

DIPLOMARBEIT
Master`s Thesis

**NÄHRSTOFFFLÜSSE
IM EINZUGSGEBIET DER
ÖTZTALER ACHE**
Einfluss der Erosion und der Geologie

verfasst von
MESCHIK PETER
an der
TU WIEN
Fakultät Bauingenieurwesen

unter der Leitung von
Ao.Univ.Prof.Dipl.Ing.Dr.techn.
ZESSNER MATTHIAS
am

INSTITUT FÜR WASSERGÜTE, RESSOURCENMANAGEMENT
UND ABFALLWIRTSCHAFT

Ostern 2010

Danksagung:

An dieser Stelle bedanke ich mich bei meiner Frau Joanna und meiner Tochter Antonia die mir Kraft gegeben haben, das Studium erfolgreich abzuschließen.

Meiner Mutter und Großeltern sowie vor allem meinem Großvater danke ich für die finanzielle Unterstützung.

Ich hoffe mit dieser Diplomarbeit im Dienste der heimischen Wissenschaft nachhaltige Entwicklungen zu fördern.

Zu besonderen persönlichem Dank verpflichtet bin ich Prof. Matthias Zessner welcher mir das wissenschaftliche Arbeiten näher brachte.

ABSTRACT:

Part of the developing process from the model MONERIS, this master thesis brings forward in direction "fitting on mountain areas". The extraordinary presence of the nutrient phosphorus in the Tyrolean mountain valley of the Ötztaler Ache brought up questions. MONERIS was not able to explain the measured values, in that non agricultural area. The thesis gives answers according to literature research and analysing measured data. In the end MONERIS was adapted in that sense, and was able to produce reality - close values for phosphorus and nitrogen as well. The next step required is to test the application at other mountain areas.

ZUSAMMENFASSUNG:

Die vorliegende Diplomarbeit stellt in erster Linie einen Schritt bei der laufenden Weiterentwicklung des Modells MONERIS in Richtung Anpassung auf Gebirgsregionen dar. Dabei wird das Auftreten der Pflanzennährstoffe Phosphor und Stickstoff im hochalpinen Ötztal in Tirol analysiert. Die Arbeit sucht unter anderem nach Erklärungen für das ungewöhnlich hohe Auftreten von Phosphor in diesem landwirtschaftlich kaum genutzten Alpental. Die aktuelle Modellversion, welche zur Analyse, Erklärung und Simulation von Nährstofffrachten in Gewässersystemen entwickelt wurde, war nicht in der Lage insbesondere die Phosphorfrachten in der Ötztaler Ache realitätsnah abzubilden.

Durch Zusammenführung von Gütedatenanalyse, Literaturrecherche und darauf aufbauender Anpassung der Modellansätze konnte im Zuge der Arbeit eine befriedigende Anpassung des Modells an vergletscherte Bergtäler erzielt werden, welche jedoch noch an anderen Gebieten zu erproben ist.

Die Arbeit hat gezeigt, dass die Standardmodellansätze für Gebirgsflächen in Gebieten, wo diese dominieren nicht ausreichen. Für die Phosphorkonzentration im anstehenden Gestein musste gestützt auf Messungen und einer Literaturrecherche ein viermal höherer Wert eingesetzt werden, während bei Stickstoff in diesen Gesteinen kein Stickstoff anzusetzen ist. Für die Erosionswirkung unter Gletscherflächen wurde ein eigener Ansatz mit erhöhter Rate entwickelt, welche sich auf Messungen stützt.

Inhaltsverzeichnis

1Einführung in das Thema.....	3
1.1 Wassergüteprobleme durch N und P	3
1.1.1 Anthropogener Phosphorumsatz	4
1.1.2 Natürlicher und anthropogener Stickstoffkreislauf.....	6
1.2 Charakteristik des Ötztals.....	9
1.3 Einordnung des Themas und Fragestellung.....	10
2Methoden und Material.....	12
2.1 Modellberechnung.....	12
2.1.1 Emissionsmethode nach MONERIS.....	13
2.1.2 Verwendetes Datenmaterial im Ötztal.....	19
2.2 Referenzfrachtberechnungen	25
2.2.1 KORRELATIONSMETHODE.....	26
2.2.2KLASSENMITTELMETHODE.....	32
2.2.3MONATSMITTELMETHODE	34
2.2.4Datenmaterial Referenzberechnungen.....	36
3Ergebnisse.....	38
3.1 Phosphor	38
3.1.1 Modellergebnisse Phosphor-Emissionen.....	38
3.1.2 Referenzberechnungen - Phosphor.....	42
3.1.3 Modellergebnisse Phosphor-Immissionen.....	43
3.1.4 Gegenüberstellung Phosphor - Schwebestoffe.....	44
3.2 Stickstoff	47
3.2.1 Modellergebnisse Stickstoffemissionen.....	47
3.2.2Referenzberechnungen Stickstoff.....	48
3.2.3Modellergebnisse Stickstoff-Immissionen	51
3.3Modellgüte für Phosphor und Stickstoff.....	52
3.4Diskussion.....	54
3.4.1 Diskussion Phosphor	54
3.4.2Diskussion Stickstoff.....	55
4Modellkalibrierung.....	56

Nährstoffflüsse im Einzugsgebiet der Ötztaler Ache

4.1	Phosphorfracht - über den Erosionspfad.....	56
4.1.1	Ansatz P-Konzentration im Gestein	57
4.1.2	Ansatz Erosionwirkung Gletscher.....	62
4.2	Stickstoff - über natürlichen Erosionspfad.....	65
4.2.1	Ansatz N-Konzentration im Gestein.....	65
4.3	Stickstoff - über Grundwasserpfad.....	67
4.4	Retentionswirkung beim den Schwebestoffen.....	71
5	Verbesserte Ergebnisse.....	74
5.1	Phosphor	74
5.1.1	Modellergebnisse Phosphor - Emissionen.....	74
5.1.2	Referenzberechnungen Phosphor.....	75
5.1.3	Retention und Phosphor - Immissionen.....	78
5.1.4	Verbesserung der Modellgüte.....	79
5.1.5	Diskussion.....	81
5.2	Stickstoff.....	82
5.2.1	Modellergebnisse Stickstoff - Emissionen.....	82
5.2.2	Referenzberechnungen Stickstoff.....	85
5.2.3	Retention und Stickstoff.....	85
5.2.4	Verbesserung der Modellgüte.....	86
5.2.5	Diskussion.....	88
6	Schlussbetrachtungen.....	89
7	Anhang.....	91
	LITERATURVERZEICHNIS.....	92
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	94
	TABELLENVERZEICHNIS.....	95

1 Einführung in das Thema

1.1 Wassergüteprobleme durch N und P

DIE NÄHRSTOFFE STICKSTOFF UND PHOSPHOR:

Das Pflanzenwachstum in einem Ökosystem wird begrenzt durch die relativen Anteile der Biomasse aufbauenden Elemente. Diese Hauptelemente: Kohlenstoff C, Wasserstoff H, Sauerstoff O, sowie die Pflanzennährstoffe Stickstoff N, und Phosphor P zählen alle zur Gruppe der Nichtmetalle. Sie stehen beim Biomassenaufbau in einem bestimmten Verhältnis. Es beträgt in etwa $C:H:O:N:P = 106:180:44:16:1$. Während Kohlenstoff C und Wasserstoff H meist ausreichend im Ökosystem vorhanden sind, können vor allem Stickstoff N und Phosphor P ein Pflanzenwachstum limitieren. Das Vorhandensein von ausreichend Licht ist ebenfalls eine Bedingung für den Aufbau.

Die Beobachtung von Stickstoff und Phosphor im Ökosystem ist daher von großer Bedeutung, da beide Lebensbestimmende Nährstoffe sind. Die Zivilisation leitet mitunter große Mengen dieser Nährstoffe als Abfallprodukt von technischen Prozessen, der Landwirtschaft und aus dem urbanen Bereich in die Gewässersysteme.

WASSERGÜTEPROBLEME DURCH NÄHRSTOFFÜBERSCHUSS:

Ein Auftreten von großen Mengen an Phosphor und Stickstoff in einem Gewässer kann zum Problem werden. Da diese Nährstoffe meist wachstumslimitierend wirken, führt ein übermäßiges Vorhandensein zu teilweise explosionsartigem Aufbau von Biomasse im Ökosystem.

Während die Pflanzen als autotrophe Lebewesen im Zuge ihres Wachstums, über die Photosynthese Kohlenstoff aus CO_2 verwerten und dabei O_2 produzieren, sind die heterotrophen Lebewesen auf O_2 und organischen Kohlenstoff angewiesen.

Am Ende der Lebensdauer der Pflanzen kommt es zu einer Vermehrung, der sich auf den Abbau von abgestorbenen Pflanzenresten spezialisierten Organismen, da nun auch ihnen ein erhöhtes Nahrungsangebot bereitsteht. Dies führt jedoch zu einer Sauerstoffzehrung im System, da dieser von der größeren Bakterienpopulation veratmet wird. Das Gleichgewicht ist erheblich gestört, und wie bei einer Kettenreaktion müssen höhere Lebewesen das betroffene Gewässer verlassen oder sterben ab.

Nährstoffflüsse im Einzugsgebiet der Ötztaler Ache

Es kommt durch die erhöhte Nährstoffzufuhr und das dadurch induzierte erhöhte Pflanzenwachstum sowie den damit verbundenen abgestorbenen organischen Kohlenstoff zu einem plötzlichen Kippen des regionalen Ökosystems, so dass oxidative Abbauprozesse nun nicht mehr möglich sind, und es zu Fäulnisprozessen und anoxischen Abbau kommt.

Es dauert sehr lange das gekippte Gewässer wieder zu sanieren. Aus diesem Grund wird bei Gewässern und Flusssystemen, im Zusammenhang mit Nährstoffen meist von einer Nährstoffbelastung gesprochen. Als Beispiel wäre hier der Problemkreis rund um die Eutrophierung, also Überernährung des Donaudeltas, zu nennen. Überdies ist Phosphor eine begrenzte Ressource, welche über die Flusssysteme aus dem Ökosystem abgezogen wird und für den Menschen unwiederbringlich am Meeresgrund sedimentiert.

(vgl.[1])

1.1.1 Anthropogener Phosphorumsatz

PHOSPHOR ALLGEMEIN:

Phosphor ist ein chemisches Element mit der Kurzbezeichnung P und der Ordnungszahl 15. In Reiner Form ist das Element höchst reaktiv und verbrennt beim Kontakt mit Luft unter Abgabe von Energie. Daher auch der Name Phosphoros aus dem Griechischen, was Lichtträger bedeutet. Das Element ist relativ selten und kommt in der Erdkruste nur zu etwa 0,09% vor. Phosphor kommt sowohl organisch als auch anorganisch gebunden vor. (vgl.[3])

NATÜRLICHER PHOSPHORKREISLAUF:

Phosphor ist ein für alle Lebensvorgänge in der Biosphäre unersetzliches Element. Jahrtausende lang wurde dieser in der Biosphäre im Kreis geführt. Im folgenden wird dieser kurz beschrieben.

Organisch gebundener Phosphor ist für den Aufbau der DNA aller Lebewesen von zentraler Bedeutung und ist über den ATP/ADT Zyklus für die zelluläre Energieversorgung verantwortlich. Phosphor dient in Organismen als Energieträger und Speicher, welche Stoffwechselprozesse überhaupt erst ermöglichen.

Der größte Teil des auf der Erde vorkommenden Phosphors ist in der Form von Phosphatmineralien im Boden festgelegt. Von Pflanzen wird er in Form von Phosphationen aufgenommen und in verschiedenen Verbindungen gespeichert. Auch bei Tier und Mensch ist Phosphor in der Form entsprechender Verbindungen vorhanden.

Nährstoffflüsse im Einzugsgebiet der Ötztaler Ache

Stirbt die Pflanze ab, so wird die organische Substanz dem Boden zugeführt und dort von Bakterien und Pilzen abgebaut. Auch die Exkremate von Tier und Mensch, die P-Verbindungen enthalten, werden auf diese Weise zersetzt. Ein Teil des so verfügbar gemachten Phosphors wird in den Körper der Mikroorganismen eingelagert, der Rest wird freigesetzt und geht in den Boden wo er in verschiedene Phosphate umgesetzt wird. (vgl.[2])

ANTROPOGENER PHOSPHORUMSATZ:

Diesem ausführlich beschriebenen natürlichen Kreislauf in der Biosphäre steht ein mit dem explosionsartigen Bevölkerungswachstum an Bedeutung gewinnender anthropogener Phosphorumsatz gegenüber. Der vom Menschen in Bewegung gesetzte Stofffluss hängt mit dem Bedürfnis nach Nahrung für den Menschen und dessen Nutztiere zusammen. Um diesem Bedürfnis zu genügen gibt es eine globale, räumlich sehr ausgedehnte Dimension des Phosphorumsatzes.

Dabei ist das größte Lager phosphorhaltiges Gestein. Dieser große Vorrat ist das Reservoir für diesen Umsatzprozess. Der Phosphor wird gewöhnlich auf natürlichen Weg über Verwitterung und Erosion des Gesteines in den Prozess eingebunden. Da dies meist nicht mehr ausreicht, werden die Böden für die intensive landwirtschaftliche Nutzung durch Phosphat, welches im Minereraldünger enthalten ist angereichert. Abbauwürdige Gesteinsvorkommen aus denen Phosphat gewonnen wird, befinden sich beispielsweise in Nordafrika.

Auf den Anbauflächen bleibt bei Intensivlandwirtschaft der größere Teil des eingesetzten Phosphors als Überschuss liegen, und gelangt von dort zum Teil über Erosion oder mit dem Niederschlag ins Gewässersystem. Der andere Teil gelangt als in den Pflanzen gebundener Phosphor in die Nahrungskette von Tier und Mensch. Über die Ausscheidungen verlässt der Phosphor den Organismus wieder und gelangt im Idealfall über die Kanalisationen zur Kläranlage. Dort findet er sich in Teilmengen im Klärschlamm wieder und kann, sofern dieser nicht belastet ist, dem landwirtschaftlichen Kreislauf zugeführt werden. Jener Teil, welcher sich im Abfluss der Kläranlage befindet, gelangt ins Gewässer.

Über die Flüsse wird der aus urbanen oder landwirtschaftlichen Quellen stammende Phosphor ins Meer verfrachtet und sedimentiert dort für den Menschen unwiederbringlich. Auf diese Weise geht viel Phosphor verloren da er aus den Meeren technisch nicht mehr zurückgewonnen werden kann. Aus dieser Perspektive ist Phosphor als Rohstoff, durch seine Bindung an

Nährstoffflüsse im Einzugsgebiet der Ötztaler Ache

wirtschaftlich abbauwürdige Vorkommen, wie beispielsweise Erdöl als begrenzter Rohstoff zu bewerten. Wenn man so will ist Phosphor der Treibstoff des Lebens selbst, ähnlich wie das Erdöl der Treibstoff für Motoren ist. Es erscheint daher sinnvoll den Phosphor so weit als möglich in einem anthropogenen Kreislauf zu halten und Verluste langfristig zu minimieren.

(vgl. [3], [4])

1.1.2 Natürlicher und anthropogener Stickstoffkreislauf

STICKSTOFF ALLGEMEIN:

Stickstoff ist ein chemisches Element mit der Kurzbezeichnung N. Atomar kommt Stickstoff in der Natur kaum vor, da es sich sofort durch eine stark exotherme Reaktion zu molekularem Stickstoff N₂ verbindet.

Molekularer Stickstoff ist mit 78 % der Hauptbestandteil der Luft. Er ist für die Lebewesen ein essentielles Element, das durch bakterielle Stickstofffixierung auf natürlichem Wege organisch gebunden wird. (vgl. [5])

NATÜRLICHER STICKSTOFFKREISLAUF:

Jahrtausende lang existierte nur ein natürlicher Stickstoffkreislauf um den Bedarf an Nahrungs - und Futtermittel für Tier und Mensch zu decken. Dieser sei hier kurz beschrieben.

Der irdische Stickstoff (1015 Tonnen) befindet sich zu 99% in der Erdatmosphäre. In dieser Form des gasförmigen N₂ ist jedoch für höhere Lebewesen nicht nutzbar. Aus diesem Grund geht die natürliche Nahrungsaufnahme an Stickstoffverbindungen über eine Kette an pflanzlichen und tierischen Produkten. Nur spezielle Bakterien sind in der Lage Luftstickstoff direkt aus der Atmosphäre zu binden, und den Pflanzen an den Wurzeln zur Verfügung zu stellen. Dies ist die einzige Möglichkeit Stickstoff in den Kreislauf zu bringen. Alle anderen Pflanzen und die Tiere sind auf den Stickstoff angewiesen, welcher sich in der Biosphäre im Kreislauf bewegt.

Alle höheren Lebewesen Organismen enthalten Stickstoff in Form von Eiweißverbindungen. Diese sind aus verschiedenen Aminosäuren aufgebaut, die der menschliche und tierische Körper entweder selbst synthetisieren kann oder aber mit der Nahrung aufnehmen muss. Die Pflanzen dagegen sind autark. Sie stellen, die von ihnen benötigten Aminosäuren alle selbst her und sind daher das primäre Nahrungsmittel von höheren Lebewesen.

Nährstoffflüsse im Einzugsgebiet der Öztaler Ache

Für die Synthese der Aminosäuren muss die Pflanze Stickstoff über die Wurzeln aus dem Boden aufnehmen. Voraussetzung dafür ist, dass Stickstoff in Form von Nitrat- oder Ammonium-Ionen vorliegt. Dies gewährleistet eine breite Palette unterschiedlichster Helfer. Auf die Fixierung des atmosphärischen Stickstoffs spezialisierte Bakterien können die Wurzeln der keimenden Leguminosenpflanzen infizieren und sich dort einnisten. Die Pflanze umgibt diese Stellen mit einem kugelförmigen Knöllchen, in dem die Bakterien die Produktion von Ammoniak aus Stickstoff in Gang setzen. Als Entgelt für die Beherbergung nimmt die Pflanze das synthetisierte Ammoniak auf und setzt es sofort mit organischen Säuren zu Aminosäuren um, da freies Ammoniak für sie selbst giftig ist.

Die in abgestorbenen Pflanzen und den Exkrementen von Tieren und Menschen enthaltenen Stickstoffverbindungen werden wiederum von Bakterien zu Ammoniak beziehungsweise Ammonium-Ionen abgebaut und anschließend von anderen Bakterienstämmen zu Nitrit- beziehungsweise Nitrat-Ionen oxidiert. Allerdings steht nicht die gesamte so erzeugte Nitratmenge den Pflanzen als Nährstoff zur Verfügung: eine bestimmte Bakterienart, sogenannte denitrifizierende Bakterien, bedienen sich des Nitrats als Sauerstoffquelle. Dabei entstehen Stickstoff und Distickstoffoxid, N_2O , die als N_2 Gase in die Atmosphäre entweichen.

(vgl. [6])

ANTROPOGENER STICKSTOFFKREISLAUF:

Der natürliche Stickstoffkreislauf wurde mit dem Bevölkerungswachstum in den letzten Hundert Jahren immer mehr überprägt. Der anthropogene Stoffkreislauf wurde zu Deckung des erhöhten Bedarfs an Nahrungs- und Futtermitteln in Gang gesetzt, um die fehlenden Mengen an Ammoniak im Kreislauf bereitzustellen. 1904 wurde von BASF ein von Haber und Bosch entwickeltes Verfahren patentiert, welches in der Lage war Ammoniak großtechnisch aus Luftstickstoff N_2 herzustellen. Damit gelang beispielsweise die Nahrungsmittelversorgung Deutschlands aus der eigenen Landwirtschaft, über den gesamten 1. Weltkrieges einigermaßen aufrecht zu erhalten. Seit dieser Zeit ist der bedeutendste künstliche Stickstoffdünger Harnstoff mit der chemischen Formel CH_4N_2O . Die großtechnische Erzeugung dieses an sich natürlichen Ausscheidungsstoffes hat des Haber -Bosch Verfahren zur Grundlage. Dabei wird der Ausgangsstoff für die technische Harnstoffsynthese - Ammoniak mit der Formel NH_3 in mehreren Teilschritten aus atmosphärischen Stickstoff N_2 und Wasserstoff H_2 gewonnen. Anschließend wird durch eine Reaktion des Ammoniaks

Nährstoffflüsse im Einzugsgebiet der Ötztaler Ache

mit CO₂ Harnstoff gewonnen. Zur Bereitstellung des Wasserstoffes beim Haber - Bosch Verfahrensschritt ist dabei soviel Energie von Nöten, das heute die großtechnische Ammoniakherzeugung 1,4 Prozent des globalen Energieverbrauches entspricht. (vgl. [7], [8])

Dieser Prozess ist der Motor des anthropogenen Stickstoffkreislaufes.

Da es beim landwirtschaftlich genutzten Stickstoff wie beim Phosphor auch zu einer Überdüngung des Ackerbodens kommen kann, führt ihn der weitere Weg ins Gewässersystem und damit in die Flüsse. Eine weitere Quelle dafür, wie anthropogener Stickstoff ins Gewässer gelangen kann, ist mit den kommunalen Abwässern. Der Harnstoff CH₄N₂O kann sich in dieser energiereichen Form nicht lange halten. Sehr bald wird er von spezialisierten Bakterien im Boden oder in der Kanalisation verstoffwechselt und findet sich in Gewässern wie auch im Kläranlagenzulauf je nach Randbedingungen in der Form NH₄ oder in der toxischen NH₃ Form wieder. Dieses NH₃ macht in den Gewässern die größten Probleme und führt beispielsweise zu Fischsterben und ist auch, soll es ins Trinkwasser gelangen, für den Menschen gefährlich. Auf der Kläranlage, wie auch in den natürlichen Gewässersystemen wird durch Nitrifikanten und Denitrifikanten der NH₃ Stickstoff zuerst unter Energiegewinnung an Sauerstoff gebunden und dann veratmet, wobei N₂ in wieder in die Atmosphäre abgegeben wird. Dadurch ist der Stickstoffkreislauf von der energieintensiven technischen Erzeugung von Harnstoff CH₄N₂O aus atmosphärischem N₂, bzw den tierischen und menschlichen Ausscheidungen bis zu dessen völligen Abbau unter Energiegewinnung und der Abgaben von N₂ an die Atmosphäre geschlossen. Der geringere Teil der über eine Kläranlage geführten kommunalen Abwässer gelangt über den Kläranlagenabfluss in die Gewässer, oder befindet sich im Klärschlamm. Der Klärschlamm wird je nach Eignung der Landwirtschaft zugeführt oder deponiert. (vgl [8],[9])

Anthropogene Stickstoffflüsse entstehen andererseits auch durch die Verbrennung fossiler Energieträger, wie in Automotoren oder in der Industrie. Hierbei entweichen durch unvollständige Verbrennung sogenannte Stickoxide der Form NO_x, welche im sogenannten sauren Regen gelöst wieder auf die Erdoberfläche gelangen.

1.2 Charakteristik des Ötztales

Das Ötztal ist ein Seitental des Inntals im Bundesland Tirol. In dem Tal befinden sich die fünf Gemeinden Sautens, Ötz, Umhausen, Längenfeld und Sölden. Das Ötztal ist vor allem durch seine Wintersportgebiete in Sölden und Ötz international bekannt.

Das Ötztal ist ein in Nord-Süd-Richtung verlaufendes, 65 Kilometer langes Alpenttal. Es ist das längste Seitental des Inntals und das längste Quertal der Ostalpen. Das Tal trennt die Stubai-Alpen im Osten von den Ötztaler Alpen im Westen. Etwa 45 Kilometer westlich von Innsbruck mündet die Ötz in der Bergsturzlandschaft des Tschirgant, zwischen Haiming und Roppen in etwa 670 Meter Seehöhe in den Inn.

