52,4	10,4	9,9	49,8
April	9,2	1,3	9,9	15,2	6,5	4,3	9,9	19,6
Mai	2,6	22,9	2,8	4,0	3,1	4,3	9,2	22,4
Juni	5,9	4,9	2,9	17,5	3,3	1,9	36,6	5,6
Juli	9,5	6,8	4,3	5,5	10,7	1,9	8,9	22,9
August	4,0	2,9	12,9	3,7	30,0	1,0	5,3	60,7
September	10,7	2,0	9,6	38,4	12,0	7,0	7,5	4,3
Oktober	9,5	2,5	10,2	3,3	13,3	10,8	5,8	2,0
November	27,2	3,2	2,8	7,3	30,8	2,3	5,7	1,2
Dezember	14,0	8,8	3,1	31,4	16,4	2,5	2,4	2,7

Das Jahr 2002 ist als Hochwasserjahr bekannt. Die großen Wassermassen waren nur von kurzer Dauer, daher sticht der August 2002 bei der Betrachtung des Nährstofftransportes der Fuschlerache (Tabelle 9) nicht so hervor wie erwartet. Mehrere Niederschläge innerhalb eines Monats können denselben Phosphortransport bewirken. Bei der Analyse der Zellerache (Tabelle 10) ist ein markanter Unterschied zu anderen Jahren und Monaten zu bemerken. Die

Größe des Einzugsgebietes macht hier den Unterschied, lokal gefallene Niederschläge kommen bei der Zellerache schneller im Mondsee an. In einem größeren Einzugsgebiet wirkt sich, bei Annahme eines gleichmäßig über die Fläche verteilten Niederschlages, die Fließzeit aus. Das Oberflächenwasser kommt nicht gleichzeitig bei der Mündung an. Dies kann einen Rückstau bewirken beziehungsweise den Vorteil bringen, dass das Flussbett die anströmenden Wässer bewältigen kann und es zu keiner Überflutung kommt.

Die monatlichen Nährstoffausträge in den Jahren 1998 bis 2005 sind sehr unterschiedlich. Ein klimatologisch begründeter Trend ist in Tabelle 9 und Tabelle 10 zu beobachten. Die Größenordnungen sind klar, die Fuschlerache bringt ca. das fünffache an Phosphor in den Mondsee.

**Tabelle 10: Phosphor-Monatsfrachten der Zellerache für die Jahre 1998 bis 2005**

ZELLERACHE Pt [kg/Monat]								
Monat	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Jänner	1,2	1,5	2,7	0,8	3,8	3,6	3,0	1,3
Februar	0,5	28,0	7,3	2,0	3,4	1,0	1,9	5,4
März	14,9	15,5	10,4	4,0	11,5	1,6	1,8	12,1
April	2,2	2,0	2,6	2,9	1,0	0,6	1,6	4,3
Mai	0,5	2,9	0,5	0,7	0,4	0,5	0,8	2,7
Juni	0,8	0,9	0,4	2,0	0,6	0,2	2,9	1,0
Juli	2,1	0,8	0,5	0,8	0,3	0,1	1,6	2,4
August	0,5	0,4	1,8	0,8	15,7	0,1	0,8	4,8
September	1,7	0,3	1,6	7,1	1,8	0,3	1,0	0,9
Oktober	2,0	0,4	2,0	0,7	2,5	1,3	0,9	-
November	7,7	0,6	0,5	1,7	7,6	0,4	1,0	-
Dezember	2,6	2,3	0,7	9,5	2,5	0,4	0,6	-

Für den Mondsee ist interessant wie viel Nährstoffeintrag aus dem Einzugsgebiet im Jahr, beziehungsweise im Durchschnitt pro Jahr kommt. Für die Jahre, wo Pegeldata zur Verfügung stehen, wurden daher Gesamtsummen der Phosphorfracht pro Jahr in Tabelle 11 für die Fuschlerache und in Tabelle 12 für die Zellerache errechnet.

Die Jahre unterscheiden sich sehr stark. Die Sommerhochwässer 2002 und 2005 kommen zum Tragen, im Jahr 1999 war die Schneeschmelze mit einem Niederschlag kombiniert und dadurch war die Hochwasserwelle besonders stark. Das Jahr 2001 ist ein mittleres Niederschlagsjahr, das ergeben Aufzeichnungen vom hydrographischen Dienst und die Berechnungen in dieser Studie. Die Zellerache bringt im Mittel eine Tonne Phosphor im Jahr, die Fuschlerache 4,8 Tonnen.