Das Tal erstreckt sich über fünf klimatisch und landschaftlich markante Stufen von ausgedehnten Obstgärten und Getreidefeldern am Taleingang bis hin zu der ausgedehnten Gletscherregion. In den Talstufen, die durch Schluchten und Engen voneinander getrennt sind, breiten sich die Talbecken von Ötz, Umhausen, Längenfeld, Sölden und Zwieselstein aus. Die Gletscher sind bedeutend als Wasserspeicher und für die Wasserkraft. Der Gepatschferner ist der ausgedehnteste Gletscher der Ötztaler Alpen und nach der Pasterze am Großglockner der zweitgrößte der Ostalpen. Daneben befinden sich noch drei weitere große Gletscher im Ötztal.

Klimaschwankungen führten immer wieder zu einem Anwachsen und Zurückschmelzen der Gletscher, seit einigen Jahrzehnten wird jedoch ein Gletscherschwund festgestellt.

Aufgrund der Lage weist das Ötztal ein bemerkenswert mildes Klima auf. Die Höhenunterschiede der einzelnen Talstufen wirken sich auch auf das Klima und die Vegetation aus. Durch die Lage im Regenschatten der Alpen ist das Tal eines der trockensten Gebiete des Alpenraums.

In der ersten klimatisch begünstigten Talstufe von Ötz und Sautens gedeihen Getreide und Mais. In den nächsten beiden Talstufen lediglich Kartoffel und Gerste, während es ab Sölden überhaupt keinen Ackerbau mehr gibt.

Das Ötztal liegt komplett im kristallinen Bereich. Die schieferigen Gesteine verwittern leichter und bilden die Grundlage für Vegetation und damit die höchstgelegene Dauersiedlung der Ostalpen.

Das Ötztal zählt mit rund 3,1 Millionen Übernachtungen (davon etwa 2,2 Millionen im Winter) zu den touristischen Ballungszentren Tirols. (vgl. [10])

1.3 Einordnung des Themas und Fragestellung

Der Bauingenieur agiert im Spannungsfeld zwischen Naturwissenschaften, Wirtschaft, Politik und stellt technische Lösungen für die Anforderungen der Gesellschaft bereit. Dies erfordert in Zukunft nicht nur den Menschen vor Einwirkungen aus der Natur zu schützen, sondern auch die ambivalenten Wechselwirkungen zwischen Anthroposphäre und Biosphäre in den Fokus zu bringen. Dabei stellt sich immer die Frage nach der Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit der unterschiedlichen Maßnahmen.

In Wasserwirtschaft bedeutet dies oft eine Entscheidung herbeizuführen, welche zwischen den Interessen der vielen berechtigten Nutzungen eines Flusssystemes vermittelt. Diese Entscheidungen sind wissenschaftlich herzuleiten, und aufgrund der komplexen Wechselwirkungen auch entsprechend aufwendig. Um die so massiv vom Menschen überprägten und dominierten aquatischen Lebensräume besser zu verstehen sind weitreichende Betrachtungen der Gewässer von Nöten. Das Flussgebietsmanagement beschäftigt sich mit der Betrachtung und Maßnahmenableitung auf Gewässereinzugsgebietsebene.

In der EU-Wasserrahmenrichtlinie aus dem Jahre 2000 wurde erstmals die Bewirtschaftung von Gewässersystemen auf Flusseinzugsgebietsebene zum Grundsatz erhoben. Dies ist zur Beurteilung, Maßnahmenplanung und Steuerung der Auswirkungen von Einleitungen aller Art auf die Gewässer auch absolut unerlässlich. Während in Kontinentaleuropa die Einleitungen in ein Gewässer vor der Wasserrahmenrichtlinie rechtlich Verursacher orientiert nach dem Emissionsprinzip gehandhabt wurden, kommt es nun zu einer Verschmelzung mit dem im Angelsächsischen Raum verbreiteten Auswirkungen orientierten Immissionsprinzip.

Um die Ausbreitung und Verteilung von Verunreinigungen- und Nährstoffen in Einzugsgebieten besser zu verstehen und prognostizieren zu können bedient man sich oft Modellberechnungen, bzw. Simulationen. Methoden wie beispielsweise MONERIS sollen helfen, die unterschiedlichsten Stofffrachten im Gewässer zu verfolgen und Maßnahmen daraus abzuleiten.

Es ist jedoch nicht nur die Höhe der Belastung alleine von Bedeutung, sondern vor allem auch die Strukturierung der Fracht nach ihrer Herkunft und Ursache. Daran kann man ermessen inwieweit man an den Frachten etwas verändern kann. Beeinflussen kann der Mensch in der Regel nur jene Nährstoffeinträge, welche auch von ihm verursacht werden, also anthropogen Ursprungs sind.

Nährstoffflüsse im Einzugsgebiet der Ötztaler Ache

Der Nährstoffeintrag aus der Landwirtschaft, welcher aufgrund der Überdüngung die größte vom Menschen verursachte Belastung der Flusssysteme darstellt, ist messtechnisch nicht leicht zu erfassen. Der Eintrag erfolgt nämlich nicht wie etwa bei Kläranlagen punktuell, sondern diffus über unterschiedlichste Pfade. Es kommt hinzu, dass die Belastung aus der Landwirtschaft überlagert ist durch eine natürliche Hintergrundbelastung, welche aber nicht gesondert messtechnisch erfasst werden kann. Man steht also vor dem Problem, dass man bei der größten Regelschraube, die man zur Verfügung hat - der Landwirtschaft, auch die größten Unsicherheiten aufgrund mangelndem Wissensstands hat.

In diesem Zusammenhang ist auch die Diplomarbeit zu sehen. Es geht darum, ein Gefühl dafür zu entwickeln, wie hoch jener Anteil an den Nährstofffrachten ist, welchen wir nicht verändern können. Dazu ist es notwendig ein Gebiet zu betrachten, welches kaum landwirtschaftlich oder anderwertig vom Menschen in Anspruch genommen wird. Das Ötztal ist trotz seines regen Wintertourismus, in einem vergleichsweise natürlichen Zustand erhalten geblieben und eignet sich daher besonders dafür. Die Untersuchungen sollte Anhaltspunkte liefern, wie hoch der natürliche Anteil an einer Gewässerbelastung in einem gebirgigen Land wie Österreich sein kann.

2 Methoden und Material

2.1 Modellberechnung

Zur Quantifizierung der Nährstoffeinträge in die Ötztaler Ache wurde das Modell MONERIS verwendet. In späteren Schritten wurde das Modell aufgrund seiner derzeitigen Schwächen bei Anwendung auf Gebirgsflächen kalibriert, und sollte anschließend in einem ähnlichem Gebiet validiert werden.

Im Zuge dieser Diplomarbeit wurde auf eine am Institut für Wassergütewirtschaft an der TU Wien erstellten Exceltabelle zurückgegriffen, welche sich dieser Methode bedient. Im folgenden soll nur ein Überblick über den zugrunde liegenden Gedanken gegeben werden. Jene Ansätze und Eintragspfade welche im Ötztal von Bedeutung sind, werden im Punkt 2.2.1 dieses Kapitels näher erläutert.

MONERIS (**MO**delling **N**utrient **E**missions **RI**ver Systems) ist ein Modell zur Ermittlung der Nährstoffeinträge in Flusssysteme. Es besteht aus acht Untermodellen, welche verschiedene punktuelle und diffuse Eintragspfade abbilden. Grundlage für eine Berechnung eines Flusseinzugsgebietes nach dem MONERIS Modell bilden überwiegend Daten aus dem geographischen Informationssystem (GIS), sowie diverse andere statistische Informationen. Zudem werden zum Abgleich noch Abfluss und Gütedaten des Flusssystemes benötigt.

Das Modell MONERIS wurde im Auftrag des deutschen Umweltbundesamtes entwickelt und auf die Flusssystem des Bundesgebietes angewendet. Zur Entwicklung wurden von 1995 rückblickend Daten der letzteren zehn Jahre betrachtet. Der abschließende Bericht lag im Jahr 1999 vor.

Der Anstoß zur Entwicklung der Methode war ein Beschluss der 1984 gegründete Nordseekonferenz (INK) welche eine Reduzierung der Stickstoff- und Phosphoreinträge in Nord- und Ostsee um 50% vorsah. Die Umsetzung dieser Beschlüsse stellte eine umweltpolitische Notwendigkeit und große Herausforderung dar.

Eine zentrale Frage war inwieweit Maßnahmen in den Deutschen Gewässern zu einer Verbesserung der Eutrophierungsproblematik in Nord und Ostsee führen. Dazu war es notwendig die besonders stark belasteten Regionen zu identifizieren. Auch wollte man die Nährstoffeinträge nach ihrer Ursache in Eintragspfade unterteilen, um Maßnahmen gezielt Ableiten zu können.

(vgl. [11])

2.1.1 Emissionsmethode nach MONERIS

Die Nährstoffemission eines Flusses stammen aus unterschiedlichen Quellen. Diese lassen sich aufgrund ihrer Einleitung in das Gewässer in punktuelle und diffuse Quellen einteilen.

Die punktuellen Einträge aus kommunalen Kläranlagen und von industriellen Einleitern gelangen direkt aus örtlichen Einleitungen in die Gewässer, und lassen sich dementsprechend einfach erfassen. Die restlichen Einträge sind diffus und kommen über unterschiedliche Eintragspfade in das Gewässer. In der Berechnung wird der Abfluss entsprechend diesen Pfaden in Abflusskomponenten unterteilt. Diese Unterteilung nach Komponenten ist notwendig da sich ihre Stoffkonzentrationen und die dem Eintrag zugrunde liegenden Prozesse zumeist stark voneinander unterscheiden.

Prinzipiell ist zu sagen das MONERIS so ausgelegt ist, dass man es auf theoretisch auf alle Arten von Belastungstoffen welche sich in den Gewässersystemen bewegen anwendbar ist, und nicht ausschließlich auf N und P Transport beschränkt ist.

Die für diese Arbeit verwendete Kalkulationstabelle, auf Basis des aktuellen MONERIS Wissensstandes kennt acht mögliche Emissionspfade aus denen sich die Gesamtbelastung im Gewässer zusammensetzt. Nach ihrer Herkunft benannt gibt es folgende Emissionen in den Gewässersystemen:

A. EMISSIONEN durch / aus dem / aus

1. **Erosion natürlicher Flächen**
2. Erosion landwirtschaftlich genutzter Flächen
3. **Oberflächenabfluss**
4. **Grundwasserabfluss**
5. **Schneeschnelzabfluss**
6. Drainagierungen (z.B. *Entwässerungssysteme*)
7. direkte Deposition aus der Atmosphäre (z.B. *Regen*)
8. Punktquellen (z.B. *Kläranlagen, Industrie*)

Zur Erfassung der ersten sechs Pfade ist eine Bilanzierung der Nährstoffmengen am Oberboden (*z.B. Düngeraufbringung, Ernteentzug, Deposition durch Regen*) von Nöten. Dadurch kann unter Berücksichtigung einer Akkumulation und des natürlichen Nährstoffgehaltes ein aktueller Nährstoffüberschuss im Oberboden ermittelt werden. Dieser Überschuss wird dann mit dem Niederschlagswasser auf diesen sechs verschiedenen Wegen in die Gewässersysteme mitgenommen.

Nährstoffflüsse im Einzugsgebiet der Ötztaler Ache

Der siebente Pfad erfasst zum Beispiel jene Nährstoffe welche direkt ins Gewässer einregnen.

Pfad Nummer acht erfasst Einleitungen aus Kläranlagen und Industriebetrieben.

Der Eintrag ins Gewässer welcher von urbanen Flächen herrührt wird in der vorliegenden MONERIS Version nicht berücksichtigt.

B. RETENTIONEN UND VERLUSTE

Je Länger der Weg und die Aufenthaltszeit der Nährstoffe in den Gewässern ist, desto mehr sind sie Transformation, Rückhalte und Verlustprozessen unterworfen. Diese Prozesse müssen, wenn man die Facht an einem definierten Punkt im Gewässer auf diese Art bestimmen will berücksichtigt werden. MONERIS hat diese Retentionswirkungen mit Ansätzen berücksichtigt. Auch in der Ötztaler Ache gibt es eine Retention und einen Abbau in Form der Denitrifikation beim Stickstoff. Während die Abbauprozesse in den Emissionsberechnungen schon berücksichtigt wurden, ist die Retention am Schluss von der Emission abzuziehen, um Immissionswerte zu erhalten. In den Fließgewässern überschreitet die Retention mit Ausnahme des Mündungsgebietes jedoch nie drei Prozent. Grundsätzlich tritt Retention und Denitrifikation in relevantem Ausmaß im Grundwasser auf.

Die in der Aufzählung der Emissionspfade hervorgehobenen Punkte sind in gebirgigen Gebieten wie dem Ötztal von besonderer Bedeutung. Aus diesem Grund werden die dahinter liegenden Ansätze hier näher beleuchtet.

1. NÄHRSTOFFEINTAG AUS EROSION VON GEBIRGSFLÄCHEN (vgl. [12])

Der Erosion unterliegen sowohl landwirtschaftlich genutzte Flächen als auch natürliche Flächen. Bei beiden Flächen errechnet das Programm einen Sedimenteintrag in das Gewässer. Mithilfe der Nährstoffkonzentration in den abgetragenen Bodenstoffen wird dann die Fracht berechnet. Die Einträge aus den landwirtschaftlich genutzten Flächen spielen im Ötztal keine Rolle, weshalb hier auf eine Darstellung verzichtet wird. Im folgenden wird nur auf die Berechnung der Erosionsfracht von natürlichen Flächen eingegangen. Diese natürlichen Flächen setzen sich aus Gebirgsflächen und Waldflächen zusammen.

Gebirgsflächen:

Da diese Flächenanteile im GIS nicht gesondert erfasst werden, werden sie von Moneris nach einer Bedingung definiert. Als Gebirgsflächen gilt die gesamte offene Fläche eines Gebietes, wenn dieses im Durchschnitt über 1000 Hm liegt. (Dieser Wert wird in der Kalkulationstabelle als "snow covered area " geführt). Andernfalls wird sie mit Null angesetzt.

Nährstoffflüsse im Einzugsgebiet der Ötztaler Ache

Sedimenteintrag von Gebirgsflächen:

Jener Anteil am Sedimenteintrag, welcher aus Gebirgsflächen kommt errechnet sich nun aus dem Produkt der Gebirgsfläche und der natürlichen Erosionsrate des Gebirges (*Natural erosion rate from mountain areas*), sowie einem Kalibrierungsfaktor welcher hier 1 [-] war.

Aktuell verwendet Moneris eine Rate von 4 [t/ha.a]

Nährstofffracht von den Gebirgsflächen:

Die Fracht ergibt sich nun durch Multiplikation des Sedimenteintrages [t/a] mit dem Nährstoffgehalt des Gesteines. Aktuell verwendet Moneris einen Gehalt von 150 [mg/kg] für Phosphor. Beim Stickstoff wird mit 250 [mg/kg] gerechnet.

Die Berechnung des Anteils vom Wald ist ähnlich, und wird dem Eintrag aus Gebirgsflächen hinzu addiert, um den gesamten Nährstoffeintrag aus natürlichen Flächen zu erhalten.

Im Flowchart Abbl ist der gesamte Erosionspfad überblicksmäßig dargestellt. Hier wurde nur der Teilpfad rechts außen besprochen - die natürliche Erosion. Wie man sieht gehen bei Ackerflächen der Nährstoffgehalt des Oberbodens, und die Neigung der Ackerfläche mit ein. Interessanterweise bei Gebirgsflächen nicht.

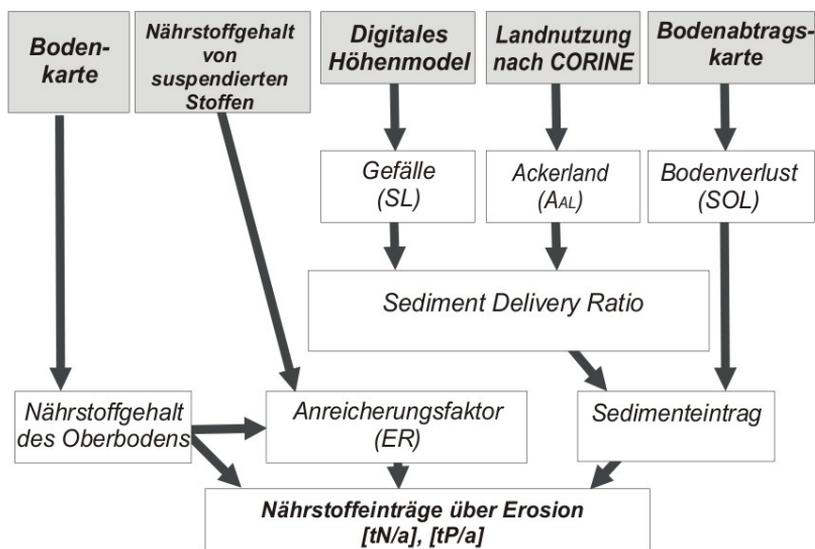


Abb.1: Flowchart: Nährstoffeinträge über Erosion [12]

NÄHRSTOFFEINTRAG ÜBER DEN PFAD OBERFLÄCHENABFLUSS (vgl. [12])

Ausgangspunkt der Berechnung stellt die Abflusskomponente des Oberflächenabflusses dar. Sie ist neben von zwei im MONERIS definierten Konstanten nur eine Funktion des Gesamtabflusses. Dieser Oberflächenabfluss in [m³/s] wird mit einer Nährstoffkonzentration in [mg/l] multipliziert, um auf die Jahresfracht aus diesem Pfad zu gelangen. Der Flowchart in Abb.2 stellt diesen dar.

P-Oberflächenkonzentration: Beim Phosphor errechnet sich dieser Wert aus einem flächengewichteten Mittel der landnutzungsspezifischen Abflusskonzentrationen. Je nach Landnutzung werden für Wald, Grünland, Ackerland und offene Flächen ohne Schneebedag unterschiedliche feste Konzentrationswerte angenommen.

N-Oberflächenkonzentration: Beim Stickstoff werden zur Mittelbildung neben den landnutzungsspezifischen Abflusskonzentrationen noch Konzentrationsanteile welche sich aus den Niederschlagsdepositionen ergeben hinzu addiert. Dieser Anteil in [mg/l] errechnet sich aus der Summe der aktuellen Depositionsraten für NO₃-N und NH₄-N in [mg/m².a] bezogen auf den Gebietsniederschlag in [mm/a].

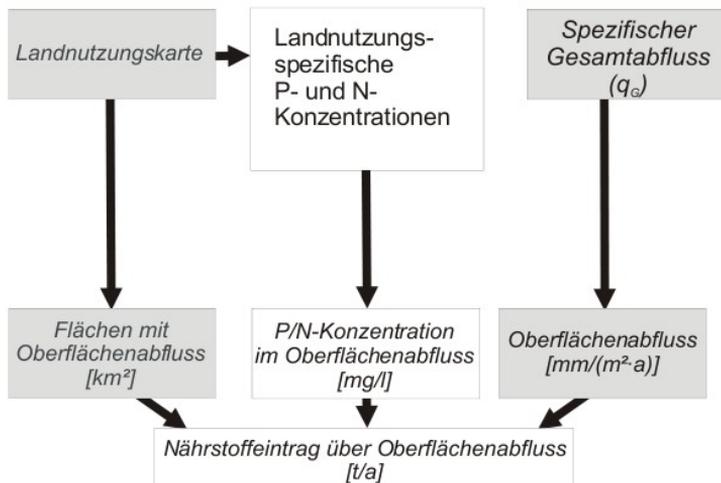


Abb.2: Flowchart:Nährstoffeinträge über Oberflächenabfluss [12]

Nährstoffflüsse im Einzugsgebiet der Ötztaler Ache

NÄHRSTOFFEINTRAG DURCH SCHNEESCHMELZWASSER

Auch hier ergibt sich die Nährstoffjahresfracht durch Multiplikation des Schneeschmelzabflusses [m³/s] mit der Konzentration des Schmelzwassers [mg/l].

Schneeschmelzabfluss: MONERIS greift bei der Berechnung des Schneeschmelzabflusses selbst nicht auf den gemessenen Gesamtabfluss zurück, sofern dieser einem im Ötztal in allen Gebieten erfülltem Kriterium genügt.

Kriterium:

Ist der spezifische Schneewasserabfluss multipliziert mit der vom Schnee bedeckten Fläche (*snow covered area*) in einem Gebiet höher als etwa 55 Prozent des Gesamtabfluss, wie hier, so berechnet sich dieser direkt aus einem Teil des gesamten jährlichen Niederschlags. Bei der Berechnung wird vom aktuellen Jahresniederschlag ein definierter Anteil von 800 [mm/a] abgezogen, und die Differenz mit einem Schneeschmelzfaktor von 4 [-] multipliziert.

snow covered area:

Dieser Zwischenwert welcher beim Erosionspfad den Gebirgsflächen gleichgesetzt wird, ist ident der offenen Fläche, solange die durchschnittliche Seehöhe des Gebietes größer als 1000 [m] ist. Andernfalls wird sie mit Null angesetzt.

Nährstoffkonzentration im Schneeschmelzwasser:

Sowohl für Phosphor als auch für Stickstoff werden konstante Werte für die Konzentration angesetzt.

NÄHRSTOFFEINTRAG ÜBER DEN GRUNDWASSERPFAD (vgl. [12])

Am Ende mündet die Frachtberechnung auch hier bei der Produktbildung aus Grundwasserabfluss [m³/s] und Nährstoffkonzentration [mg/l]. Wobei bei N noch organischen Frachtanteile aus Wald- und Feuchtgebieten addiert werden.

Berechnungsablauf lt. Abb 3:

Ausgangspunkt der Berechnung ist der Nährstoffüberschuss an der Oberfläche [kg/ha.a] aus einer Bilanzierung. Unter Berücksichtigung von Akkumulationen und Verweilzeiten wird eine Nährstoffkonzentration im Sickerwasser [mg/l] ermittelt. Davon wird dann die Retention in der gesättigten und ungesättigten Zone abgezogen, um schließlich die Nährstoffkonzentration im Grundwasser [mg/l] zu erhalten.

Auf der folgenden Seite sind die Parameter welche in der vorliegenden MONERIS Version bis dahin in die Konzentration im Grundwasser eingehen, getrennt nach Phosphor und Stickstoff angeführt.

Nährstoffflüsse im Einzugsgebiet der Ötztaler Ache

P-Konzentration [mg/l]: In die Berechnung der Phosphorkonzentration geht die Verteilung der unterschiedlichen Bodentypen stark ein. Für jeden Bodentyp sind Grundwasser Konzentrationswerte einstellbar. Auf eine nähere Ausführung wird aufgrund der Komplexität der Berechnung verzichtet.

N-Konzentration: [mg/l]: In die Berechnung gehen neben den Bodentypen vor allem der Stickstoffüberschuss auf den Flächen ein. Darüber hinaus werden Abbauprozesse im Untergrund berücksichtigt. Auf eine nähere Ausführung wird aufgrund der noch weitaus höheren Komplexität der Berechnung verzichtet. Einen Überblick über die Methodik beim Stickstoff bietet unten stehende Abb.3.

Beide ermittelten Konzentrationen werde abschließend mit dem Grundwasserabfluss multipliziert, um den Nährstoffeintrag über diesen Pfad zu erhalten.

Grundwasserabfluss: (groundwater flow)

Der Grundwasserabfluss wird so ermittelt das vom Gesamtabfluss, alle anderen unterschiedlich ermittelten Abflusskomponenten abgezogen werden. Hier sammeln sich somit alle Modellierungsfehler, was dazu beiträgt, dass dieser Pfad mit großen Ungenauigkeiten behaftet ist.

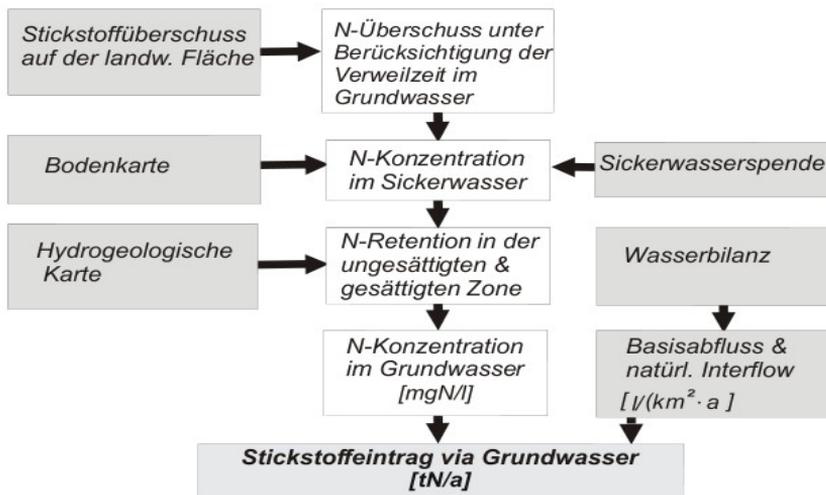


Abb.3: Flowchart Stickstoffeintrag über Grundwasser [12]

2.1.2 Verwendetes Datenmaterial im Ötztal

Im folgenden werden jene Modellinputdaten dargestellt welche sich stark auf das Ergebnis ausgewirkt haben. Diese Daten veranschaulichen auch den Charakter des Ötztals als gebirgige kaum anthropogen genutzte Landschaft. Die wichtigsten Inputdaten sind in Abb.4 dargestellt. Alle anderen ebenfalls verwendeten Inputdaten, welche nicht zum unmittelbaren Verständnis beitragen befinden sich nach Einzugsgebieten geordnet im Anhang der Institutsversion dieser Arbeit.

TEILEINZUGSGEBIETE/ABFLUSSBAUM:

Das 836 km² große Einzugsgebiet des Ötztals wurde in sechs Teileinzugsgebiete unterteilt um eine differenziertere Analyse des Gebietes zu ermöglichen. In Tabelle xy sind die diesbezüglichen Grunddaten dargestellt. In der Namensspalte befinden sich die geographischen Bezeichnungen der Fließgewässer. Die Spalte TEZG_NR enthält jene Nummern unter denen die Einzugsgebiete österreichweit für eine Betrachtung auf Einzugsgebietsebene laufen. Die Spalte A[km²] gibt die Fläche aus. In der letzten Spalte ist der Abflussbaum ersichtlich. Die Nummern in der Spalte verdeutlichen, welches Einzugsgebiet flussaufwärts des betrachteten liegt. Vergleiche hierzu auch Abb.4

#	TEZG Namen	TEZG_NR	A [km ²]	Abfl. Baum
1	Obere Gurgler Ache	80	76	-
2	Untere Gurgler Ache	90	54	1
3	Rofener Ache	100	96	-
4	Ventner Ache	105	132	2
5	Obere Öztaler Ache	110	314	1+2+3+4
6	Unter Ötztaler Ache*	120	*163	1+2+3+4+5
-	ÖTZTAL GESAMT	-	835	-

Tabelle 1: Teileinzugsgebiete/ Abflussbaum.

* Hier wurden die Ausleitungen aus dem Finstertalstausee im Ausmaß von 54 km² bereits berücksichtigt.

1. GIS BASIERENDE INPUTDATEN

Folgenden Daten wurden dem Verfasser vom Institut zur Verfügung gestellt und die wichtigsten zum besseren Verständnis zur visuellen Darstellung aufbereitet.

A. MORPHOLOGISCHE GRUNDDATEN

Die morphologischen Grunddaten bringen die Oberflächenbeschaffenheit in MONERIS ein. Das Modell verwendet zur Berücksichtigung der Geometrie eines Teileinzugsgebietes vor allem zwei Parameter. Eine durchschnittliche Seehöhe, sowie eine durchschnittliche Neigung. Diese wirken sich hier auf den Erosionspfad aus. Da dieser Pfad im Ötztal entscheidend ist, sind diese Daten in der Karte auf Seite 22 visualisiert. (Abb.4)

Ebenfalls zu diesen Daten sind Kennwert über die Beschaffenheit des Gewässernetzes zu zählen. Hier benötigt MONERIS Daten wie Gesamtlänge und Breit der Gewässer, sowie dessen Oberfläche. Diese dienen zur Berechnung der Retention und der direkten atmosphärischen Deposition.

Unten stehende Tabelle 2 listet die zwei wesentlichsten Inputdaten dieser Untergruppe auf. Eine detaillierte quantitative Darstellung der Inputdaten befindet sich im Anhang.

DATA/TEZG	80	90	100	105	110	120
Seehöhe [m.ü.A]	2781	2486	2915	2707	2352	2083
Neigung [o]	19	22	19	25	27	25

Tabelle 2: Durchschnittliche Seehöhe und Neigung der Teileinzugsgebiete.

B. DATEN ZUR LANDNUTZUNG

MONERIS benötigt eine Klassifizierung der Erdoberfläche nach deren Nutzung. Hauptaugenmerk liegt dabei im Regelfall auf Kulturland, da sich dieses aufgrund des hohen Nährstoffgehaltes im Oberboden am stärksten auf die Berechnung auswirkt. Im Ötztal sind jedoch aufgrund der geringen anthropogenen Eingriffe die offenen Flächen und der Wald dominant. Vor allem die vergletscherten Fläche, welche im MONERIS Standard Modell noch nicht berücksichtigt wurden, spielen in dieser Arbeit im Kapitel 4, in dem es um die Modellanpassung geht, noch eine wichtige Rolle.

Die Karte in Abb.4 zeigt die im Ötztal vorherrschenden Landnutzungen. Anhand eines Satellitenbildes und den von GIS ermittelten Flächenanteilen wurden hier versucht die Lage der entsprechenden Flächenanteile in einer Karte zu visualisieren. Man kann erkennen das eine Vergletscherung praktisch nur in den obersten drei Teileinzugsgebieten 80,100, und 105 vorliegen. Offene Flächen und Wald dominieren das Ötztal. In den unteren

Nährstoffflüsse im Einzugsgebiet der Ötztaler Ache

Tallagen befindet sich vereinzelt Grünland. Weitere auf der Karte aufgrund des zu geringen Anteils nicht darstellbare Landnutzungen sind Städtische Gebiete, hauptsächlich in 110 und 120, sowie ein Feuchtgebiet in 120.

Die tabellarische Darstellung der Landnutzungsdaten befindet sich unten in Tabelle 3.

NUTZUNG [%]/EZG	80	90	100	105	110	120	GESAMT [%]
offene Fläche	49	57	51	61	52	34	50
Gletscherfläche	31	0	40	9	3	0	10
Wald	19	38	8	28	40	55	35
Grünland	0	3	1	2	4	8	4
Stadt	0	2	0	0	2	3	1
Sonstiges	0	0	0	0	0	1	0

Tabelle 3: Landnutzung in den Teileinzugsgebieten.

C. DATEN ZUR GEOLOGIE

Informationen zum Bodentyp werden von MONERIS beispielsweise zur Berechnung der Nährstoffkonzentration im Grundwasser verwendet. Auch bei der Erosion findet der Bodentyp Eingang. Im Ötztal haben wir es mit Paragneisen und Orthogneisen zu tun, welche ein sehr geringe Porosität aufweisen. Lediglich in den Einzugsgebieten 110 und 120 finden sich schluffige und tonige Ackerböden in einer Größenordnung von etwa fünf Prozent.

D. HYDROLOGISCHE DATEN

Da das Wasser das maßgebende Transportmedium der Nährstoffe in die Gewässern ist, finden hydrologische Daten, mit Ausnahme der Pfade direkten atmosphärischen Deposition und Einleitung aus Punktquellen in allen Eintragspfaden Verwendung. Der wesentlichste Eingangsparameter in die Berechnung ist der Gebietsabfluss in [m³/s]. Auf ihn aufbauend errechnet sich im Zuge der Wasserbilanz die Abflusskomponenten der einzelnen Pfade.

Nährstoffflüsse im Einzugsgebiet der Ötztaler Ache

In Tabelle 4 ist die Verteilung der Jahresniederschlagssummen in [mm/a] und den dazugehörigen spezifischen Jahresabfluss in der selben Einheit tabellarisch aufgestellt. Der durchschnittliche Jahresniederschlag im Ötztal beträgt 1341 [mm/a] gegenüber einem Abfluss von 1240 [mm/a]. Es fällt auf, dass die Niederschläge verhältnismäßig gleichmäßig verteilt sind, mit der Tendenz in höheren Lagen etwas stärker aufzutreten. Augenscheinlich ist das nur niedrige Verluste aus Evatranspiration auftreten.

DATA/TEZG	80	90	100	105	110	120
Niederschlag [mm/a]	1432	1378	1434	1322	1329	1268
Abfluss [mm/a]	1325	1316	1370	1260	1148	981

Tabelle 4: Jahresniederschlagssummen und Abfluss in den TEZG.

E. DEPOSITIONSDATEN

Diese Daten geben an welche Menge an Nährstoffen aus der Atmosphäre in den Boden gelangen. Vor allem die Stickstoffdeposition ist zu beachten, während die Deposition von Phosphor ganz allgemein sehr niedrig ist. Diese Daten haben, neben der direkten Deposition ins Gewässer - Einfluss auf die Nährstoffbilanz im Oberboden.

Im Ötztal hat die Stickstoffdeposition, mangels anderer dominanter Stickstoffquellen größte Bedeutung. Bei einer gesamten Stickstoffdeposition (NH₄-N + NO₃-N) von 1,1 [g/m².a] als Schnitt über das Ötztal, bedeutet dass das etwa 920 Tonnen Stickstoff jedes Jahr auf diese Weise auf die Oberfläche des 836 [km²] großen Gebietes gelangt.

Die Tabelle 5 zeigt, wie die Stickstoffdepositionsraten von NH₄-N und NO₃-N im Ötztal auf die einzelnen Teileinzugsgebiete verteilt ist. Hierbei fällt auf, das im nördlichen Teil der Ache, also in den Gebieten 110 und 120 der NO₃-N Depositionswert bis zu sechzig Prozent höher ist als im südlichen Teil. Der NH₄-N Wert ist am Unterlauf ebenfalls dreißig Prozent höher gegenüber dem Oberlauf.

DATA/TEZG	80	90	100	105	110	120
NH ₄ -N [mg/m ² .a]	618	618	618	618	619	810
NO ₃ -N [mg/m ² .a]	335	336	335	335	416	543
Gesamt N Dep	953	954	953	953	1035	1353

Tabelle 5: Stickstoffdepositionsraten nach Teileinzugsgebieten.

2. SONSTIGE INPUTDATEN

F. DATEN ÜBER BODENVERLUST

Daten über den Bodenverlustraten werden üblicherweise aus Bodenabtragskarten entnommen. MONERIS errechnet daraus Sedimenteinträge in das Gewässer. Je nach Nährstoffgehalt dieser Sedimente wirken sich diese Einträge auf die Frachten am Erosionspfad aus.

Für das gesamte Gebiet wurden folgende Abtragsraten in die Kalkulationstabellen eingesetzt:

offene Flächen: 4.0 [t/ha.a]

Grünland: 0.30 [t/ha.a]

natürlich bedeckte Flächen 0.15 [t/ha.a]

G. ANTHROPOGENE INPUTDATEN

Diese Inputdaten waren im wesentlichen der punktuellen Eintrag von Phosphor und Stickstoff aus Kläranlagen der auch touristisch genutzten Gebiete Sölden, Sautens und Ötz in den Gebieten 110 und 120. Die Einwohnerzahl in den Einzugsgebieten geht ebenfalls in die Berechnung ein. Die Gebiete 80,90 und 100 sind kaum dauerhaft bewohnt. In der Tabelle 6 kommt dies zu Ausdruck.

DATA/TEZG	80	90	100	105	110	120
P-EINTRAG [t/a]	0	0	0	0	24	6
N-EINTRAG [t/a]	0	0	0	0	1	1
EINWOHNER	38	27	48	2907	6909	4761

Tabelle 6: Eintrag von P und N aus Kläranlagen.

ZUSAMMENFASSENDE DATENÜBERSICHT:

In Abb.4 sind jene Daten, welche die Charakterisierung des Ötztals als hochalpines Alpental veranschaulichen, in einem Bild visualisiert. Aus den meisten Datenkategorien wurde der aussagekräftigsten Parameter in das Bild übernommen.

Nährstoffflüsse im Einzugsgebiet der Ötztaler Ache

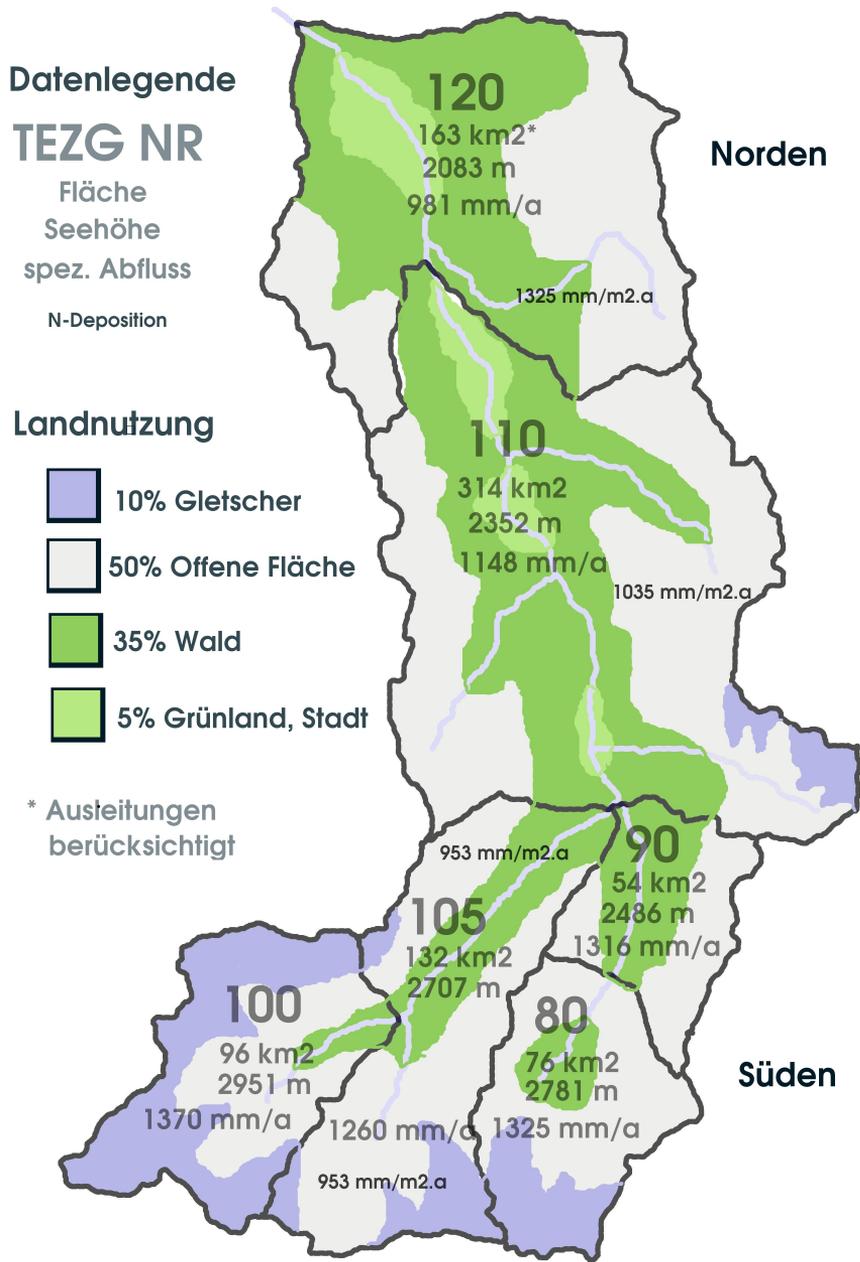


Abb.4: Charakteristische Datenübersicht des Ötztales

2.2 Referenzfrachtberechnungen

Um die Ergebnisse des Modells, den sogenannten Modelloutput interpretieren und bewerten zu können, ist man auf die Erhebung von Referenzfrachten angewiesen. Hierbei greift man zur Berechnung der Jahresfrachten auf Methoden zurück, welche sich direkt auf die im Fluss gemessenen Konzentrationen beziehen. Dadurch erhält man Werte für die Nährstoffjahresfrachten, welche auf anderen Daten aufbauen und somit unabhängig von den Berechnungsansätzen in Moneris sind. Das Monerismodell kommt wie im Kapitel 2.1 beschrieben ja ohne Konzentrationsmessungen in den Flüsse aus.

Mit diesem Bewusstsein wurde an sechs Frachtkontrollpunkten entlang des Ötztales, die Phosphor und die Stickstofffracht auf drei unterschiedliche Weisen, jedoch ausgehend vom selben Datenmaterial berechnet. Dies war nötig da jede der drei Methoden spezifische Schwächen aufweist, und es auf diese Weise systematische Fehler eher erkannt werden können, als bei der Anwendung nur einer Methode.

Zusätzlich wurde zur Plausibilisierung der Phosphorfracht auch die Schwebstofffrachten berechnet. Dies war insofern sinnvoll, da der Phosphor in diesem hochalpinen Gebiet, hauptsächlich an feine Partikel gebunden ist, und es daher einen sehr direkten Zusammenhang zwischen Schwebstofffracht und Phosphorfracht gibt, wie im Kapitel xy noch näher erläutert wird. Der überwiegende Teil des Phosphors in der Ötztaler Ache ist partikulärer Phosphor.

Die Grenzen Teileinzugsgebiete nach MONERIS wurden so festgelegt das sie den Fluss dort durchschneiden wo eine Gütemessstelle und somit ein späterer Frachtkontrollpunkt liegt. Damit wird eine Vergleichbarkeit der Modellfrachten mit den Referenzfrachten gewährleistet.

Um Frachten in diesen Kontrollpunkten berechnen zu können benötigt man je eine Gütemessstelle und eine Durchflussmessstelle. Sind diese nicht an der selben Stelle im Fluss, ist es notwendig dies bei der Berechnung mit Skalierungsfaktoren auf Seiten der am nächsten gelegenen Durchflussmessstelle zu berücksichtigen.

Als Referenzjahr für diese Vergleichsberechnung wurde das Jahr 2002 gewählt da dieses Jahr hinsichtlich Jahresabflusslinie typisch für den in Moneris betrachteten Zeitraum 2001–2006 erschien.

2.2.1 KORRELATIONSMETHODE

Aufgrund von Messungen welche in anderen Flussgebieten gemacht wurden, ist davon auszugehen das zwischen der Nährstoffkonzentration an einem bestimmten Tag und dem Abfluss am selben Tag eine Korrelation besteht.

Diese Eigenschaft macht man sich hier zunutze, da man im betrachten Referenzjahr 2002 nicht für jeden Tag einen Gütemesswert zur Verfügung hat. In der Regel hat man in jedem Monat nur einen Konzentrationswert. Es ist daher nicht möglich nur aufgrund der Messdaten eines Jahres eine brauchbare Fracht zu berechnen. Man behilft sich indem man Gütemessdaten mehrerer Jahre mit Hilfe von Korrelationsanalysen untersucht, und den gefundenen Zusammenhang dann auf das Referenzjahr überträgt.

a.) Vorgehensweise beim Stickstoff

Zur Bestimmung der Stickstofffracht nach der Korrelationsmethode wurden alle am Frachtkontrollpunkt vorhandenen Stickstoffmesswerte aus einem Zeitraum von 1996 bis 2006 herangezogen. Bei der Einmündung der Ötztaler Ache in den Inn, bei Haiming waren das beispielsweise 122 Messwerte getrennt nach Ammonium-N und Nitrat-N in einem Zeitraum von zehn Jahren. Zur Korrelationsanalyse wurde der Tagesabfluss auf der x-Achse gegenüber der Tagesstickstofffracht auf der y-Achse aufgetragen. Die Tagesstickstofffracht erhielt man zuvor durch Multiplikation der einzelnen Konzentrationsmesswerten mit dem am jeweiligen Tag herrschenden Abfluss. Der dabei zu erkennende Zusammenhang kann als annähernd linear bezeichnet werden. (siehe dazu Abb.5)

Es wurde so eine linearen Funktion der Form $f(x)=kx +d$ gewonnen, welche einen Wert für die Tagesfracht in Abhängigkeit vom Abfluss lieferte. Nun war es möglich für jeden Tag des Referenzjahres 2002, mit dem entsprechenden Tagesabfluss eine Tagesstickstofffracht zu berechnen. Addiert man diese Tagesfrachten übers Jahr auf erhält man die Stickstoffjahresfracht nach dieser Methode.

Die Vorgangsweise der Berechnung ist vom Prinzip her sehr ähnlich der Vorgangsweise beim Phosphor welche im nächsten Punkt b.) beschrieben wird.

Tagesfrachten/Abflüsse für Stickstoff

FK5

$$f(x) = 0,021x + 0,199$$

$$R^2 = 0,781$$

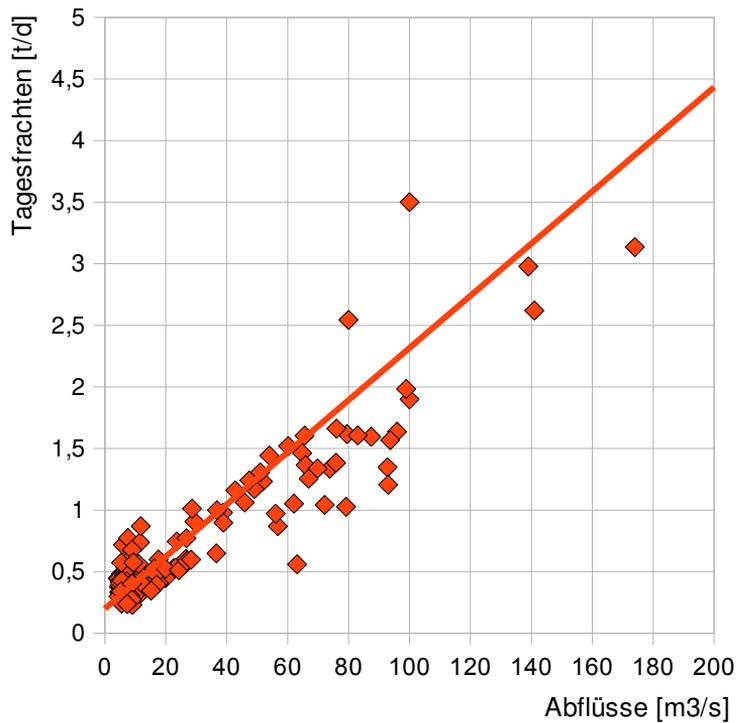


Abb.5: Stickstoff Tagesfrachten in Abhängigkeit von Abflüssen am FKP_5.

Hier sieht den Zusammenhang zwischen Höhe des Abflusses und der Höhe der Tagesfracht beim Stickstoff. Ein linearer Zusammenhang lässt sich deutlich erkennen.

b. Vorgehensweise beim Phosphor

Etwas anders die Situation beim Phosphor. Auch hier wurde vorerst eine Gegenüberstellung Tagesabfluss zu Tagesfrachten gewählt. Zwar lies sich auch hier ein Zusammenhang, in Form einer exponentiellen Funktion erahnen, die vernünftige Einpassung der Kurve gestaltete sich aber als äußerst aufwendig, und erschien für die Aufgabenstellung nicht ziel führend.