**Tabelle 11: Phosphor-Jahresfrachten der Fuschlerache für die Jahre 1998 bis 2005**

FUSCHLERACHE Pt [kg/Jahr]								
Jahr	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
	4379	5640	4494	4754	6504	2054	3738	6448

**Tabelle 12: Phosphor-Jahresfrachten der Zellerache für die Jahre 1998 bis 2005**

ZELLERACHE Pt [kg/Jahr]								
Jahr	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
	1123	1636	947	999	1562	309	548	1057*

\* Im Jahr 2005 die Monate Februar bis September, Baustelle ab Oktober

Aus den Ergebnissen des Jahresmittel und der einfachen Wasserbilanzierung in Kapitel 4.4.4 kann man ein Verhältnis der zufließenden Wassermengen und der Phosphoreinträge in den See herstellen. Die Wangauerache ist der Zellerache sehr ähnlich, führt weniger Wasser aber mit gering höherer Konzentration (Abbildung 12). Daher kann man davon ausgehen, dass die Phosphorfracht der Wangauerache dieselbe Größenordnung hat. Über die Summe dieser drei Zubringer und das Wissen, dass noch mehrere Kleinbäche in den See münden, wurde die Gesamtsumme des Phosphoreintrags in den Mondsee auf 10 Tonnen geschätzt.

**Tabelle 13: Mittlere Phosphor-Monatsfrachten errechnet aus den Jahren 1998 - 2005**

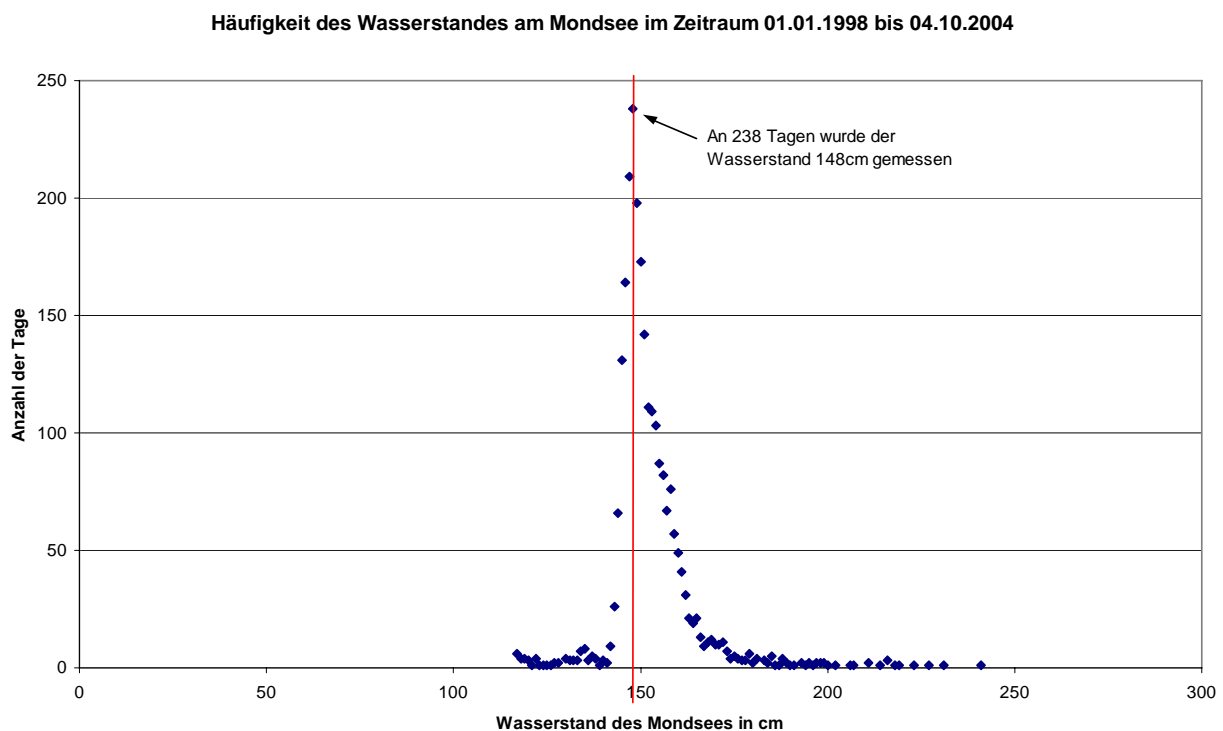
FUSCHLERACHE		ZELLERACHE
Monat	Pt [kg/monat]	Pt [kg/monat]
Jänner	2653	555
Februar	4157	1402
März	8749	2225
April	2576	516
Mai	2209	276
Juni	2358	261
Juli	2184	266
August	3674	770
September	2739	440
Oktober	1777	311
November	2413	583
Dezember	2523	578