Um hier Unsicherheiten vorzubeugen wurde der Tagesabfluss direkt den Phosphorkonzentrationen gegenübergestellt, um wieder einen linearen Zusammenhang verwenden zu können.

Am Beispiel des Frachtkontrollpunktes FKP_3 soll nun gezeigt werden wie bei der Berechnung der Jahresphosphorfracht nach der Korrelationsmethode grundsätzlich vorgegangen wurde.

SCHRITT 1: Bestimmung der Korrelationsfunktion

Insgesamt waren an der maßgeblichen Gütemessstelle FW 73190207 unterhalb Söldens 83 Gütemesswerte (Phosphor gesamt unfiltriert), verteilt auf die Jahre 1996-2003 vorhanden. Die jeweiligen Tagesabflüsse wurden vom Pegel Huben entnommen. Da der Gütepegel hier nicht mit dem Abflusspegel zusammenfällt müsse ein Skalierfaktor von 0,9 auf Seiten der Abflüsse berücksichtigt werden. (siehe auch Ausgangsdaten für FKP_3)

Die Konzentrationswerte wurden nun auf der y-Achse den Abflusswerten auf der x-Achse gegenübergestellt. Aus der Punktwolke sind klar zwei Bereiche ersichtlich. Ein Bereich bis ca. 30 m³/s weist keinen klaren Zusammenhang zwischen Abfluss und Konzentration auf. Aus diesem Grund wurde hier von einer konstanter Durchschnittskonzentration von zum Weiterrechnen verwendet. (siehe dazu Abbildung..)

$$P_{ges_C_FKP3} [0-30] = 0,046 \text{ [mg/l]} \quad \{1\}$$

Ab ca. 30 m³/s Tagesabfluss beginnt sich ein linearer Zusammenhang abzuzeichnen. In diesem Bereich wurde eine Gerade der Form $f(x) = kx + d$ hineingelegt. (siehe dazu Abb.)

$$P_{ges_C_FKP3} [30-120] = 0,007618 \times Q_d_FKP3 + 0,086225 \quad \{2\}$$

wobei

$P_{ges_C_FKP3} [-]$... Durchschnittliche Phosphorkonzentration im jeweiligen Intervall

Q_d_FKP3 Tagesabfluss beim Kontrollpunkt FKP3

Nährstoffflüsse im Einzugsgebiet der Ötztaler Ache

ZUSAMMENHANG PHOSPHORKONZENTRATION-ABFLUSS

Für Abflüsse im Bereich bis 30 m³/sek. wird für die weitere Berechnung der einzelnen Tagesfrachten eine durchschnittliche Konzentration von in diesem Fall 0,046 mg/l angenommen

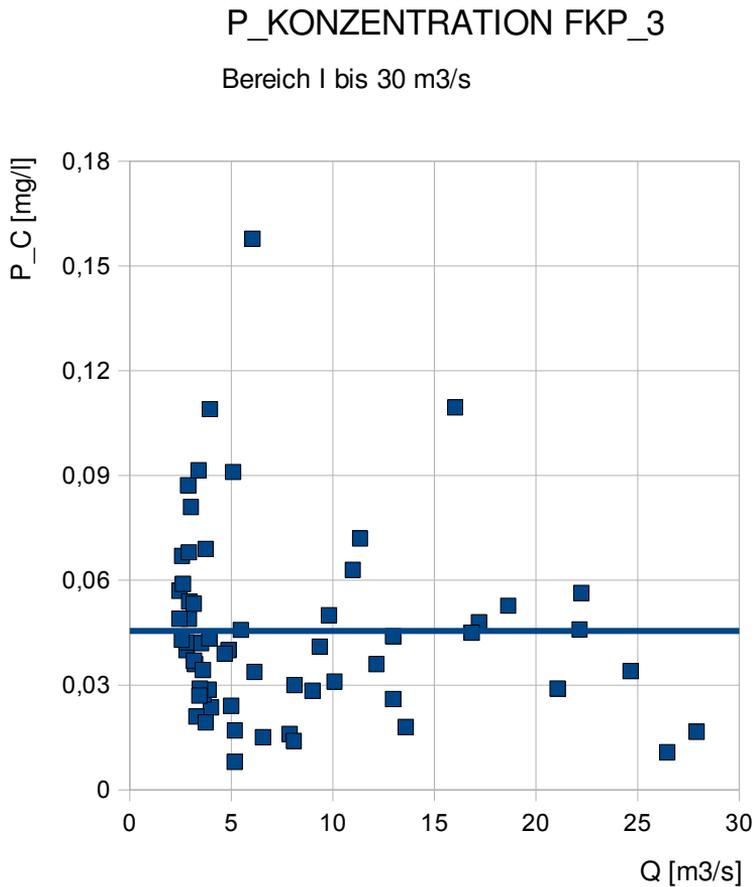


Abb.6: P_Konzentrationen zu Abflüssen unter 30 m³/s am FKP_3.

Für Abflüsse im Bereich über 30m³/sek. wird eine Gerade herangezogen.
Für Abflussbereiche ab 30 m³/s wurde ein linearer Zusammenhang herangezogen.

P_KONZENTRATION_FK3

Bereich II ab 30 m³/s

$$f(x) = 0,008x - 0,086$$

$$R^2 = 0,505$$

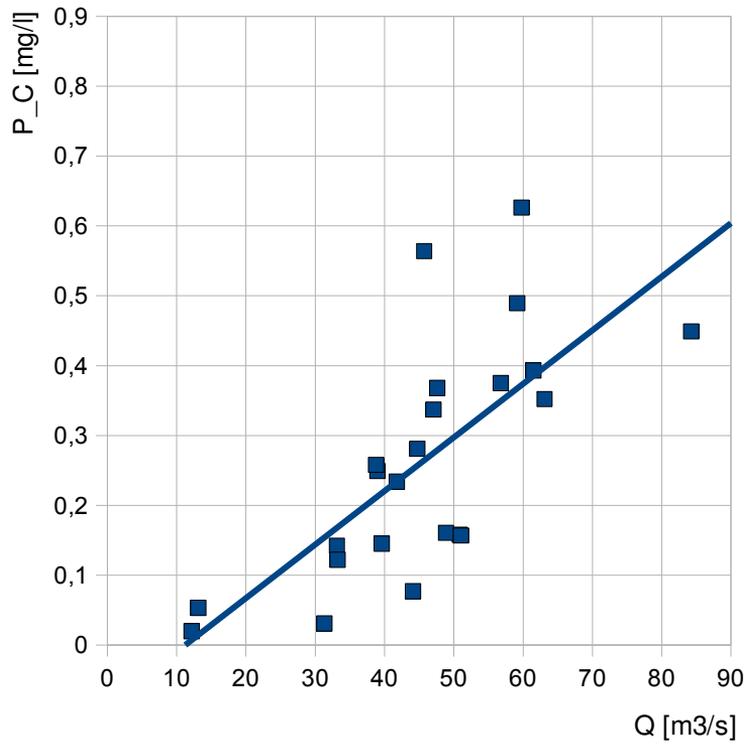


Abb.7: P_Konzentrationen zu Abflüssen über 30 m³/s am FKP_3.

SCHRITT 2: Berechnung der Tagesfrachten im Referenzjahr 2002

Mithilfe der gewonnenen Funktionen ist es nun möglich für jeden Tag des Jahres 2002 einen Wert für die Phosphorkonzentrationen an diesem Punkt zu generieren. Die Tage von Mitte Mai bis Anfang September waren erwartungsgemäß fast alle im Bereich II, also über 30 m³/s Tagesabfluss und wirkten sich dementsprechend stark auf das Endergebnis aus.

Die Tagesfrachten errechneten sich nach folgender Formel:

$$P_{d,i_Fracht_kr} = P_{ges_C_kr} \times Q_{d_FPK_i} \times (86,4/1000) \quad \{3\}$$

wobei

P_{d,i_Fracht_kr} ...Phosphortagesfracht in [t/d] nach der Korrelationsmethode
 $P_{ges_C_kr}$Phosphorkonzentration aufgrund der Korrelationsfunktion {1}, bzw. {2} in [mg/l]
 $Q_{d_FPK_i}$Tagesdurchfluss am jeweiligen Frachtkontrollpunkt in [m³/s]

Ausgerechnet für den 24.06.2002 mit einem Abfluss von 111,6 m³/s würde das bedeuten

$$P_{ges_C_kr} = 0,007668 \times 111,6 - 0,086225 = \quad \text{nach } \{2\} \\ \mathbf{0,770 \text{ [mg/l]}}$$

und weiter mit $Q_d = 111,6 \text{ m}^3/\text{s}$

$$P_{d_Fracht_kr} = 0,770 \times 111,6 \times (86,4/1000) \quad \text{nach } \{3\} \\ = \mathbf{7,42 \text{ [t/d]}}$$

SCHRITT 4: Berechnung der gesamten Jahresfracht

Im letztem Schritt waren noch die einzelnen Tagesfrachten über das gesamte Jahr aufzusummieren, was durch das Tabellenkalkulationsprogramm realisiert wurde. An diesem Frachtkontrollpunkt ergab das dann **157 [t/a]**

2.2.2 KLASSENMITTELMETHODE

Diese Methode verzichtet auf die Herleitung einer stetigen Funktion welche den Zusammenhang zwischen Abfluss und Konzentration beschreiben soll. Vielmehr werden die am betrachteten Frachtkontrollpunkt vorhandenen Gütedaten Klassen zugeordnet. Die Klasseneinteilung erfolgt nach der Höhe des am Messtag vorhandenen Abflusses. Anschließend werden Klassenmittel gebildet, welche schließlich als Grundlage zur Berechnung der Frachten für das Referenzjahr 2002 dienen.

Beispielhaft wird nun die Berechnung der Phosphorfracht in der Ötztaler Ache unterhalb von Sölden in vier Schritten dargestellt. Dieser Frachtkontrollpunkt wird mit der Bezeichnung FKP_3 geführt. (siehe dazu ABB FKP) Insgesamt waren an diesem Punkt 84 Gütemesswerte der Messstelle FW_73190207 zwischen 1996-2003 vorhanden.

SCHRITT 1: Klassen- und Intervalldefinition

KL I [größer 60 m3/sek]
KL II [40-60 m3/sek]
KL III [20-40 m3/sek]
KL IV [0-20 m3/sek]

SCHRITT 2: Zuordnung der Gütemesswerte, und Mittelbildung

In der Klasse KL I kamen vier Einzelwerte zu liegen. In den Klassen KL II und KL III jeweils zwölf. In der Klasse KL IV fanden sich 56 Einzelwerte wieder. Anschließend wurde für jeder Klasse ein Mittelwert der P-Konzentration berechnet. Hier am Beispiel für die Klasse KL I verdeutlicht.

Klassenbezeichnung: KL I
Intervall: [größer 60 m3/sek]

DATUM	Pges_C [mg/l]	Q_FKP_3 [m3/s]
20.09.1999	1,474	120,6
20.06.2000	0,352	63,09
17.06.2002	0,449	84,24
15.07.2003	0,393	61,47
KLASSENMITTEL:	0,667 mg/l	82,35

SCHRITT 3: Berechnung der Tagesfrachten im Referenzjahr 2002

Im nächsten Schritt wurden die Tagesabflusswerte Jahres 2002 am Frachtkontrollpunkt FPK_3 betrachtet. Jeder dieser 365 Werte konnte einer der fünf zuvor definierten Klassen zugeordnet werden. Die abflussstärksten Tage welche der Klasse KL I, II und III entsprachen fanden sich wie erwartet in den Sommermonaten Juni, Juli und August. Anschließend werden in Tabellenkalkulationsprogramm für jeden Tag die Tagesphosphorfrachten nach folgender Formel berechnet.

$$P_d_Fracht_kl = Pges_Cm_kl \times Qd_FPK_i \times (86,4/1000) \quad \{5\}$$

wobei

P_d,i_Fracht_klPhosphortagesfracht in [t/d] nach der Klassenmethode
 $Pges_Cm_kl$Klassenmittel der Phosphorkonzentration in [mg/l]
 Qd_FPK_iTagesdurchfluss am jeweiligen Frachtkontrollpunkt in [m³/s]

Angewendet hier beispielhaft auf den 19.06.2002 bei FPK_3 welcher aufgrund des hohen Tagesdurchflusses von 94,5 m³/s der Klasse KL I zuzuordnen war.

$$Pges_Cm = 0,667 \text{ [mg/l]}$$

Klassenmittel KL I in SCHRITT 2 ermittelt

$$Qd_FPK_3 = 94,5 \text{ [m}^3\text{/s]}$$

Wert 105 m³/s aus dem Hydraulischem Jahrbuch 2002 entnommen und wie unter 2.2 beschrieben mit dem Frachtkontrollpunkt spezifischen Skalierungsfaktor $f=0,9$ korrigiert.

Ergab an diesem Tag:

$$P_d_Fracht = 0,667 \times 94,5 \times (86,4/1000) = 5,44 \text{ [t/d]}$$

SCHRITT 4: Berechnung der gesamten Jahresfracht

Im letztem Schritt waren noch die einzelnen Tagesfrachten über das gesamte Jahr aufzusummieren, was durch das Tabellenkalkulationsprogramm realisiert wurde. In unserem Beispiel ergab das dann 171 [t/a]

2.2.3 MONATSMITTELMETHODE

Diese Methode ist der Klassenmittelmethode vom Prinzip her sehr ähnlich, und verwendet auch die selben Ausgangsdaten. (siehe dazu Ausgangsdaten) Der wesentliche Unterschied ist allerdings das anstatt Klassen nach der Abflussgrößen zu definieren, die Klasse ein bestimmtes Monat ist. Zum Beispiel Juni. Es wird dann eine Durchschnittskonzentration der betrachteten Parameters für den Juni berechnet, und alle Tagesfrachten im Juni mit dieser Konzentration berechnet.

Im folgenden wird die Berechnung am Beispiel der Phosphorfracht am selben Ort wie unterer 2.2.2, bei FKP_3 unterhalb Sölden erläutert.

SCHRITT 1: Sortieren der Messwerte nach Erhebungsmonat

Die 84 Gütemesswerte, welche sich auf sieben Jahre verteilen werden nach dem Erhebungsmonat sortiert. In der Regel gibt es in jedem Jahr einen Messwert pro Monat für die Güteparameter.

SCHRITT 2: Monatsmittelbildung

Hier betrachten wir als Beispiel den Monat Juli, in dem acht Messwerte vorhanden sind.

Monat: JULI

DATUM	Pges_C [mg/l]	Q_FKP_3 [m3/s]
16.07.1996	0,158	50,85
09.07.1997	0,031	31,32
17.06.2002	0,249	38,97
20.07.1999	0,489	59,13
24.07.2001
.....	
.....		
MONATSMITTEL:	0,277 mg/l	43,85

SCHRITT 3: Berechnung der Monatsfrachten im Referenzjahr 2002

Für die Berechnung der Monatsfracht im Juli ist der durchschnittlichen Monatsdurchfluss für den betrachteten Frachtkontrollpunkt zu ermitteln. Wie die Tagesdurchflusswerte sind auch die durchschnittlichen Monatsdurchflüsse dem Hydraulischem Atlas für die jeweilige Messstelle zu entnehmen und mit dem Skalierungsfaktor auf den Frachtkontrollpunkt anzupassen.

Die Formel zur Berechnung der Monatsfrachten lautet:

$$P_{m,i_Fracht} = P_{ges_Cmm} \times Q_{m_FPK_i} \times d \times (86,4/1000) \quad \{6\}$$

wobei

P_{m,i_Fracht} ...Phosphormonatsfracht in [t/m]

$P_{ges_Cm_m}$Monatsmittel der Phosphorkonzentration in [mg/l]

$Q_{m_FPK_i}$Monatsdurchfluss am jeweiligen Frachtkontrollpunkt in [m³/s]

dAnzahl der Tage im entsprechendem Monat.

Im konkreten Fall auf den Juli 2002 bei FPK₃ angewendet ergibt sich:

$$P_{ges_Cm_m} = 0,277 \text{ [mg/l]}$$

Monatsmittel Juli in SCHRITT 2 ermittelt

$$Q_{m_FPK_3} = 58,9 \text{ [m}^3\text{/s]}$$

Wert 65,4 m³/s aus dem Hydraulischem Jahrbuch 2002 entnommen und wie unter 2.2 beschrieben mit dem Frachtkontrollpunkt spezifischen Skalierungsfaktor $f=0,9$ korrigiert.

Ergab für den Juli 2002:

$$\begin{aligned} P_{m_Fracht} &= 0,277 \times 58,9 \times 31 \times (86,4/1000) \\ &= \mathbf{43,7 \text{ [t/m]}} \end{aligned}$$

SCHRITT 4: Berechnung der gesamten Jahresfracht

Im letztem Schritt waren noch die einzelnen zwölf Monatsfrachten des Jahres 2002 aufzusummieren. In unserem Beispiel ergab das dann **131 [t/a]**

2.2.4 Datenmaterial Referenzberechnungen

Zur Ermittlung der Frachten, standen für jeden der sechs Referenzpunkte ein Gütepegel und ein Durchflusspegel zur Verfügung. Die Lage dieser Frachtkontrollpunkte, und auf welche Pegel sie Bezug nehmen, ist der Karte in Abb.8 dargestellt. Die rot markierten Punkte stellen jene Frachtkontrollpunkte dar, welche für die Modellkalibrierung von Bedeutung waren, da sie direkt mit der Grenze von einem Teileinzugsgebieten nach MONERIS zusammenfielen. (siehe auch Anhang Seite xy)

GÜTEMESSTELLEN:

Die Gütedaten der insgesamt sechs relevanten Messstellen in der Ache wurden über ein Datenbank des Lebensministerium auf der Homepage <http://wisa.lebensministerium.at/h2O> abgefragt. Hier lagen etwa jeden Monat ein Messwert folgender vier Parameter vor:

PHOSPHOR Konzentration unfiltriert	[mg/l]
SCHWEBESTOFF Konzentration	[mg/l]
AMMONIUM Konzentration	[mg/l]
NITRAT Konzentration	[mg/l]

Ammonium und Nitatkonzentrationen werden später für die weitere Vorgangsweise zum Parameter DIN zusammengefaßt, da beide den gesamten Anorganischen Stickstoff ergeben. Der Parameter TN, also Totaler Stickstoff konnte nicht ermittelt werden da keine Messungen von organischem Stickstoff in der Ache vorliegen. Je nach Verfügbarkeit wurden Daten aus drei bis sechs Jahre im Zeitraum zwischen 1996 bis 2006 erhoben. Dadurch ergab sich je Messpunkt eine Datenmenge von 47 bis 74 Einzelwerten. Eine Ausnahme war die erst seit kurzem von der TU Wien installierte Messstelle in Vent - TU ROFEN. Dort waren zwar nur Daten aus den Sommermonaten Jahr 2009 verfügbar, jedoch eine Anzahl von 17 Einzelwerten.

DURCHFLUSSMESSTELLEN:

Hier stand für jenen Tag im Jahr ein Messwert zur Verfügung. Die Daten wurden dem Hydrologischen Atlas entnommen. Die Durchflussmessstellen fielen nicht immer direkt mit den Gütemessstellen zusammen, weshalb gegebenenfalls ein Skalierungsfaktor eingeführt wurde, welcher die Durchflusswerte entsprechend anpassten. Da hier die Datenverfügbarkeit gut war, passte sich die Datenverwendung an die Zeiträume der zugehörigen Gütemessstellen an.

Nährstoffflüsse im Einzugsgebiet der Ötztaler Ache

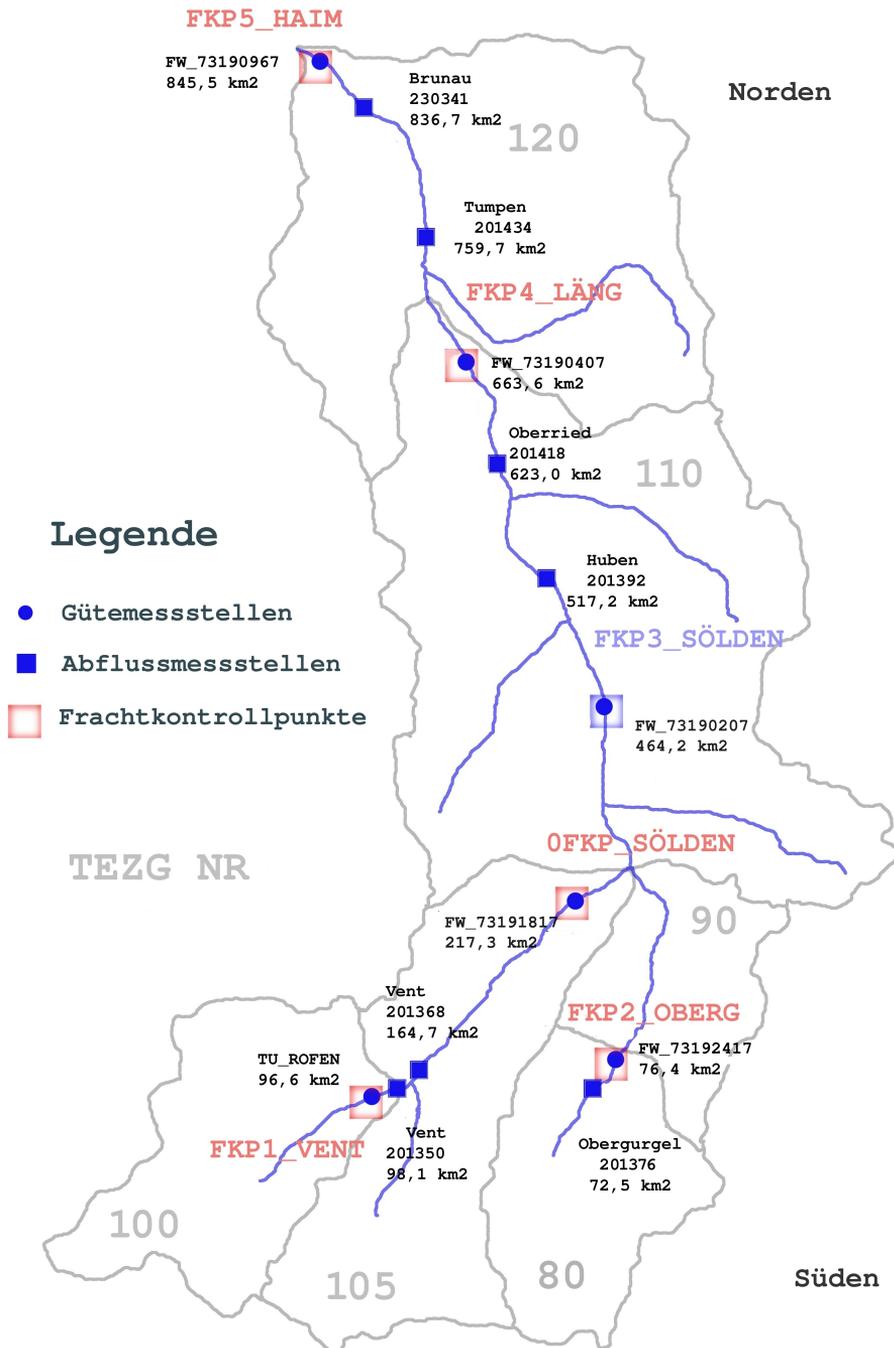


Abb.8: Frachtkontrollpunkte und zugehörige Güte- und Abflusspegel.

3 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Modellberechnung und Referenzfrachtberechnung wie sie in Kapitel 2 dieser Arbeit beschrieben wurden zusammenfassend dargestellt. Die Ergebnisse sind nach Phosphor und Stickstoff getrennt aufbereitet. Am Schluss befindet sich ein Unterpunkt 3.3, welcher sich mit der erzielten Modellgüte befasst.

Im nachfolgenden Punkt ist unter 3.4 eine Interpretation der Ergebnisse im Hinblick auf die nachfolgende Kalibrierung des Modells MONERIS in Form einer Diskussion beigefügt.

Das erste Ergebnisskapitel 3.1 über den Phosphor wird dazu genutzt um die Ergebnistabellen und Bilder zu erklären, welche sinngemäß auch für das Unterkapitel 3.2 Stickstoff gelten. Auch das Kapitel 5 Verbesserte Ergebnisse folgt dem gleichen Schema.

3.1 Phosphor

3.1.1 Modellergebnisse Phosphor-Emissionen

ERGEBNISSE NACH TEILEINZUGSGEBIETEN:

Hier sind die Modellfrachten jener vier Pfade welche im Ötztal dominieren nach Teileinzugsgebieten getrennt tabellarisch dargestellt. In der vorletzten Zeile sind die Pfade Drainagierungen, direkte Deposition, Erosion landwirtschaftlich genutzter Flächen und der quantitativ wichtigste dieser Gruppe, der Pfad Punktquellen zusammengefasst.

Die Ergebnisse der Tabelle 7 verstehen sich als spezifische Emissionen. Das bedeutet als Einträge in das Gewässersystem der Teileinzugsgebiete, deren Lage in Abb.4 erkennbar ist.

Untenstehende Tabelle ist zusätzlich in Abb.9 visualisiert.

Pfade [g/ha.a]/TEZG NR.	80	90	100	105	110	120
Fläche [km²]	76	54	96	132	314	163
Oberflächen Abfluss	117	117	121	109	96	113
Schmelzschnee Abfluss	37	37	38	34	31	30
natürliche Erosion	467	341	525	411	322	204
Grundwasser	54	56	60	53	50	79
Punktquellen u.a	0	0	0	0	27	58
TP-Emissionen [g/ha.a]	675	550	744	607	527	485

Tabelle 7 : TP Emissionen nach MONERIS original.

ERGEBNISSE NACH FRACHTKONTROLLPUKTEN:

In den für die spätere Gegenüberstellung mit den Refenzfrachten wichtigen Kontrollpunkten werden die Emissionen der Teileinzugsgebiete aufsummiert. Dabei werden für jeden Punkt nur jene Gebiete herangezogen, welche flussaufwärts liegen. Für den Punkt 0FKP werden somit die Frachten des Gebietes 100 und 105 addiert.

Die unten stehende Tabelle 8 stellt die Ergebnisse der Aufsummierungen getrennt nach Pfaden dar. Die Lage der Frachtkonrollpunkte ist ebenfalls Abb.8 zu entnehmen. Hier sieht man auch, welche Fläche flussaufwärts des jeweiligen Punktes liegt.

Pfade [g/ha.a]/ FKP	FKP_1	FKP_2	0FKP	FKP_4	FKP_5
Fläche [km²]	96	76	228	672	835
Oberflächen Abfluss	121	117	114	106	108
Schmelzschnee Abfluss	38	37	36	34	33
natürliche Erosion	525	467	459	386	351
Grundwasser	60	54	56	53	58
Punktquellen u.a	0	0	0	13	21
TP-Emissionen [g/ha.a]	744	675	664	592	571

Tabelle 8: Spezifische TP Emissionen nach Frachtkontrollpunkten.

Diese Werte verstehen sich vorerst als spezifische Emissionen, als Einträge in das Gewässer bis zu diesem Punkt. Um eine direkte Vergleichbarkeit mit den Referenzberechnungen herzustellen ist jedoch die absolute Immission, also der Nährstofftransport im betrachteten Punkt des Gewässers zu ermitteln. Siehe dazu Unterpunkt 3.1.2 dieses Kapitels.

Auf den nächsten beiden Seiten sind die spezifischen Frachten der Emissionsberechnung nach MONERIS einmal getrennt nach Einzugsgebieten und einmal auf die Frachtkontrollpunkte aufsummiert visuell dargestellt. (Abb.9, Abb.10) Vertikal summieren sich die Anteile der Pfade in [mg/ha.a] zur Gesamtfracht auf. Je nach quantitativer Bedeutung sind Pfade von unten mit dem Größten beginnend umgeordnet. Die Zuteilung der Farben bleibt auch beim Stickstoff bestehen, nicht jedoch die Anordnung.

TP = Total Phosphorus.....Gesamter Phosphor.

Spezifische TP Emissionen

original Version

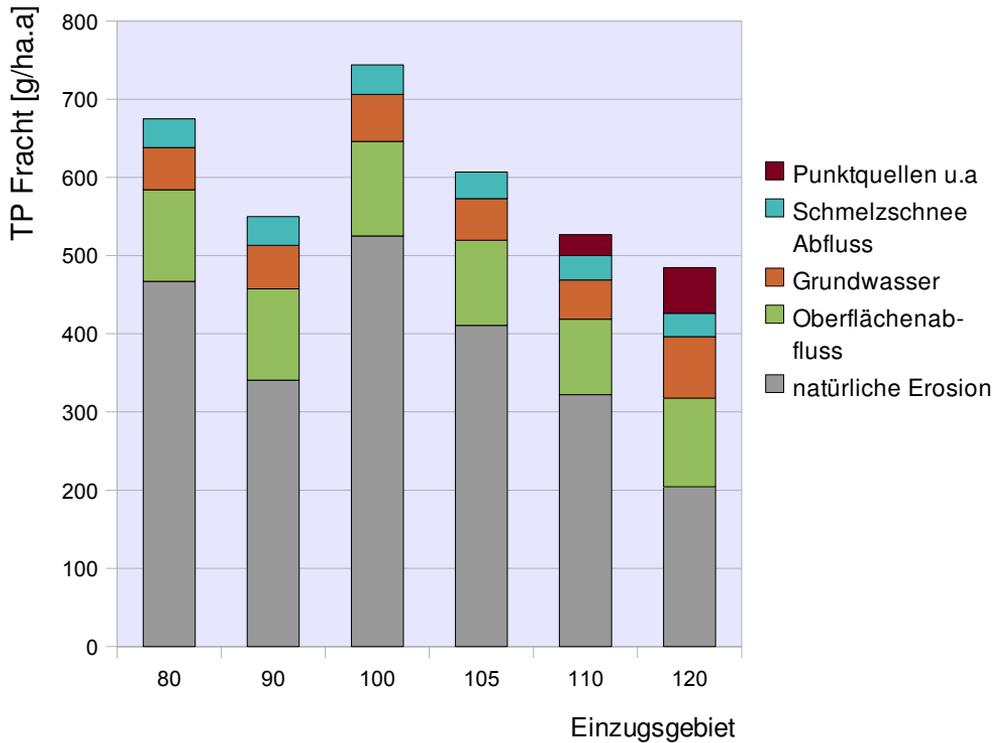


Abb.9: Spezifische TP Emissionen nach Einzugsgebieten.
(original Version)

Es ist zu erkennen, dass die höchste spezifische Phosphorbelastung im TEZG 100 errechnet wird. Der Anteil der Erosion ist allgemein der größte, und ist vor allem im Oberlauf bis Sölden stark vertreten. In den unteren Gebieten ist seine Bedeutung abnehmend, hingegen kommt die Einleitung von Klärabwässern aus den besiedelten Gebieten zum tragen. Es ist auch Bemerkenswert, dass bis auf die Phosphorbelastung aus dem Erosionspfad die spezifischen Emissionsergebnisse im Ötztal relativ konstant sind. Die Schwankungen entstehen beinahe ausschließlich aufgrund der Ergebnisse des Pfades natürliche Erosion.

Spezifische TP Emissionen

original Version

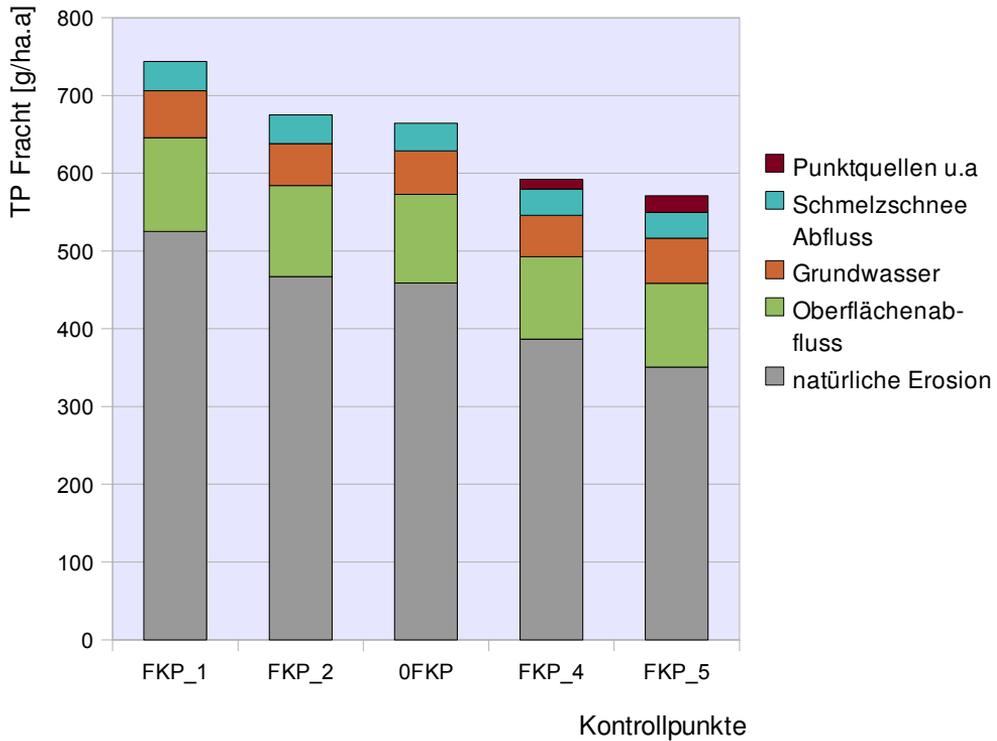


Abb.10: Spezifische TP Emissionen nach Frachtkontrollpunkten. (original Version)

Das generelle Bild von vorhin findet hier Bestätigung. Ganz allgemein nimmt die spezifische modellierte Phosphoremission ab, je näher man der Mündung ist. An der Mündung liegt das gesamte Einzugsgebiet der Ötztaler Ache flussaufwärts des betrachteten Frachtkontrollpunktes. Das Ergebnis des Frachtkontrollpunktes FKP5 in Haiming stellt somit gleichzeitig eine durchschnittliche spezifische Phosphorbelastung von 571[mg/ha.a] über das gesamte Ötztal dar.

3.1.2 Referenzberechnungen – Phosphor

Unter diesem Punkt sind die Endergebnisse der drei in Kapitel 2.2 beschriebenen Methoden zur Ermittlung von Referenzfrachten tabellarisch aufbereitet. Die Tabelle 9 gliedert sich wie folgt:

Horizontal sind die einzelnen Frachtkontrollpunkte angeordnet. Auch der später bei der Kalibrierung nicht mehr berücksichtigte Frachtkontrollpunkt FKP_3 unterhalb von Sölden ist hier noch vertreten um eine Orientierungshilfe in der Lücke zwischen Sölden und Längenfeld zu bieten. Zu Bestimmung der Modelgüte wird dieser Punkt nicht herangezogen, da er sich nicht an der Grenze eines MONERIS Einzugsgebietes befindet.

Vertikal sind die drei angewendeten Methoden angeordnet. Im Kontrollpunkt FKP_1 konnte aufgrund der Datenlage keine seriösen Werte nach der Klassenmittelmethode und der Monatsmittelmethode ermittelt werden.

Methoden/FKP_i [t/a]	FKP_1	FKP_2	OFKP	FKP_3	FKP_4	FKP_5
Korrelationsmethode	57	84	112	157	238	286
Klassenmittelmethode	k.A	85	94	171	k.A*	273
Monatsmittelmethode	k.A	83	104	131	k.A*	229
Durchschnitt Methoden	57	84	103	153	238	263

Tabelle 9: Ergebnisse der Referenzfrachterhebung.

*nach Klassenmittelmethode 132[t/a]; ausgeschieden

*nach Monatsmittelmethode 129 [t/a]; ausgeschieden

Begründung: Diese niedrigen Werte sind nicht glaubwürdig, da sie niedriger als am vorhergehenden Frachtkontrollpunkt sind. Daher werden Sie zur Mittelbildung nicht verwendet. Die letzte Zeile bildet einen Durchschnitt über alle drei Methoden, um eventuelle systematische Fehler einer Methode zu minimieren. Dieser Mittelwert wird zur Ermittlung der Modellgütebetrachtung herangezogen.

3.1.3 Modellergebnisse Phosphor-Immissionen

Um die Immissionen an einem bestimmten Kontrollpunkt zu erhalten ist noch die Retention, also die Rückhaltewirkung und Verluste entlang der die Gewässerstrecke zu berücksichtigen. Dies ist notwendig um überhaupt eine Vergleichbarkeit mit der Referenzfracht herzustellen, da die in der Ache an einem bestimmten Punkt gemessenen Werte nicht die gesamten Einträge in das Gewässer repräsentieren, sondern durch Rückhalt und Abbauprozesse verminderte.

MONERIS berechnet einen Prozentsatz, um wie viel die Fracht am Ende eines Einzugsgebietes abzumindern ist. In Tabelle 10 wird diese Retention in Abzug gebracht, um von Emissionen auf Immissionen zu kommen.

Berechnung/TEZG Nr:	80	90	100	105	110	120
Emissionen [t/a]	54	9	83	46	64	19
Retention [%]	0,6	1,8	0,6	2,3	3,1	10,8
- Retention [t/a]	0,3	0,2	0,4	1,0	2,1	2,4
= Immissionen [t/a]	54	9	82	45	62	17

Tabelle 10: Berechnung der TP-Immissionen in den Teileinzugsgebieten

Tabelle 11 zeigt die Kontrollfracht im jeweiligen Frachtkontrollpunkt, welche durch Aufsummieren der Immissionen der zugehörigen Teileinzugsgebiete zustande kam. Diese Werte werden direkt zur Bestimmung der Modellgüte herangezogen.

TEZG Nr:	FKP_1	FKP_2	OFKP	FKP_4	FKP_5
TP Immissionen[t/a]	82	54	127	252	269

Tabelle 11: TP Immissionen in den Frachtkontrollpunkten.

Für FKP_3 konnte kein Wert ermittelt werden, da sich dieser Mitten im Einzugsgebiet 110 befindet. Somit eine Zuordnung der Frachten aus Einzugsgebiet 110 nicht möglich ist.

3.1.4 Gegenüberstellung Phosphor - Schwebestoffe

VERGLEICH DER JAHRESFRACHTEN:

Schwebestoffe sind Feststoffpartikel in der Ache an denen der partikuläre Phosphor, welcher in der Ötztaler Ache dominiert, gebunden ist. Daher wurde auch dieser Parameter von der H2O Datenbank abgefragt. Die Gegenüberstellung von Phosphor und Schwebestoffen macht insofern Sinn, da sie zusätzliche Informationen über den Phosphortransport im Gewässer liefern kann. Tab.12 zeigt im ersten Teil die bereits unter 3.1.2 gebrachte Tabelle mit den Phosphorreferenzfrachten nach drei Methoden. Die Berechnung der Schwebestofffrachten erfolgte analog. Die Ergebnisse sind im unteren Teil der Tabelle 12 dargestellt.

Methoden P_Ges [t/a]	FKP_1	FKP_2	OFKP	FKP_3	FKP_4	FKP_5
Korrelationsmethode	57	84	112	157	238	286
Klassenmittelmethode	k.A	85	94	171	k.A	273
Monatsmittelmethode	k.A	83	104	131	k.A	229
Durchschnitt Methoden	57	84	103	153	238	263
Methoden SS [kt/a]	FKP_1	FKP_2	OFKP	FKP_3	FKP_4	FKP_5
Korrelationsmethode	115	113	88	132	288	309
Klassenmittelmethode	k.A	111	109	205	k.A	262
Monatsmittelmethode	k.A	k.A	k.A	k.A	k.A	k.A
Durchschnitt Methoden	115	112	99	169	288	286
Verhältnis P/SS[t/kt]	0,5	0,75	1,05	0,91	0,83	0,92

Tabelle 12: Verhältnis Phosphor zu Schwebestoff auf Basis von Jahresfrachten.

Vergleicht man die durchschnittlichen Ergebnisse jedes Einzugsgebietes und bildet ein Verhältnis wie in der letzten Zeile der Tabelle 12, so erhält man die Werte in [kt/t]. Ein Wert von beispielsweise 0,75 [t/kt] wäre umgerechnet ein P-Gehalt von 750 [mg/kg] in den Schwebestoffen. Diese Verhältnisse und die Ergebnisse der Korrelation auf Tagesbasis in Kapitel 4.1.1 passen sehr gut zusammen.

VERGLEICH TAGESFRACHTEN:

WIDERSPRUCH:

Die Betrachtung der auf der vorherigen Seite, auf Basis von Messungen im Gewässer ermittelten Jahresfrachten, wirft Fragen auf. Der Werte der Schwebstofffracht in FKP1 ist höher als jener in OFKP obwohl dieser weiter flußabwärts liegt. Wenn man die Werte der Punkte FKP1,FKP2,OFKP addiert sind diese höher als in FKP3, obwohl hier zumindest die selbe Schwebstofffracht ankommen sollte. Ab OFKP bis zur Mündung in FKP steigen die SS-Frachten wieder erwartungsgemäß.

Eine analoge Betrachtung an drei sehr Abfluss intensiven Tagen des Jahres 2003 in Tab.13 bestätigt diese Anomalität. Es scheint als ob erhebliche Frachtanteile irgendwo zwischen OFPK im Ventner Tal und FKP_3 unterhalb Söldens liegen bleiben, oder sich auf unbekannte Weise der messtechnischen Erfassung entziehen.

Methoden P_Ges [t/d]	FKP_2	OFKP	FKP_3	FKP_4	FKP_5
26.06.03	1,77	1,36	1,84	2,87	3,18
15.07.03	2,01	3,60	2,09	4,65	6,53
20.08.03	0,99	2,09	0,86	1,08	2,75
Durchschnitt [t/d]	1,6	2,4	1,6	2,9	4,2
Datum - SS [kt/d]	FKP_2	OFKP	FKP_3	FKP_4	FKP_5
23.06.03	2,08	1,63	2,38	3,06	3,45
15.07.03	4,56	5,14	2,46	3,78	2,31
20.08.03	1,45	3,28	0,69	1,19	2,86
Durchschnitt [kt/d]	2,7	3,4	1,8	2,7	2,9
Verhältnis P/SS[t/kt]	0,59	0,7	0,87	1,07	1,45

Tabelle 13: Verhältnis Phosphor zu Schwebstoff auf Basis von Tagesfrachten.

Das Verhältnis von Phosphor - Tagesfracht zur Schwebstoffe Tagesfracht ist auch hier in Tabelle 13 in der selben Größenordnung wie in Tabelle 12, und bestätigen somit die Berechnungen in Kapitel 4.1.1

MÖGLICHE ERKLÄRUNG:

Bei der Betrachtung der geomorphologischen Verhältnisse in Hinblick auf mögliche Anlandungsstrecken fällt auf, dass es oberhalb Söldens einen Punkt gibt, an dem sich zwei Fließgewässer zum Hauptfluss der Öztaler Ache vereinigen. (siehe Abb.11) Die Gurgler Ache und die Ventner Ache vereinigen sich dort zum Hauptfluss, der Öztaler Ache. An diesem Ort befindet sich auch das Dorf Zwieselstein, welches offensichtlich auf angeschwemmten Sedimenten erbaut wurde. In diesem lang gezogenen Flussbogen war es dem Fluss jedoch seit jeher möglich das Geröll und Sedimente abzuwerfen. In Google Earth ist dies gut zu erkennen. Ebenfalls kann man Bereiche im Fluss ausmachen, welche aufgrund des nicht vorhandenen Bewuchses darauf hindeuten, dass der Fluss hier sehr Flach verläuft und sein Bett laufend verändert bzw. Sedimente anlandet. Auch eine Stelle an der Geschiebe ausgebaggert wird um eine weitere Verlandung zu verhindern ist zu erkennen.

FAZIT:

Die Vermutung liegt nahe, dass im Raum um Zwieselstein erhebliche Teile der Fracht bei normalen Abfluss liegen bleiben und erst bei Hochwasserereignissen wieder vom Fluss völlig oder teilweise mitgenommen werden. Dies könnte erklären, dass sich auf diese Weise zwischengespeicherte Frachtanteile in der messtechnischen Erfassung nicht wieder spiegeln. Zur Verifizierung dieser These wäre eine Messung bei Hochwasserereignissen von Nöten. In Kapitel 4 wird besprochen ob aufgrund dieser Betrachtungen eine erhöhte Retention in die Berechnung eingeführt werden soll.



Abb.11: Anlandungsstrecke in Zwieselstein.

3.2 Stickstoff

Die Darstellung der Ergebnisse, welche das Modell MONERIS für den Nährstoff Stickstoff erzielt hat, erfolgt in Systematik und Optik analog jener für den Phosphor. Der Unterschied besteht lediglich in der unterschiedlichen farblichen Hinterlegung der Tabellen. Alle Beschreibungen der Darstellungen und Tabellen aus Punkt 3.1 treffen sinngemäß auch für die Ergebnistabellen des Stickstoffs zu. Es wird daher ersucht bei Unklarheiten bezüglich der Tabellen, die Erklärung im Punkt 3.1 dieses Kapitels durchzulesen.

3.2.1 Modellergebnisse Stickstoffemissionen

Im Folgenden sind die Ergebnisse der Modellberechnung der Stickstoffemissionen tabellarisch und graphisch dargestellt. Einerseits getrennt nach Teileinzugsgebieten und Eintragspfaden, andererseits getrennt nach den Frachtkontrollpunkten und Eintragspfaden.

ERGEBNISSE NACH TEILEINZUGSGEBIETEN:

Eine Visualisierung unten stehender Tabelle 14 stellt Abb.12 auf Seite 49 dar.

Pfade/EZG	80	90	100	105	110	120
Fläche [km²]	76	54	96	132	314	163
Oberflächenabfluss	1987	2056	2052	2008	1911	2975
Schmelzschnee Abfluss	724	722	750	689	627	601
natürliche Erosion	776	574	875	682	538	337
Grundwasser	1237	2074	573	1477	2223	3724
Punktquellen u.a	13	19	10	30	818	479
TN Emissionen [g/ha.a]	4737	5444	4260	4886	6118	8117

Tabelle 14: Spezifische TN Emissionen nach Teileinzugsgebieten.
(angepasste Version)

TN = Total NitrogenGesamter Stickstoff.

ERGEBNISSE NACH FRACHTKONTROLLPUNKTEN:

Eine Visualisierung unten stehender Tabelle 15 stellt Abb.13 auf Seite 50 dar.

Pfade/EZG	FKP_1	FKP_2	OFKP	FKP_4	FKP_5
Fläche [km²]	96	76	228	672	835
Oberflächenabfluss	2052	1987	2026	1970	2166
Schmelzschnee Abfluss	750	724	715	676	661
natürliche Erosion	875	776	763	644	584
Grundwasser	573	1237	1096	1717	2109
Punktquellen u.a	10	13	22	393	410
TN-Frachten [g/ha.a]	4260	4737	4623	5400	5931

Tabelle 15: Spezifische TN Emissionen nach Frachtkontrollpunkten. (angepasste Version)

Die Werte in Tabelle 15 verstehen sich als spezifische Stickstoffemissionen. Der Parameter TN bedeutet, dass die gesamte Stickstofffracht; organische und anorganische Anteile berücksichtigt sind.