Bei diesen gemäßigten Klimaten reagiert der Nährstofftransport sehr sensibel auf Niederschläge. Besonders der große Wasseranfall zum Zeitpunkt der Schneeschmelze kommt im März zum Tragen. Im August ist der Nährstoffaustrag durch die Sommerhochwässer erhöht, erreicht aber weit nicht die Werte für Februar und März.

Das bedeutet, dass das Ökosystem besonders im Frühling sehr sensibel reagiert. Keine zusätzlichen Nährstoffe aufzubringen, die natürliche Auswaschung abzuwarten, bringt sehr viel. Durch hohe Wassermengen wirkt sich der Multiplikationsfaktor stark aus. Sollte die Phosphorkonzentration durch menschliche Einwirkung zusätzlich erhöht sein, bringt das ein Vielfaches an Phosphorfracht als Eintrag in den See.

#### 4.4.4 Einfache Wasserbilanzierung des Einzugsgebiets

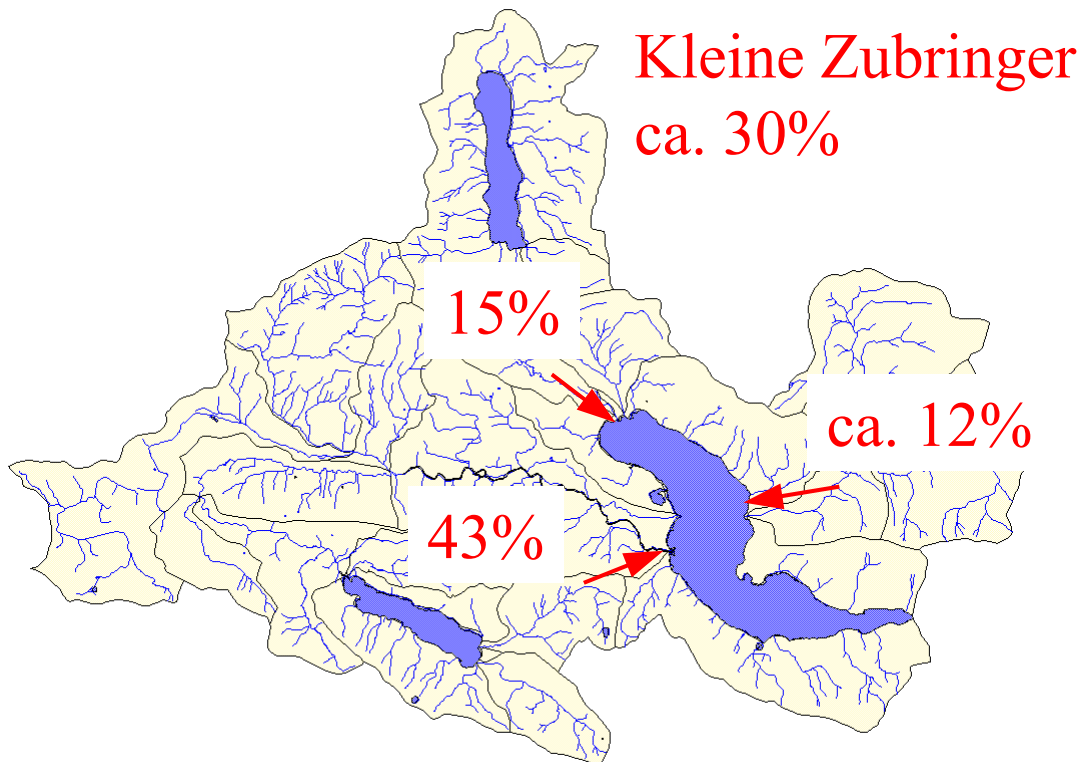
Da der Mondsee wie ein Auffangbecken fungiert und das Wasser eine Verweildauer in einem See hat, wurde versucht die einzelnen gemessenen hydrologischen Parameter der Wetterdienststellen des Landes Oberösterreich und des Landes Salzburg graphisch so darzustellen und zu analysieren, dass man ein Gefühl für die Größenordnungen und das Verhältnis zueinander hat.