3.2.2 Referenzberechnungen Stickstoff

Die Tabelle 16 stellt die Ergebnisse der Referenzberechnung nach drei Methoden, wie in Kapitel 2.2 beschrieben, mit dem dazugehörigen Mittelwert über alle drei Methoden, dar.

Methoden/FKP_i [t/a]	FKP_1	FKP_2	OFKP	FKP_3	FKP_4	FKP_5
Korrelationsmethode	25	37	58	132	251	325
Klassenmittelmethode	k.A	18	59	194	233	301
Monatsmittelmethode	k.A	k.A	k.A	k.A	k.A	k.A
Durchschnitt Methoden	25	28	59	163	242	313

Tabelle 16: Referenzfrachtberechnungen Stickstoff

In den Ergebnissen der Referenzberechnung des Stickstoffs sind organische Stickstoffanteile mangels entsprechenden Messungen nicht berücksichtigt. Sie entsprechen daher dem Parameter DIN.

Spezifische TN Emissionen

original Version

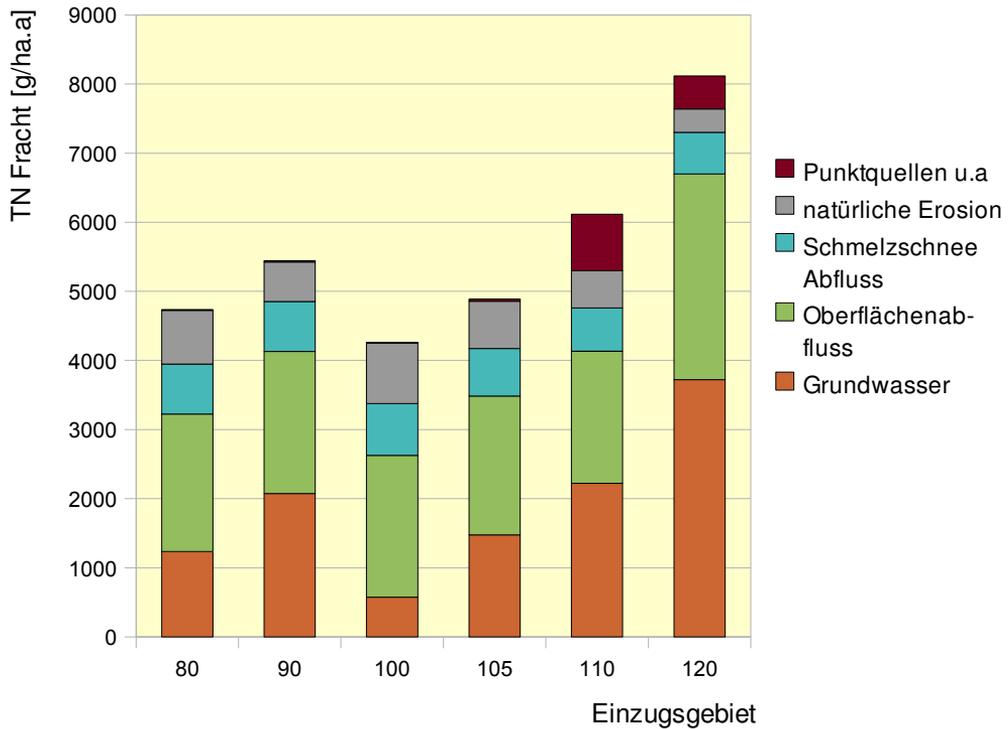


Abb.12: Spezifische TN-Emissionen nach Einzugsgebieten.
(original Version)

In dieser Abbildung ist bei der spezifischen Stickstoffemission ein deutlicher Schwerpunkt in den Teileinzugsgebieten 110 und 120 zu erkennen, welche die nördlichen besiedelten Gebiete umfassen.

Spezifische TN Emissionen

original Version

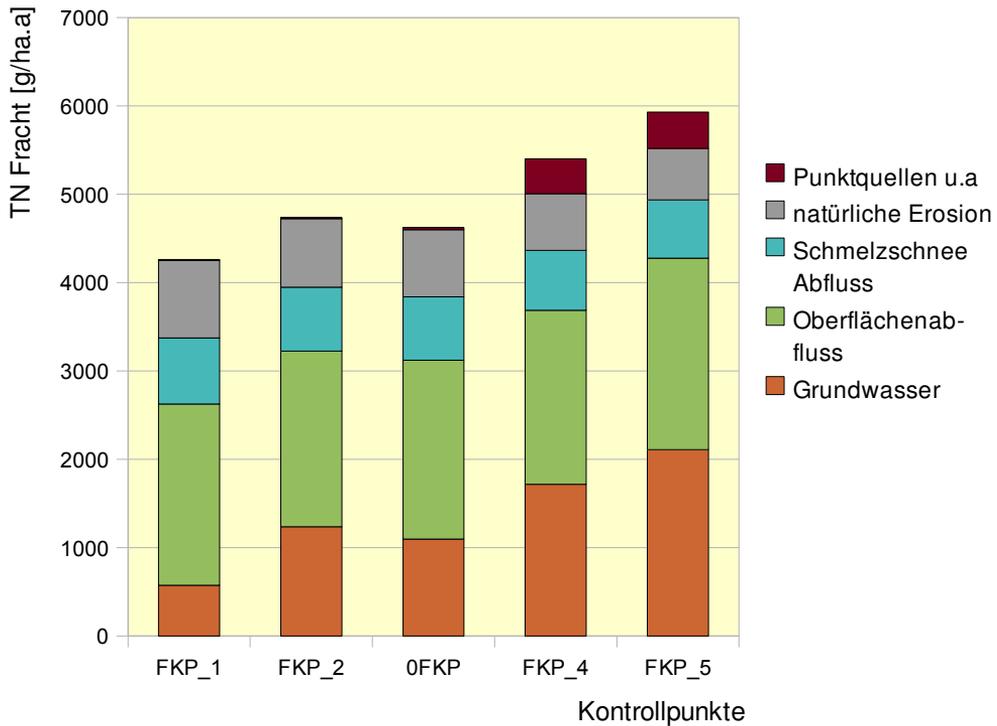


Abb.13: Spezifische TN Emissionen nach Frachtkontrollpunkten. (original Version)

Die durchschnittliche spezifische Belastung in Ötztal ist etwa 6000 [g/ha.a], wie die Ergebnisse des Frachtkontrollpunktes FKP_5 bei der Mündung der Ötztaler Ache erkennen lassen. Die Anteile aus Oberflächenabfluss und Grundwasserabfluss sind quantitativ am stärksten vertreten. Der Anteil aus dem Eintrag über natürliche Erosion beträgt im Schnitt immerhin 10%.

3.2.3 Modellergebnisse Stickstoff-Immissionen

Im Folgenden ist hier die Berechnung der Stickstoff - Immissionen der jeweiligen Teileinzugsgebiete aus den Emissionen mithilfe des Retentionansatzes von MONERIS dargestellt. Siehe dazu Tabelle 17.

Berechnung/TEZG Nr:	80	90	100	105	110	120
Emissionen [t/a]	36,0	29,4	40,9	64,5	192,1	132,3
Retention [%]	0,3	1,0	0,3	1,3	1,7	6,2
- Retention [t/a]	0,1	0,3	0,1	0,8	3,3	8,2
= TN Immissionen [t/a]	35,9	29,1	40,8	63,7	188,8	124,1
DIN/TN Verhältnis[%]	95,7	99,2	99,7	99,0	98,6	93,3
= DIN Immissionen [t/a]	34,3	28,9	40,7	63,0	186,1	115,8

Tabelle 17: Immissionsberechnungen Stickstoff.

Durch entsprechendes Aufsummieren der Ergebnisse der Tabelle 17 ergeben sich die Immissionsfrachten in den jeweiligen Frachtkontrollpunkten. (siehe Tabelle 18)

Parameter/FKP_NR	FKP_1	FKP_2	0FKP	FKP_4	FKP_5
TN Immissionen [t/a]	41	36	104	358	482
DIN Immissionen [t/a]	41	34	104	353	469

Tabelle 18: Vergleich TN-DIN Stickstoff.

Um von Emissionen auf Immissionen zu gelangen ist eine Retentionswirkung, welche Rückhalte- und Abbauprozesse berücksichtigt, in Abzug zu bringen. Da in den Referenzberechnungen zugrunde liegenden Messungen kein organischer Stickstoff enthalten ist, muss auch bei der Modellberechnung der organische Anteil abgezogen werden. Dies entspricht der Umrechnung von TN auf DIN Immissionen. (siehe Tab. 17)

Zugrunde liegende Formel: $TN = DIN + org. N$

3.3 Modellgüte für Phosphor und Stickstoff

Um die Güte der Modellierung für Phosphor und Stickstoff beurteilen zu können, werden die Ergebnisse der jeweiligen Referenzberechnungen und die Modellberechnungen gegenübergestellt. Siehe dazu Tabelle 19 und Tabelle 20. Der Wert in der jeweils letzten Zeile stellt die Abweichung des Modells in der Form 1:x dar. Wobei 1 den vollen Wert aus der Referenzberechnung repräsentiert. 1:0.1 bedeutet, dass um eine optimale Anpassung zu erhalten, der Modellwert 10x höher sein müsste.

Methoden/FKP_i [t/a]	FKP_1	FKP_2	OFKP	FKP_4	FKP_5
Referenzberechnungen	57	84	103	238	263
TP-Immissionen original	7	5	15	39	46
Modellgüte 1:x	1:0,12	1:0,06	1:0,15	1:0,24	1:0,18

Tabelle 19: Modellgüte für Phosphor

Methoden/FKP_i [t/a]	FKP_1	FKP_2	OFKP	FKP_4	FKP_5
Referenzberechnungen	25	28	59	242	313
DIN Immissionen original	41	34	104	353	469
Modellgüte 1:x	1:1,63	1:1,23	1:1,76	1:1,46	1:1,5

Tabelle 20: Modellgüte für Stickstoff

Die Abbildung 14 stellt diese Abweichung graphisch dar. Jeder Punkt spiegelt das Verhältnis der beiden Methoden wieder. Wobei als x Wert der Wert der Referenzberechnung in jedem Kontrollpunkt ist, und der y Wert das Ergebnis des Modells. Wäre das Modell optimal angepasst, was nur theoretisch möglich ist, müssten alle Werte auf der 1:1 Linie zu liegen kommen.

Die Linie 1:1,3 zeigt den Ort an, an den es zu einer 30 prozentigen Überschätzung der realitätsnahen Werte durch das Modell kommt. Die Linie 1:0,7 verdeutlicht diese Spanne in Richtung Unterschätzung.

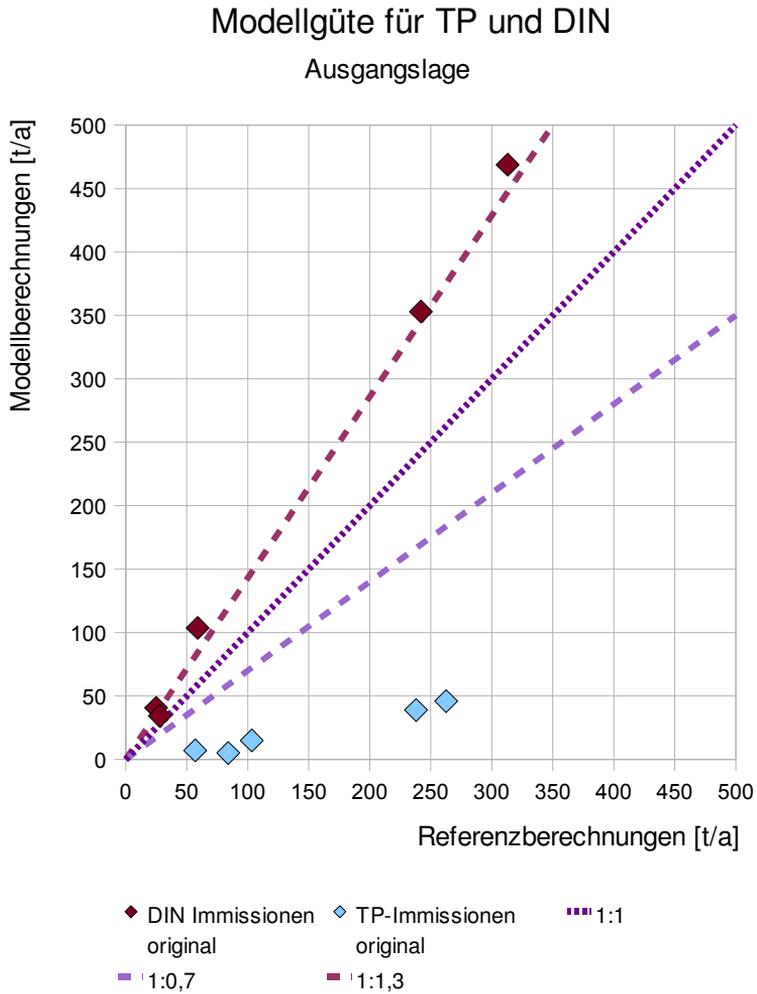


Abb.14: Modellgüte Stickstoff und Phosphor vor Anpassung.

Man erkennt hier deutlich die Überschätzung der Stickstofffrachten durch das Modell in der Größenordnung von etwa 50% oder 1:1,5.

Die Abweichung der Phosphormodellierung fällt mit einer durchschnittlichen Unterschätzung von 1:0,18 drastisch aus.

3.4 Diskussion

3.4.1 Diskussion Phosphor

Die Erkenntnisse aus der Modellgütebetrachtung aus dem vorhergehenden Punkt 3.1.4 zeigt, dass die Werte des Modells im Schnitt nur etwa 1/6 der Referenzwerte sind. Diese Abweichung gilt es in der folgenden Kalibrierung soweit möglich zu verringern. Welcher Punkt zur Kalibrierung verstärkt ins Auge gefasst werden sollte, und bei welchen Pfaden angesetzt werden soll wird im folgenden diskutiert.

Aufgrund der Unstimmigkeiten beim Phosphor, welche sich aus der Betrachtung aus Punkt 3.1.4 dieses Kapitels ergeben, erscheinen die Punkte FKP_4 und FKP_5 für eine Kalibrierung des Modells als ungeeignet. An diesen Punkten wird die Referenzfracht aufgrund der periodischen Zwischenlagerung von Geschiebestoffen und Schwebestoffen möglicherweise unterschätzt.

Als geeignete Punkte, an welche eine Kalibrierung anknüpfen könnten erscheinen die Frachtkontrollpunkte FKP_1, FKP2 und OFKP, welche oberhalb Sölden liegen.

Als geeigneter Ansatzpunkt einer Kalibrierung kann schon alleine aufgrund seiner quantitativen Bedeutung der Erosionspfad ins Auge gefasst werden. Aber es sprechen noch andere Argumente für die Fokussierung auf diesem Pfad und auf die geologischen Verhältnisse.

Die ungewöhnliche Höhe der Schwebestofffrachten im Ötztal (siehe Punkt 3.1.4) lässt auch eine entsprechend hohe Phosphorfracht erwarten. Die Messungen in der Ache bestätigen dies auch.

Im Modell MONERIS ist der berechnete Eintrag an Sedimenten über natürliche Erosion jedoch nur 195 [kt/a] gegenüber 286 [kt/a] auf Grund von Referenzberechnungen.

Der Vergleich im Punkt 3.1.4 zwischen Phosphorjahresfrachten und Schwebestoffjahresfrachten zeigt, dass diese etwa im Verhältnis 1 [t/kt] stehen.

Im Modell MONERIS ist dieses Verhältnis viel kleiner bei etwa 0,24 [t/kt], was darauf schließen lässt, dass Konzentrationen im Gestein zu niedrig angenommen wurde.

3.4.2 Diskussion Stickstoff

Die Graphik bezüglich Modellgüte (siehe Abb.14) zeigt, dass das Modell die Stickstofffrachten im Gegensatz zum Phosphor verhältnismäßig gut abbildet. Generell wurden die Frachten für DIN vom Modell im Schnitt um 50 Prozent überschätzt. Als mögliche Ansatzpunkte für eine Modellanpassung können aufgrund ihrer quantitativen Bedeutung die Eintragspfade über Oberflächenabfluss und über Grundwasserabfluss herangezogen werden. (siehe Abb.13) Beide Pfade hängen, wie in Kapitel 2.1.1 beschrieben, sehr stark von den Depositionsraten ab. Aufgrund dieser starken Abhängigkeit und der Tatsache, dass die Deposition von Stickstoff aus der Luft die einzig nennenswerte Belastung auf der Oberfläche ist, hat sich eine Kalibrierung auf diese Aspekte zu konzentrieren.

Zusätzlich wird der Pfad der Erosion und dessen Auswirkungen auf das Ergebnis der Modellierung betrachtet. Dieser Pfad ist quantitativ zwar nur mit 10% vertreten, aufgrund des hohen Anteils an Felsflächen im Ötztal, ist jedoch zu klären, ob gelöster Stickstoff in diesem Umfang über eine Erosion von Felsflächen in die Gewässer gelangen kann. Hier sind die geologischen Verhältnisse im Hinblick auf Stickstoffgehalt im Gestein zu überprüfen.

4 Modellkalibrierung

Der Vergleich der modellierten Nährstofffrachten mit den Referenzfrachten an den entsprechenden Frachtkontrollpunkten hat insbesondere beim Phosphor erhebliche Abweichungen gezeigt. Das Modell gibt hier im Schnitt nur zirka 18% der aufgrund der Referenzfrachten erwartbaren Fracht aus. Zur Kalibrierung wurde der Punkt FKP1,FKP2, und OFPK gleichgewichtet herangezogen. An den anderen Punkten wurde dann die Effizienz der Kalibrierung kontrolliert.

Völlig anders die Situation beim Stickstoff. Hier überschätzt das Modell ganz allgemein die Fracht und weist einen Wert aus, welcher im Schnitt etwa 160% der Referenzfracht beträgt.

In der Phase der Modellkalibrierung wird das Modell so modifiziert dass es zu einer möglichst guten Anpassung an die in Kapitel 2 berechneten Referenzfrachten kommt. Die Änderungen welche in der Ansätzen vorgenommen werden sind zu begründen. Dazu wurden zuerst die Ergebnisse der Modellberechnung aus Kapitel 3 analysiert und geeignete Ansatzpunkte für eine Anpassung des Modells herausgearbeitet, und dieses mit Hilfe von Literaturerecherchen begründet.

4.1 Phosphorfracht - über den Erosionspfad

Die Phosphorfrachten im Ötztal werden durch den Eintrag über den Erosionspfad dominiert. Die hohe Schwebstofffracht in der Ache und das Vorliegen des Phosphors in fast ausschließlich ungelöster Form weisen eindeutig darauf hin. Der Flowchart in Abb.1 auf Seite 13 verdeutlicht, welche Parameter hier in das Modell Eingang finden. Da es im Ötztal kaum Ackerflächen gibt, spielt der Nährstoffgehalt des Oberbodens beim Phosphor eine untergeordnete Rolle, da es keine Düngung gibt. Jene Quelle, welche in agrarisch genutzten Gebieten den Nährstoffeintrag dominiert, ist hier also ohne Bedeutung.

Die zwei Haupteinflussfaktoren zur Ermittlung der Phosphorfracht über den Erosionspfad sind der Sedimenteintrag, welcher von der Erosionsrate beeinflusst wird, und die P-Konzentration der suspendierten Stoffe.

Daraus folgte die Überlegung sich bei der Modellkalibrierung einerseits auf die Geologie zu konzentrieren, um Werte für den Nährstoffgehalt der Gesteine zu ermitteln. Andererseits auch auf die Frage der Erosionswirkung selbst und wie es zu so hohen Schwebstofffrachten in der Ache kommt.

4.1.1 Ansatz P-Konzentration im Gestein

Das Modell MONERIS verwendet in seinem Standardansatz für den Phosphorgehalt der gesamten offenen Flächen (Wald, Felsflächen unter Gletschern, und allgemeine offenen Flächen) undifferenziert einen Wert von 150 [mg/kg]. (P-content of bare rock) Diesen Wert gilt es im Hinblick auf die geologischen Verhältnisse im Ötztal insbesondere für reine Felsflächen zu hinterfragen. Es soll untersucht werden ob es nicht Sinn machen würde für Felsflächen, offenen Flächen, und Wald jeweils einen speziellen Wert zu definieren. Es sollen hier drei voneinander unabhängige Argumentationen aufgeführt werden, welche nahe legen, dass die Konzentration von Fels deutlich höher anzunehmen ist.

1.Argument: Phosphorgehalt in der Erdkruste

Die Häufigkeit des Elementes Phosphor in den magmatischen Gesteinen der Erdkruste beträgt laut Wedepohl 810 ppm, also umgerechnet 810 [mg/kg]. [14]

Im Online Lexikon Wikipedia ist im Artikel über Phosphor von einem allgemeinen Gehalt von 0,09% Phosphor in der Erdkruste die Rede. Es wird auf eine primäre Literaturquelle hingewiesen [15]. Das würde umgerechnet 900 [mg/kg] ergeben.

In einer anderen Quelle [16] ist von einer Beteiligung am Aufbau der Erdkruste mit 1000 [mg/kg] die Rede. Nach der "Geochemischen Klassifizierung der Elemente nach Goldschmidt" wird Phosphor als lithophil, also dem Erdmantel zugehörig bezeichnet.[21]

Aus diesem Blickwinkel erscheint der MONERIS Standardansatz ganz allgemein zu niedrig, da ein Durchschnitt aller auf der Erdkruste vorkommender Gesteine etwa 800-1000 [mg/kg] ergeben würde.

2.Argument: Geologische Verhältnisse im Ötztal

Das Einzugsgebiet der Ötztaler Ache befindet sich in der sogenannten Ötztal-Stubai Masse. Diese ist wiederum ein Teil der Ostalpinen Decke. Das Gebiet liegt im Altkristallin und besteht überwiegend aus Metamorphiten der Amphibolitfazies. Ein aufschlussreicher Artikel darüber, mit weiterführender Literaturangabe findet man auf angeführter Webseite.[17]

Detaillierte geologische Karten des Gebietes mit geochemischer Zusammensetzung der anstehenden Gesteine wären für die genaue Bestimmung des Parameters erforderlich, konnten allerdings nicht recherchiert werden. Die genaueste geologische Karte des

Nährstoffflüsse im Einzugsgebiet der Ötztaler Ache

Gebietes, ist eine Spezialkarte aus dem Jahre 1911 im Maßstab 1:75000. Sie liegt beim Geologischen Bundesamt auf.

Für eine grobe Beurteilung der anstehenden Gesteine wurde vom Verfasser die "Geologische Übersichtskarte der Republik Österreich" verwendet, welche von der Geologischen Bundesanstalt in Wien aufgelegt wurde. (Auflagejahr 1999) Sie zeigt im Ötztal etwa folgende Zusammensetzung:

80% Paragneise
10% Orthogneise
10% Amphibolithe

Auf alle drei im Ötztal vorkommende Gesteinsarten geht ein 1969 verfasster Artikel "Faltung und Kristallisation im Vernagt-Marzell-Gebiet der Ötztaler Alpen" ein.[18] Zu jedem Gesteinstyp existiert eine Dünnschliffanalyse, welche die unterschiedlichen Gesteinsbildenden Mineralien angibt. Die im nachfolgenden auf diesen Grundlagen ermittelten erwartbaren Phosphorkonzentrationen sind als Obergrenze zu interpretieren.

PARAGNEISE UND GLIMMERSCHEIFER:

Sie sind die ältesten anstehenden Gesteine in diesem Gebiet, und flächenmäßig auch mit 80% am Häufigsten. Die Ädukte, also die Ausgangsgesteine waren stark inhomogene Grauwackenserien. Grauwacken wiederum sind klastische Sedimente welche aus Erosion anderer Gesteine entstanden sind. Die Dünnschliffanalyse der oben genannten Quelle führt Apatit unter dem Punkt Akzessorien, also Begleitmineralien an. Das bedeutet das der Apatitgehalt auf jeden Fall unter 1,5% liegt, da er sonst als Hauptbestandteil aufgeführt würde. Apatit ist einer der phosphorhaltigen Gesteinsbildenden Mineralien. Er hat die chemische Formel $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$ und weist somit einen Phosphorgehalt zwischen 20-25 % auf, je nach Vorhandensein von Fluor, Chlor oder der OH Gruppe. Geht man von einem Apatitgehalt von beispielsweise einem Prozent aus erhält man 0,2% Phosphorgehalt im örtlichen Paragneis. Das entspricht 2000 [mg/kg] Phosphor.

Eine andere Quelle zur Abschätzung des Phosphorgehaltes von Paragneisen ist die chemische Analyse des bekannten Nahrungsergänzungsmittels "Schindeles Gesteinsmehl" welches aus Paragneis des Granit und Gneishochlandes erzeugt wird. Auf der Verkaufshomepage [19] wird ein Phosphorgehalt von 1290 [mg/kg] angegeben.

Nährstoffflüsse im Einzugsgebiet der Ötztaler Ache

GRANITGNEISE (ORTHOGNEISE):

Sie zählen zur Obergruppe der Orthogneise zusammen mit den Paragneisen ebenfalls zu den ältesten Gesteinen in diesem Gebiet. Sie sind Umwandlungsprodukte von magmatischen Gesteinen. Oftmals haben sie aber mehrere Umwandlungsphasen durchgemacht, und entstanden genau genommen aus bereits vorliegenden Gneisen.

Das Mineral Apatit ist in dem oben genannten Artikel ebenfalls nur als Akzessormineral, also als Nebenbestandteil geführt. Es kann daher angenommen werden dass der Phosphorgehalt ebenfalls maximal 2000 [mg/kg] aufweist.

AMPHIBOLITHE:

Amphibolithe sind Metamorphe Gesteine aus Basalt bzw. Gabbro. Im Artikel ist von einem " Apatitgehalt von 3-4% in manchen Proben" die Rede. Umgerechnet bedeutet das etwa 6000 [mg/kg] Phosphorgehalt im Amphibolith.

3. Argument: Zusammenhang Schwebstoffe - P-Konzentration

Bereits am Anfang der Untersuchung war es offensichtlich, dass es zwischen der Phosphorkonzentration und der Schwebstoffkonzentration einen Zusammenhang geben musste. Beide waren als außergewöhnlich hoch einzustufen.[20]

In gebirgigen Gebieten ist ohnedies davon auszugehen dass der Transport des Nährstoffes Phosphor hauptsächlich in partikulärer Form, also gebunden an Feststoffe erfolgt. Da in der Ache kaum gelöster Phosphor vorgefunden wurde, konnte man von einem sehr direkten Zusammenhang ausgehen. Tatsächlich ist es so dass sich die Ache in den Sommermonaten, von den Schwebstoffen herrührend, teilweise milchig grau einfärbt.

Der Phosphorgehalt P_{ges} in der jeweiligen Messstelle spiegelt somit die geologischen Verhältnisse wieder, sofern man davon ausgehen kann dass P nur in den Schwebstoffen eingelagert ist. Nachfolgendes Diagramm zeigt genau diesen Zusammenhang. An jedem Messtag zwischen 2000-2009 wurde eine Phosphorkonzentration P_{GES} [mg/l] in der Ache gemessen. Jeder dieser Proben kann ein Filterrückstand zugewiesen werden. Diese Schwebstoffe werden ebenfalls in mg/l ausgewiesen. Plottet man diese zwei Parameter gegeneinander aus, erhält man unterstehendes Bild. Der Zusammenhang ist annähernd linear, wie die Regressionsgerade zeigt. Die Steigung K dieser Geraden entspricht dem natürlichen Phosphorgehalt des Gesteins, und ist in diesem Beispiel umgerechnet 871 [mg/kg]. Der Korrelationskoeffizient $R^2=0.66$

Nährstoffflüsse im Einzugsgebiet der Ötztaler Ache

Folgende Korrelationskennwerte wurden an den angeführten Frachtkontrollpunkten, zugehörigen Gütemessstellen ermittelt:

FKP5_HAIM	K=0,000854	R2=0,73
FKP4_LÄNG	K=0,000871	R2=0,66
OFKP_SÖLD	K=0,000775	R2=0,87
FKP2_OBERG	K=0,000633	R2=0,85
FKP1_VENT	K=0,000724	R2=0,95

ZUSAMMENFASSUNG DER DREI ARGUMENTE:

Das erste und dritte Argument stützten sich gegenseitig, bezüglich der Höhe Konzentration. Da die im zweiten Argument berechneten Konzentrationen nur eine Obergrenze darstellen, stützt auch diese Betracht grundsätzlich die weiter Vorgangsweise.

Für die Ermittlung der endgültigen P-Konzentration im Gestein werden die Schwebstoffe-Phosphor Korrelationen welche im 3. Argument angeführt wurden herangezogen.

Die für die Modellkalibrierung verwendeten hervorgehobenen Frachtkontrollpunkte werden für die Ermittlung, des im Ötztal spezifischen Konzentrationswertes berücksichtigt.

Es wird ein gewichtetes Mittel ermittelt, mit einem Gewichtungsfaktor auf Basis der Flächen der dahinterliegenden Einzugsgebiete.

$$= \frac{775[\text{mg/kg}] \times 217 + 663[\text{mg/kg}] \times 73 + 724[\text{mg/kg}] \times 97}{217 + 73 + 97} =$$

$$= 741 [\text{mg/kg}]$$

Für die Anpassung wird aufgrund dieser Berechnung ein Wert von **C_P_GEST= 740_ [mg/kg]** P-Konzentration im Gestein gegenüber 150 mg/l ursprünglich in Moneris eingestetzt.

Für den P-Gehalt von Waldflächen wurde der Wert 150[mg/kg] beibehalten. Für offene Flächen und Flächen unter den Gletschern, welche dem Gletscherschliff ausgesetzt sind wurde der ermittelte Wert C_P_GEST angesetzt.

Schwebstoffe-Phosphor Korrelation

FW73190407_Längenfeld 2000-2009

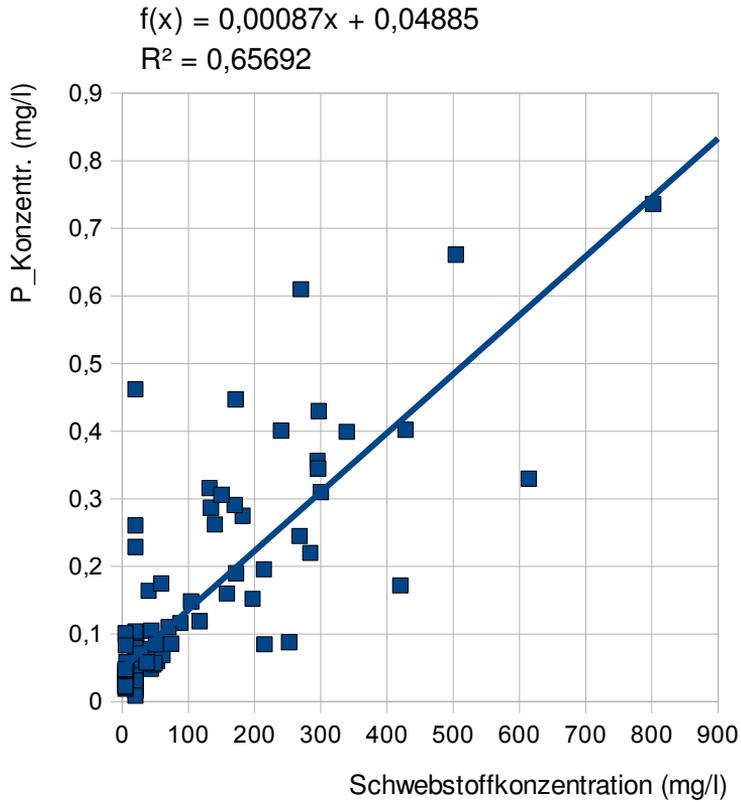


Abb.15: Korrelation Schwebestoff - Phosphor bei Längenfeld.

Man kann den relativ deutlichen linearen Zusammenhang zwischen Schwebestoff- und Phosphorkonzentrationen zu erkennen.

4.1.2 Ansatz Erosionwirkung Gletscher

Gletscher hobeln ihre Täler kontinuierlich aus, und erzeugen dabei feinstes Gesteinsmehl. Dieses in großen Mengen anfallende Material wirkt in dem Gebirgsbächen zusätzlich erosiv, und die Bachsohlen werden teilweise ausgefräht. In diesen Gletscherbächen sind trübe, bis sich die Feinteile verdünnen und an flachen Bereichen beispielsweise als feiner Seeton abgelagert worden. In der Eiszeit haben sich durch Ablagerung dieses Gletscherschliff ganze Landschaften gebildet. (Bodensee, Friesland u.v.a) [22]

Unter diesem Gesichtspunkt ist der Standardansatz für die Erosionswirkung von Gebirgsflächen von 4 [t/ha.a] in diesem sehr stark vergletscherten Gebiet zu hinterfragen. Es ist anzunehmen das dieser Ansatz sich nur auf Gebiete in Deutschland bezieht, welche nicht einer dermaßen starken Erosion unterliegen.

DIFFERNZIERUNG DER OFFENEN FLÄCHE (OPEN LAND) IN VERGLETSCHERTE FLÄCHE UND UNVERGLETSCHERTE FLÄCHE.

Moneris unterscheidet in seiner standardmäßigen Konfiguration nicht zwischen vergletscherten Flächen und unvergletscherten Flächen. Beide werden zur Zeit als offene Flächen undifferenziert zusammengefasst, und mit einer pauschalen Erosionsrate von 4 [t/ha.a] bedacht. Das kommt vermutlich daher ,da in den Gebieten in Deutschland, für welche Moneris ursprünglich entwickelt wurde, Gletscher und deren höhere Erosionswirkung überhaupt keine Rolle spielen.

Da allerdings anzunehmen ist das die Erosionswirkung unter den Gletschern wesentlich höher ist, als auf den restlichen umgebenden offenen Felsflächen, wurde für das Ötztal hier eine Differenzierung der gesamten offenen Fläche vorgenommen.

Folgende vergletscherte Flächenanteile mit Gletscher wurden ermittelt, und mit einer neuen Erosionsrate belegt.

EZG	Gletschergebiet	restliche offene Fläche
80	23,0 km²	35,5 km ²
90	0,0 km²	29,8 km ²
100	36,5 km²	47,2 km ²
105	12,0 km²	76,7 km ²
110	8,0 km²	156,0 km ²
120	0,0 km²	52,2 km ²

Auf die Frachtkontrollpunkte aufsummiert, siehe folgende Seite

Nährstoffflüsse im Einzugsgebiet der Ötztaler Ache

FKP	Gletschergebiet	restliche offene Fläche
FKP1_VENT	36,5 km²	47,2 km ²
FKP2_OBERG	23,0 km²	35,5 km ²
0FKP_SÖLDEN	48,5 km²	123,9 km ²
FKP4_LÄNG	56,5 km²	279,9 km ²
FKP5_HAIM	64,5 km²	332,1 km ²

EROSIONSRATE DER GLETSCHERFLÄCHEN

Zur Abschätzung der Erosionsrate in den vergletscherten Gebieten des Ötztales, wurde die Schwebstofffracht an den Frachtkontrollpunkten FKP2_VENT, FKP1_OBERG, sowie 0FKP_SÖLDEN herangezogen. Die dahinter liegende Einzugsgebiet EZG_100, EZG90 und EZG_105 weisen mit 30-40% den größten Gletscheranteil im Ötztal auf. Setzt man die Erosionsrate für die offenen Flächen mit 4 [t/ha.a] an, und vernachlässigt man den Abtrag von den Restlichen Flächen, so erhält man drei Gleichungen für die Abschätzung der Erosionsrate in Gletschergebieten.

im FKP1 VENT: TEZG 100; FLÄCHE 96 km²

115 kt/a Schwebestoffe am Frachtkontrollpunkt FKP_1 in Vent
Berechnet aus kontinuierlichen SS-Frachtmessungen
an der Messstelle TU VENT [13]
51 km² offene Fläche mit Erosionsrate von 4 [t/ha.a]
8 km² Waldfläche mit Erosionsrate von 0,15 [t/ha.a]
40 km² Gletscherfläche

I: (FKP1)

115.000 = 800 x 0,15 + 5100 x 4 + 4000 x EROSIONSRATE_GLETSCHER
EROSIONSRATE_GLETSCHER = 24 [t/ha.a]

im FKP2 OBERG: TEZG 80; FLÄCHE 76 km²

112 kt/a Schwebestoffe am Frachtkontrollpunkt FKP_1 in
Obergurgel aus Daten 2003-2006
49 km² offene Fläche mit Erosionsrate von 4 [t/ha.a]
19 km² Waldfläche mit Erosionsrate von 0,15 [t/ha.a]
31 km² Gletscherfläche

II: (FKP2)

112.000 = 1900 x 0,15 + 4900 x 4 + 3100 x EROSIONSRATE_GLETSCHER
EROSIONSRATE_GLETSCHER = 30 [t/ha.a]

Nährstoffflüsse im Einzugsgebiet der Ötztaler Ache

im OFKP SÖLDEN: TEZG 105+100; FLÄCHE 96+132=228 km²

99 kt/a Schwebestoffe am Frachtkontrollpunkt FKP_1 in
Obergurgel aus Daten 2003-2006

112 km² offene Fläche mit Erosionsrate von 4 [t/ha.a]

36 km² Waldfläche mit Erosionsrate von 0,15 [t/ha.a]

49 km² Gletscherfläche

III: (OFKP)

99.000 = 3600 x 0,15 + 11200 x 4 + 4900x EROSIONSRATE_GLETSCHER
.....

EROSIONSRATE_GLETSCHER = 11 [t/ha.a]

Um allen drei Gebieten das selbe Gewicht beizumessen wird aus
den Ergebnissen der Gleichungen I+II+III ein flächengewichtetes
Mittel errechnet.

$$\frac{24 \times 96 + 30 \times 76 + 228 \times 11}{(96 + 76 + 228)} = 17,7 \text{ [t/ha.a]}$$

Folgend dieser Berechnung wird im gesamtem Ötztal dieser Wert
für die Erosionsrate unter der den Gletscherflächen angenommen,
und in MONERIS eingesetzt.

EROS_RATE_GLETSCHER = 18 [t/ha.a]

Für offene Flächen welche nicht dem Gletscherschliff
unterliegen wurde die Erosionsrate von 4 [t/ha.a] beibehalten.
Für Waldgebiete wurde diese Rate mit 0,15 [t/ha.a] ebenfalls
beibehalten.

4.2 Stickstoff – über natürlichen Erosionspfad

Die starke natürliche Erosion im Ötztal wirkt stark auf die steilen Bergflanken der kaum bewachsenen Felsflächen. Humus kann sich dort vermutlich kaum über länger Zeit halten. Das erodierte Material sind daher Schwebestoffe, deren chemische Zusammensetzung von der Geologie bestimmt sind. Dies führt dazu, dass wie in Punkt 4.1 erörtert die Phosphorfracht stark erhöht ist. Da die Stickstoffkonzentration in der eingetragenen Sedimenten der zentrale Eingangsparameter für diesen Pfad ist, ist dieser zu hinterfragen.

4.2.1 Ansatz N-Konzentration im Gestein

Der Berechnungsansatz zur Ermittlung folgt dem selben Schema wie für Phosphor. (siehe dazu Kapitel 2.2.1 1.Nährstoffeintrag über Erosion von Gebirgsflächen) Für die Stickstofffracht aus natürlicher Erosion wird mit dem selben Sedimenteintrag aus natürliche bedeckten und Gebirgsflächen gerechnet. Dieser wird dann mit der Stickstoffkonzentration des Gesteins multipliziert. Der Wert der Stickstoffkonzentration wird mit 250 [mg/kg] undifferenziert auf alle Gebiete angewandt, welche nicht landwirtschaftlich genutzt werden. Für Felsflächen ist dieser Wert aber der Höhe nach zu hinterfragen, da es dort keinen Humus gibt, und er vermutlich aufgrund der sonst niedrigen Bedeutung von Felsflächen nie im Fokus stand. Anhand von drei Argumenten soll hier dargelegt werden, wieso an den Gebirgs- und Felsflächen im Ötztal kein Stickstoffgehalt angesetzt wurde.

1.Argument: Allgemeine Eigenschaften Stickstoff:

Wie in Kapitel 1.1 zum Teil erörtert ist Stickstoff ein Element das sich hauptsächlich in der Luft befindet. In einem Energie intensiven Prozess wird er von Lebewesen gebunden, und im Ökosystem im Kreislauf geführt.[5] In Mineralien kommt Stickstoff sehr selten vor. Er neigt dazu entweder in Lebewesen eingebaut zu werden, oder von ihnen abgebaut als N₂ in die Luft zu entweichen. Da er nicht sedimentiert ist er ganz allgemein selten am Gesteinsbildungsprozess beteiligt. Im Boden ist Stickstoff zu 95% Humus, abgestorbenen Pflanzenresten oder anders organisch gebunden.[5] Eine andere Quelle [21] weist auf die "Geochemische Klassifizierung der Elemente nach Goldschmidt " hin. Dort wird Stickstoff als athmophil bezeichnet, als der Atmosphäre zugeordnet. Im Gegensatz zu lithophil und siderophil, welche eine Zuordnung zu Erdmantel, bzw. Erdinneren verdeutlichen soll. Das ist ein weiterer

Nährstoffflüsse im Einzugsgebiet der Ötztaler Ache

starker Hinweis darauf, dass Stickstoff zumindest in Tiefengesteinen nicht anzutreffen ist.

2. Argument: Stickstoffgehalt in der Erdkruste:

Während sich 99% des Stickstoffes auf der Erde in der Atmosphäre befinden, ist seine Beteiligung am Aufbau der Erdkruste sehr gering. Sein durchschnittliches Auftreten wird in einer Quelle mit 25ppm als 25[m/kg] beziffert.[16] Dieser Wert ist 40x geringer als beim Phosphor, der in dieser Quelle mit 1000ppm beziffert wird. Damit ist das Auftreten von Stickstoff in der Erdkruste selbst, ähnlich selten wie das Element Cobalt. In Kombination mit dem 1. Argument lässt sich vermuten, dass Stickstoff an der Erdoberfläche hauptsächlich in der obersten Bodenschicht der Erdkruste anzutreffen ist (Humus), und nicht in im Ötztal vorherrschenden offen liegenden Tiefengesteinen.

3. Argument: Geologische Verhältnisse im Ötztal

Siehe hierzu auch Punkt 4.1.1 dieser Arbeit. Vor allem der 2. Argument, welches die geologischen Verhältnisse im Ötztal detailliert abhandelt.

Im Ötztal hat man es ausschließlich mit Tiefengesteinen zu tun. Der Orthogneis hat aufgrund seiner Entstehungsgeschichte aus dem Granit, keinen organischen Hintergrund. Beim Paragneis, welcher aus sedimenten Sandstein entstanden ist, kann man auch nicht von organischem Hintergrund sprechen. Bei einem organischen Hintergrund bei der Entstehung könnte grundsätzlich Stickstoff nicht ausgeschlossen werden.

In der Quelle [18], welche mithilfe von Dünnschliff Analysen die Entstehungsgeschichte der Ötztalmasse bespricht, ist von Stickstoff keine Rede. Auch in der sehr detaillierten chemischen Analyse von Paragneis in [19] befindet sich keine Stickstofffraktion.

Zusammenfassung der Argumente 1+2+3

Das Zusammenführen aller drei Argumente lässt keinen Zweifel daran, dass im Gestein des Ötztals kein nennenswerter Stickstoff vorhanden ist.

Für die Anpassung wird aufgrund dessen ein Wert von **C_N_GEST= 0 [mg/kg]** N-Konzentration im Gestein gegenüber 250 mg/kg ursprünglich in Moneris eingestetzt.

Für den N-Gehalt von Waldböden wurde der Wert 250[mg/kg] beibehalten. Für offene Flächen und Flächen unter den Gletschern, welche dem Gletscherschliff ausgesetzt sind, wurde der ermittelte Wert C_N_GEST angesetzt.

4.3 Stickstoff – über Grundwasserpfad

Im Folgenden sollen durchgeführte Veränderungen in den Ansätzen des Grundwasserabflusses beschrieben werden, sowie der ursprüngliche Widerspruch erläutert werden welcher diese Anpassungen notwendig machte. Eine ausführliche Beschreibung der Berechnung des Pfades Grundwasserabfluss befindet sich im Kapitel 2.1.1.

Aufgetretener Widerspruch:

Ausgangspunkt für die Stickstofffrachtberechnung – sowohl des Schneeschmelzabfluss, wie auch des Oberflächen – und Grundwasserabflusses ist die Konzentration des Stickstoffes im Abfluss. Während beim Abfluss welcher durch die Schneeschmelze hervorgerufen wird ein fixer Wert angenommen wird, bezieht sich die Berechnung der Grund und Oberflächenwasserkonzentrationen auf den N-Überschuss auf der Fläche. Dieser setzt sich aus landwirtschaftlichen N-Überschuss und aus Depositions N-Überschuss zusammen. Obwohl sich sowohl die Berechnung der Grundwasserkonzentration als auch die des Oberflächenabflusskonzentration auf diesen selben Wert beziehen, ignoriert das Modell die Tatsache, dass der auf der Fläche abgelagerte Depositions- Stickstoff nicht gleichzeitig von der Oberfläche abgespült werden kann, und andererseits in das Grundwasser gelangt, und gleichzeitig auch noch im Schneeschmelzabfluss enthalten ist.

In landwirtschaftlich geprägten Gebieten spielte dieser Verstoß gegen das Gesetze der Erhaltung der Masse keine Rolle, da dort ohnedies der Stickstoffüberschuss auf der landwirtschaftlichen Fläche die Berechnung dominiert, und Deposition keine wesentliche Rolle spielt. Aufgrund der flachen Neigung gibt es auch weniger Oberflächenabfluss.

Hier im Ötztal ist es anders. Das praktisch völlige Fehlen von landschaftlicher Fläche und damit von Kunstdünger führt dazu das plötzlich der Depositionsüberschuss die Berechnung beherrscht.

Aus diesem Gesichtspunkt ist die Anpassung des Modells in diesem Bereich wichtig.

Vorgangsweise bei der Anpassung:

Ziel war es zu berücksichtigen das Teilmengen des Stickstoffs aus dem Eintragungspfad Deposition bevor er in des Grundwasser gelangt, schon über den Schneeschmelzabfluss und über den Oberflächenabfluss abgezogen wird, und somit für das Einsickern in tiefere Schichten nicht in Frage kommt. Eingangswert für die Berechnung des N-Überschusses auf der Fläche, welcher hier so entscheidend ist sind die Stickstoff Depositionsraten in [mg/m².a]. (Siehe dazu Kapitel 2.1.2)

Es wurde so vorgegangen das für die Berechnung der Oberflächenabflusskonzentration, wie bisher die volle Depositionsrate eingesetzt wurde. Zur Berechnung der Grundwasserkonzentration wurde eine neue abgeminderte Depositionsrate angesetzt. Die ursprüngliche Rate wurde um die Anteile reduziert welche sich laut Berechnungsergebnissen im Schneeschmelzabfluss und im Oberflächenabfluss befanden. Folgendes Zahlenbeispiel soll dies am Beispiel des Teileinzugsgebietes 80 verdeutlichen. Dieses Gebiet ist zur Darstellung der Anpassung besonders geeignet da es hier keinen N-Überschuss aus der Landwirtschaft gibt welcher an dieser Stelle das Verständnis behindern würde.