**Abbildung 48: Mittlerer Wasserstand des Mondsees und dessen Häufigkeit**

Der Wasserstand des Mondsees hat eine große Auswirkung auf die Wassermassen, die zu- bzw. abfließen. Der Mondsee hat eine Ausdehnung von 14,2 km<sup>2</sup>. Ein Zentimeter Unterschied im Wasserstand entspricht 142 000 m<sup>3</sup> Wasser. Diese Volumina mussten bei den Berechnungen der einfachen Wasserbilanz berücksichtigt werden, da bei allen einfließenden Parametern nur Tagesmittelwerte zur Verfügung standen und an wenigen Stellen der Abfluss gemessen wird.

Aus den Abflusshöhen an den Pegelmessstellen zweier Zubringer und des Abflusses vom Mondsee wurde versucht, die Größenordnungen der zufließenden Wassermengen zu berechnen. Die zeitliche Verschiebung aufgrund der Aufenthaltsdauer im Mondsee wurde berücksichtigt. In Abbildung 49 kann man erkennen, dass die Fuschlerache mit 43% fast die Hälfte der gesamten Wassermenge in den Mondsee bringt.



**Abbildung 49: Prozentuelle Verteilung zufließender Wassermengen**

Die Zellerache ist mit 15%-Anteil eine Spur größer als die Wangauerache mit 12%. Die vielen kleinen Zubringer rund um den Mondsee haben trotzdem noch einen Gesamtanteil von 30% an der gesamten zufließenden Wassermenge. Da es nicht möglich ist ohne Messdaten dieses Verhältnis genau zu berechnen wurde in der Darstellung der Ausdruck „circa“ gewählt. Für eine exakte Berechnung ist das Gebiet zu groß und die Datenlage dazu nicht ausreichend.

## 5 ZUSAMMENFASSUNG UND DISKUSSION

Mit den erhobenen Messdaten wurde es möglich die Nährstoffeinträge in den Mondsee für 2 große Zubringer auch für vergangene Jahre zu berechnen. Die Messungen an 98 Punkten im Einzugsgebiet geben Aufschluss darüber wie sich die Phosphorkonzentration verhält und wie sich der Längsverlauf der drei großen Zubringer darstellt. Aus diesen Ergebnissen konnte man die durchschnittliche Nährstofffracht in den Mondsee abschätzen. Mit Hilfe dieses Parameters wurde der kritische Nährstoffeintrag für den Mondsee, der als oligotroph eingestuft wird, berechnet. Die Berechnungen haben ergeben, dass der Nährstoffeintrag in den Mondsee ziemlich genau dem kritischen Flächenausstrag entspricht. Die gemessenen Phosphorwerte im Seewasser ergeben ein ähnliches Bild in den letzten Jahren. Es tritt kaum eine Veränderung in der Phosphorkonzentration im Freiwasser auf, allerdings kann man den Trend nach dem Hochwasserjahr 2002 und dem trockenen Jahr 2003 gut erkennen, was bestätigt, dass bei gleich bleibendem Phosphoreintrag keine Verbesserung im See zu erwarten ist.



Mit den erhobenen Zeitreihen konnte man einen Einblick gewinnen, wie sich die Phosphorkonzentration bei der Schneeschmelze verhält. Wassergesättigte Böden nach der Winterruhe, kein Niederschlag und trotzdem hohe Nährstoffkonzentrationen lassen den Schluss zu, dass besonders im Frühjahr Phosphor mobiler und leichter verfügbar ist als im restlichen Jahreskreis. Das bedeutet, dass das Ökosystem besonders im Frühling sehr sensibel reagiert. Die Nährstoffe nach Abklingen der Schneeschmelze aufzubringen, die natürliche Auswaschung abzuwarten, bringt weniger Auswaschung ins Gewässer und die später gedüngten Nährstoffe stehen vor Ort für das Pflanzenwachstum, besonders für den ersten Aufwuchs, zur Verfügung.

Der Anteil an gelöstem Phosphor ist mit über 50 Prozent bei 70 Prozent der erhobenen Messwerte sehr hoch. Zu erwarten war, dass partikulär transportierter Phosphor den Hauptanteil an der Phosphorfracht hat. Dass ein großer Teil des Phosphors gelöst in den See gelangt macht ihn im aquatischen System schneller verfügbar und begünstigt das Algenwachstum.

Die erhobenen Messwerte über das Abflussverhalten und die Phosphorkonzentration im Einzugsgebiet dienen als Basis für die Kalibrierung eines Modells zur Berechnung des mittleren jährlichen Nährstoffeintrags. Phosphorkonzentration, Phosphorfracht und Flächenausstrag wurden für die einzelnen Punkte im Einzugsgebiet für verschiedenen Zeitpunkte berechnet und so an den Bearbeiter Hermann Klug übergeben.

Um einen Teilaspekt des Wasserkreislaufs, die potentielle Evapotranspiration, in ihrer Größenordnung abschätzen zu können wurden unterschiedliche Verdunstungsmodelle herangezogen. Mit der Bedingung räumliche Unterschiede mit den Eingangsparametern erfassen zu können, um eine sinnvolle Anwendung in einem Geographischen Informationssystem zu ermöglichen, wurden die Berechnungen mit den vorhandenen klimatologischen Daten durchgeführt und ein Modell (WENDLING, 1984) als das beste ausgewählt.

## 6 LITERATUR

BURMANN R. und L. O. POCHOP 1994: Evaporation, Evapotranspiration and climatic data, Developments in Atmospheric Science, 22, Elsevier 1994

DIN 19685: Klimatologische Standortuntersuchung im landwirtschaftlichen Wasserbau, Ermittlung der meteorologischen Größen (März 1979 bzw. Neubearbeitung 1996)

DIN 38405 Teil1: Deutsche Einheitsverfahren zu Wasser-, Abwasser-, und Schlammuntersuchung, Anionen (Gruppe D), Bestimmung der Chloridionen D1

DIN 38409: Summarische Wirkungs- und Stoffkenngrößen (Gruppe H) - Bestimmung der abfiltrierbaren Stoffe und des Glührückstandes (H2), 1987

DOKULIL M., A. HAMM und J.-G. KOHL 2001: Ökologie und Schutz von Seen, 1. Auflage UTB für Wissenschaft

DOORENBOS, J. und W. O. PRUITT 1984: Guidelines for predicting crop water requirements, Food and Agriculture Organisation United nations, FAO irrigation and Drainage paper 24, Rome

GISI U., 1997: Bodenökologie, 2. Auflage Thieme Verlag

HAUDE W., 1955: Zur Bestimmung der Verdunstung auf möglichst einfache Weise, Mitt. Deutsch. Wetterdienst Nr. 11

HARGREAVES G H. 10/1975: Water requirements manual for irrigated crops and rainfed agriculture, Utah State University October 1975

HEUVELDOP, J., J. PARDO TASEIS, S. QUIROS CONEJO und L. ESPINOZA PRIETO 1986: Agroclimatología Tropical, Primera Edición, Editorial Universidad Estatal a Distancia, San José, Costa Rica

MEYNS, RIBI, und ILLI 1965: EAWAG - Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz, CH-8600 Dübendorf

ÖNORM EN 27888: Wasserbeschaffenheit – Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit (ISO 7888: 1985) Dezember 1993

PENMAN H. L. 1956: Estimating evaporation, Trans. Amer. Geophys. Union 37 No. 1

SCHRÖDTER H. 1985: Verdunstung – Anwendungsorientierte Messverfahren und Bestimmungsmethoden. Springer-Verlag

SCHEFFER F. 2002: Lehrbuch der Bodenkunde / Scheffer / Schachtschabel, 15. Auflage Spektrum Akademischer Verlag GmbH

STAUDINGER B. 2006 (eingereicht): Randbedingungen und Parameterdefinitionen für das Verdunstungsmodell nach Wendling im Einzugsgebiet des Mondsees

TURC L. 1961: Évaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle, Ann. Agron. Paris 12, 1961

WENDLING U., und J. MÜLLER 1984: Entwicklung eines Verfahrens zu rechnerischen Abschätzung der Verdunstung im Winter, Z. Meteorol. 34 (1984), 82-85

WENDLING U., H.-G. SCHELLIN und M. THOMÄ 1991: Bereitstellung von täglichen Informationen zum Wasserhaushalt des Bodens für die Zwecke der agrarmeteorologischen Beratung. Z. Meteorol. 41