Vor der Anpassung

Eingangswerte:

langjährige Depositionsrate: 953 [mg/m².a]
(Summen aus NH₄-N + NO₃-N)

1. Zwischenschritt:

Aus dieser Rate errechnet sich mit jener Fläche welche mit dem Grundwasser verbunden ist, (in diesem Fall 17,8 km² des insgesamt 76,4 km² großen Gebietes) eine Jahresstickstoffmenge welche potentiell übers Grundwasser in den Fluss gelangt.

Jahresstickstoffeintrag ins Grundwasser =
 $953 \text{ [mg/m}^2\text{.a]} \times 17,8 \text{ [km}^2\text{]} / 1000 = \underline{17,0 \text{ [t/a]}}$

Von dieser Fracht gelangt jedoch nur ein Teil ins sogenannte Sickerwasser wie in 2.2.1 beschrieben, bevor es ins Grundwasser gelangt.

2. Zwischenschritt:

Mit der maßgebenden Wassermenge welche sich aus dem Grundwasserabfluss von hier 0,65 [m3/s], und unter Berücksichtigung des natürlichen biologischen Abbaus am Grundwasserweg berechnet Moneris eine N-Konzentration im Grundwasser C_N_Grundw.

$$C_N_Grundw = \underline{0,39 \text{ [mg/l]}}$$

3. Ergebnis

Mit diesem Wert multipliziert mit der dazugehörigen Grundwasserabflussmenge errechnet sich der erhebliche Teil des N-Emission aus dem Pfad Grundwasserabfluss. Es werden hier noch kaum bedeutende Anteile aus andern Quellen als der Deposition addiert.

$$0,39 \text{ [mg/l]} \times 0,65 \text{ [m3/s]} \times 86,4 \times 0,365 + \text{SONSTIGES} = \text{ergibt}$$

$$\text{N-Emission aus Grundwasser} = \underline{9,4 \text{ [t/a]}}$$

Nach der Anpassung:

Aus den N-Emissionen aus Schneeschmelzwasser und Oberflächenwassers wurde jener Teil der Depositien errechnet welcher nicht in des Grundwasser gelangen kann.

$$\text{N-Emission aus Schneeschmelzwasser} = 5,5 \text{ [t/a]}$$

$$\text{N-Emission aus Oberflächenwasser} = 15,1 \text{ [t/a]}$$

$$\text{Summe} \qquad \qquad \qquad \underline{20,6 \text{ [t/a]}}$$

Dieser Betrag steht auf einer Fläche von 76,4 km2 verteilt nicht zur Versickerung in das Grundwasser zur Verfügung. Das wäre also in [mg/ha.a] der Einheit der Deposition ausgedrückt:

$$20,6 \text{ [t/a]} \times 1000 / 76,4 \text{ [km2]} = \underline{270 \text{ [mg/ha.a]}}$$

Nährstoffflüsse im Einzugsgebiet der Ötztaler Ache

Die für das Grundwasser maßgebende Depositionsrate, ist also nicht die Gesamtdeposition, sondern eine Rate welche um den zuvor berechneten Betrag reduziert werden muss.

Neuer Eingangswert:

langjährige Depositionsrate:	953 [mg/m ² .a]
(Summen aus NH ₄ -N + NO ₃ -N)	
nicht maßgebende Teilrate:	- 270 [mg/m ² .a]

	<u>683 [mg/m².a]</u>

In den Analogen Zwischenschritten ergeben sich folgende Zwischenergebnisse:

1.Zwischenschritt:

Jahresstickstoffeintrag ins Grundwasser =
683 [mg/m².a] x 17,8 [km²] / 1000 = **12,0 [t/a]**

2.Zwischenschritt:

C_N_Grundw = **0,32 [mg/l]**

3.Ergebnis

0,32 [mg/l] x 0,65 [m³/s] x 86,4 x 0,365 + SONSTIGES =
ergibt

N-Emission aus Grundwasser = 8,0 [t/a]
(nach Veränderung des Ansatzes)

4.4 Retentionswirkung beim den Schwebestoffen.

Die Betrachtungen im Kapitel 3.1.4, welche die Vermutung nahe legen, dass es im Raum Zwieselstein zur Anlandung von Geschiebe und Schwebestoffen kommt, könnte im Zuge der Modellanpassung berücksichtigt werden. Im Folgenden wird diese Möglichkeit diskutiert.

Bei der Berechnung der Nährstoff-Immissionen wird von den Emissionen eine Retention, also ein Rückhaltewirkung in Abzug gebracht. Beim Phosphor wird diese Rückhaltewirkung durch im Hauptfluss befindliche so genannte Retentionsräume hervorgerufen. Diese können Stauseen, durchflossene Seen, oder eingetieft Bereich mit geringer Fließgeschwindigkeit sein. Auf den Phosphorrückhalt haben solche Bereich den entscheidenden Einfluss, da Phosphor partikulär vorliegt und damit stark von der Wirkung der Schwerkraft abhängt. Ist die Fließgeschwindigkeit gering, so setzt sich der Phosphor z.B am Grund eines Stausees ab, um dort entweder zu sedimentieren, oder bei einem starken Abflussereignis wieder mobilisiert zu werden. Auf den Stickstoff haben solche Retentionsräume geringeren Einfluss, da dieser in gelöster Form von der Schwerkraft nicht beeinflusst wird. Allenfalls setzten durch die längere Aufenthaltszeit erhöhte Umwandlungsvorgänge ein, welche dazu führen das Stickstoff in seiner elementaren Form N₂ in die Luft entweicht. (vgl. 1.2.1)

Quantifizierung des zurückgehalten Phosphors und der Schwebestoffe:

Diese Frachten fielen im Frachtkontrollpunkt FKP3 unterhalb Söldens, mit einem dahinterliegenden Einzugsgebiet von 464 km² an.

FKP3_SLÖDEN	464 km ²	153 [t/a]P	169 [kt/a] SS
entspricht spezifischen		330 [g/ha.a]	364 [kg/ha.a]

An Frachtkontrollpunkten weiter oberhalb, in Obergurgel bei FKP2, und oberhalb Söldens im Ventner Tal bei OFKP fallen jedoch bei einer weitaus kleineren dahinterliegenden Fläche, bereits höhere Frachten an, welche eigentlich auch bis unter Sölden weitertransportiert werden sollten.

Nährstoffflüsse im Einzugsgebiet der Ötztaler Ache

Die drei Teileinzugsgebiete 105,100, und 80 ergeben auf einer Gesamtfläche von 290 km² folgende Frachten für P und SS.

0FKP_SÖLDEN	217 km ²	103 [t/a]P	99 [kt/a] SS
FKP2_OBERG	73 km ²	84 [t/a]P	112 [kt/a] SS

Summe	290 km ²	187 [t/a]P	211 [kt/a] SS
entspricht spezifisch		645 [g/ha.a]	728 [kg/ha.a]

Will man die Menge der Zurückgehalten Frachten bis Zwieselstein abschätze, welches direkt oberhalb Söldens liegt. (siehe Abbxy Kapitel 3.1.4) kann man wie folgt vorgehen.

Wir nehmen zur Vereinfachung und Mangels Messungen an, dass im TEZG 90 der Unteren Gurgler Ache auf 54km² keine Frachten hinzukommen. Somit entsprechen die oben berechneten Frachten, den Frachten in Zwieselstein, mit einem dahinterliegenden Einzugsgebiet von 344 km².

Um die Vergleichbarkeit mit dem Punkt FKP3 unterhalb von Sölden herzustellen, sind die Ergebnisse dort abzumindern. Der angewendete Skalierungsfaktor berücksichtigt, das bei FKP3 ein Einzugsgebiet von 464 km² dahinter liegt wir den Anteil einer Fläche von 344 km² benötigen. Der Faktor ist somit:

$$f = 344/464 = 0,74 [-]$$

Die Ergebnisse von FKP3 mi diesem Faktor multipliziert ergibt:

Zieselstein:

Basis FKP3	344 km ²	115 [t/a]P	127 [kt/a] SS

Basis 0FKP,FKP2	344 km ²	187 [t/a]P	211 [kt/a] SS

Folglich wird in, bzw. bis Zwieselstein die Differenz von

Differenz		- 72 [t/a]P	- 84 [kt/a] SS

zurückgehalten.

INTERPRETATION:

Um diese Differenz in MONERIS abzubilden wurde in der Angepassten Version Retentionsbecken, in Form von Seen eingegeben. Dies ist in der Zeile "lake surface area" in der Einheit [km²] möglich. Um die Phosphorfracht Fracht in Frachtkontrollpunkt FKP4, schon mit Anwendung der in 4.1 un 4.2 hergeleiteten Ansätze zu erklären, mussten in den Gebieten bis Zwieselstein EZG 80,90,100,105 gleichmäßig Retentionsflächen von insgesamt 21,5 km² Retentionsseen eingegeben werden. Dies entspricht sechs Prozent der Fläche bis Zwieselstein. Ein Retentionsraum dieser Größe ist in Zwieselstein und den Gebieten oberhalb aber in der Realität nicht erkennbar. Eine vollständige Erklärung der hohen Differenz durch Rückhaltung der Frachten in Retentionsräume ist daher nicht möglich. Der offensichtlich erkennbare Retentionsraum ist maximal 2-3 ha groß.

In 3.1.4 ist auch von einer Baggerung die Rede, welche möglicher ein Verlanden des Gebiets um Zwieselstein verhindern soll. Auch dies kann ein fehlen von 84 [kt/a] an diesem Punkt nicht erklären. Folgendes einfache Gedankenspiel soll dies zeigen.

Müsste ein Bagger mit einem Schaufelinhalt von 0,5 [m³], und einem Befüllungsgrad von 1[-] diese Menge an Schwebstoffen (84000t), mit einer geschätzten Schüttdichte von 2 [t/m³] auf einen LKW verladen, wobei ein die Spielzeit 30 [s] beträgt. So wäre dieser Bagger 350 Tage im Jahr je 8 Betriebsstunden im Einsatz. Setzt man die Betriebsstunde niedrig mit 50 Euro/h an, würde diese Baggerung 140.000 Euro im Jahr kosten. Vom Abtransport durch den LKW nicht zu reden. Dies scheint zu kostspielig und damit unrealistisch.

FAZIT:

Da eine Rückhaltung der Schwebstoffe, und eine Ausbaggerung der Schwebstoffe nicht in Frage kommt, und der Autor einen Rechenfehler ausschließen möchte, liegt offenbar ein Fehler irgendwo in den zugrundeliegenden Daten vor. Die Gesamtaussage der Diplomarbeit ist davon jedoch unberührt geblieben.

Aus diesen Gründen werden die Retentionsräume in den oberen Teilen der Ötztaler Ache nicht erhöht.

5 Verbesserte Ergebnisse

Aufgrund der Einbindung der in Kapitel 5 entwickelten Veränderungen in den Ansätzen konnten verbesserte Ergebnisse in Hinblick auf die Modellgüte erzielt werden. Im folgenden sind diese folgend der bisherigen Systematik tabellarisch und graphisch aufbereitet.

5.1 Phosphor

5.1.1 Modellergebnisse Phosphor - Emissionen

ERGEBNISSE NACH TEILEINZUGSGEBIETEN:

Die Tabelle 21 stellt die verbesserte Ergebnisse der Emissionsberechnungen von MONERIS dar. Die Retention wurde hier vernachlässigt und erst zur Bestimmung der Modellgüte von diesen Werten abgezogen.

Pfade [g/ha.a]/TEZG NR.	80	90	100	105	110	120
Fläche [km²]	76	54	96	132	314	163
Oberflächenabfluss	116	116	121	109	97	114
Schmelzschnee Abfluss	36	36	37	34	31	30
natürliche Erosion	6881	1519	8380	3281	1841	890
Grundwasser	54	55	61	53	50	78
Punktquellen u.a	0	1	0	1	27	58
TP-Emissionen [g/ha.a]	7089	1728	8600	3478	2046	1170

Tabelle 21: TP Emissionen nach MONERIS angepasst.

Die Werte verstehen sich wie im Kapitel 3 als spezifische TP Emissionen. In Abb.16 sind diese Werte in Form eines Balkendiagramm dargestellt.

ERGEBNISSE NACH FRACHTKONTROLLPUKTEN:

Durch Aufsummieren erhält man in Tabelle 22 analog Kapitel 3.1 die verbesserten Ergebnisse nach Frachtkontrollpunkten

Pfade [g/ha.a]/ FKP	FKP_1	FKP_2	OFKP	FKP_4	FKP_5
Fläche [km²]	96	76	228	672	835
Oberflächenabfluss	121	116	114	106	108
Schmelzsnee Abfluss	37	36	36	34	33
natürliche Erosion	8380	6881	5428	3602	3073
Grundwasser	61	54	56	53	58
Punktquellen u.a	0	0	1	13	22
TP-Emissionen [g/ha.a]	8600	7089	5634	3808	3293

Tabelle 22: Spezifische TP Emissionen nach Frachtkontrollpunkten. (angepasste Version)

Visualisierung dieser Tabelle siehe Abb.16.

Auch diese Ergebnisse verstehen sich als spezifische Emissionen.

5.1.2 Referenzberechnungen Phosphor

Unten stehend befinden sich die durchschnittlichen Ergebnisse der Referenzberechnungen (Tabelle 23)

Methoden/FKP_i [t/a]	FKP_1	FKP_2	OFKP	FKP_4	FKP_5
Referenzberechnungen	57	84	103	238	263

Tabelle 23: Ergebnisse der Referenzfrachterhebung. (angepasst Version)

Die Ergebnisse der Referenzfrachten für Phosphor aufgrund von Messung sind in Kapitel 3 nach Methoden getrennt aufgeführt.

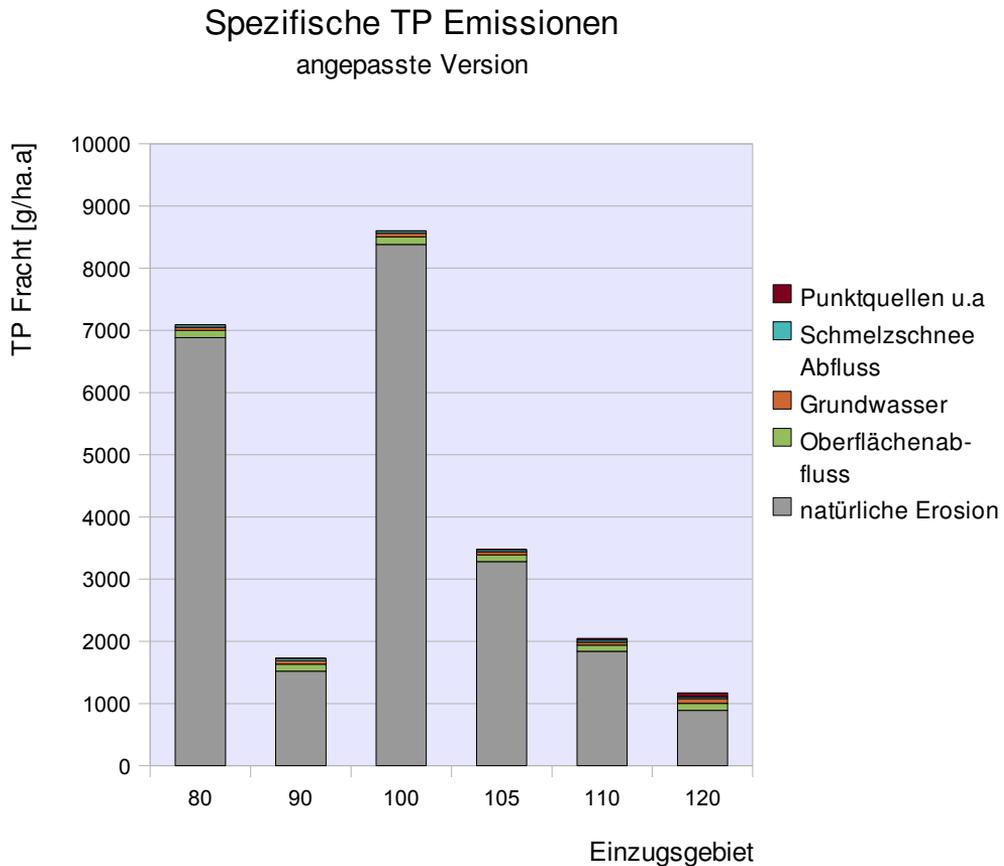


Abb.16: Spezifische TP-Emissionen nach Einzugsgebieten.
(angepasste Version)

Im Gegensatz zu Abb.9 spiegeln sich hier in Abb.16 die realen Verhältnisse im Ötztal viel besser wieder. Der Pfad der Erosion dominiert nun vollkommen. Alle anderen Eintragspfade sind nunmehr bedeutungslos. Sehr markant sind auch jene Einzugsgebiete zu erkennen welche vergletschert sind. (TEZ 80,100,105) Der erhöhte Gletscherschliff, welcher im Ötztal festzustellen war, konnte gut in das Modell eingearbeitet werden.

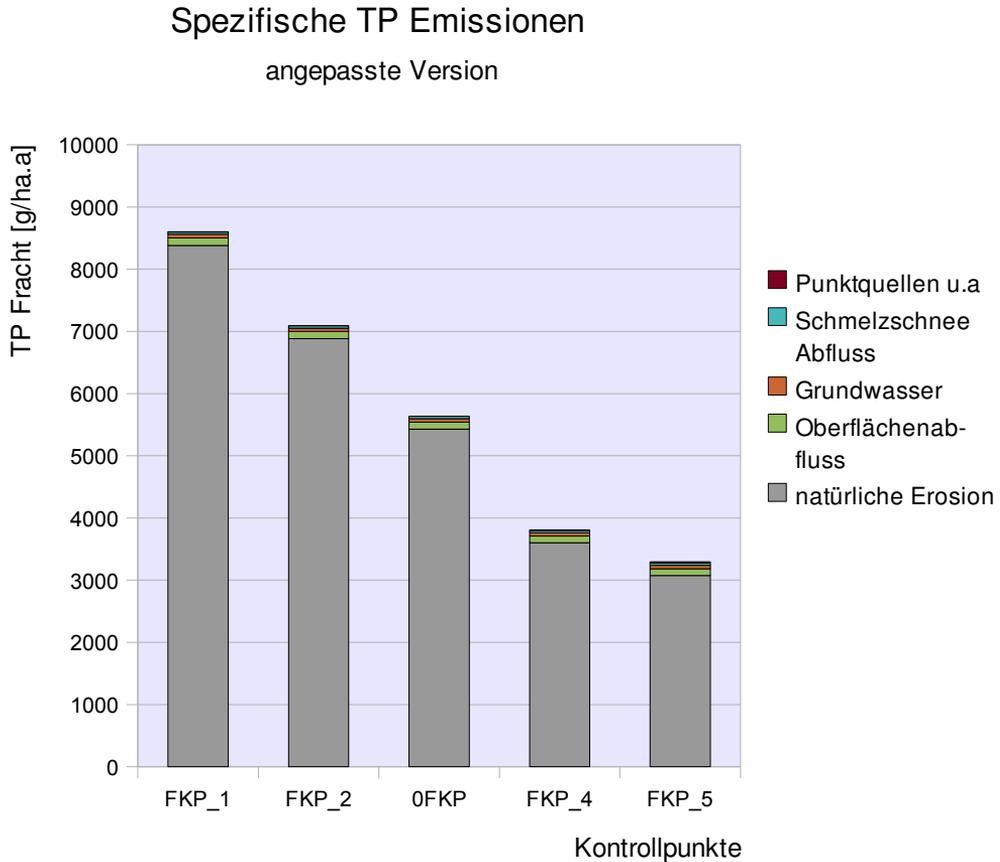


Abb.17: Spezifische TP-Emissionen nach Frachtkontrollpunkten. (angepasste Version)

Man erkennt hier, dass die spezifischen Belastungen beim Phosphor von Oberlauf zum Unterlauf hin abnehmen. Das entspricht auch den realen Gegebenheiten. In den vergletscherten und stark erodierten Gebieten oberhalb Söldens ist die erhöhte spezifische Belastung im Modell realitätsnah abgebildet.

5.1.3 Retention und Phosphor – Immissionen

Um von den Emissionen auf die Immissionen zu kommen, bringt man die Retention in Abzug. (vgl. Punkt 3.1.3) Die untenstehende Tabellen 24 zeigt dies

Berechnung/TEZG Nr:	80	90	100	105	110	120
Emissionen [t/a]	54	9	83	46	64	19
<i>Retention [%]</i>	<i>0,6</i>	<i>1,8</i>	<i>0,6</i>	<i>2,3</i>	<i>3,1</i>	<i>10,8</i>
- Retention [t/a]	0,3	0,2	0,4	1,0	2,1	2,4
= Immissionen [t/a]	54	9	82	45	62	17

Tabelle 24: Berechnung der TP-Immissionen in den Teileinzugsgebieten (angepasste Version)

Die Ergebnisse verstehen sich als absolute Frachten in [t/a], welche in diesen TEZG anfallen.

Die Immissionen nach Frachtkontrollpunkten sind in Tabelle 25 ersichtlich.

TEZG Nr:	FKP_1	FKP_2	0FKP	FKP_4	FKP_5
[t/a]	82	54	127	252	269

Tabelle 25: TP Immissionen in den Frachtkontrollpunkten. (angepasste Version)

Die Werte ergeben sich wie im Kapitel 3 beschrieben durch Aufsummieren der Einzugsgebietsergebnisse entsprechend dem Abflussbaum.

5.1.4 Verbesserung der Modellgüte

Um die Güte der verbesserten Modellergebnisse für Phosphor beurteilen zu können werden analog 3.1.4 die Ergebnisse der Referenzberechnungen und die verbesserten Modellberechnungen gegenübergestellt.

Methoden/FKP_i [t/a]	FKP_1	FKP_2	OFKP	FKP_4	FKP_5
Referenzberechnungen	57	84	103	238	263
TP-Immissionen original	7	5	15	39	46
Modellgüte 1:x orig.	1:0,12	1:0,06	1:0,15	1:0,24	1:0,18
TP-Immissionen angepasst	82	54	127	252	269
Modellgüte 1:x angep.	1:1,44	1:0,64	1:1,23	1:1,06	1:1,02

Tabelle 26: Gegenüberstellung Referenzfracht und Modellergebnisse für Phosphor.

Die oberste hervorgehobene Ergebniszeile hat die Ergebnisse der Referenzberechnungen in Tonnen pro Jahr zum Inhalt. Diese verstehen sich als realitätsnahe Phosphorfrachten, die es galt mit dem Modell abzubilden. In der Zeile TP Immissionen original sind die Ergebnisse der Ausgangslage enthalten. Darunter die Modellgüte in der Form 1 zu x.

Die darauf folgenden beiden Zeile haben denselben Inhalt nur für den bereits angepassten Modell.

Die Abbildung 18 stellt diese Abweichung graphisch dar. Jeder Punkt spiegelt das Verhältnis der beiden Methoden wieder. Wobei als x Wert der Wert der Referenzberechnung in jedem Kontrollpunkt ist, und der y Wert das Ergebnis des Modells. Ein Wert welcher optimal Angepasst wäre würde exakt auf der 1:1 Linie zu liegen kommen. Die dunkelblauen quadratischen Punkte stellen die verbesserten Ergebnisse dar, während die hellblauen Rauten die Ausgangslage vor der Kalibrierung symbolisieren.

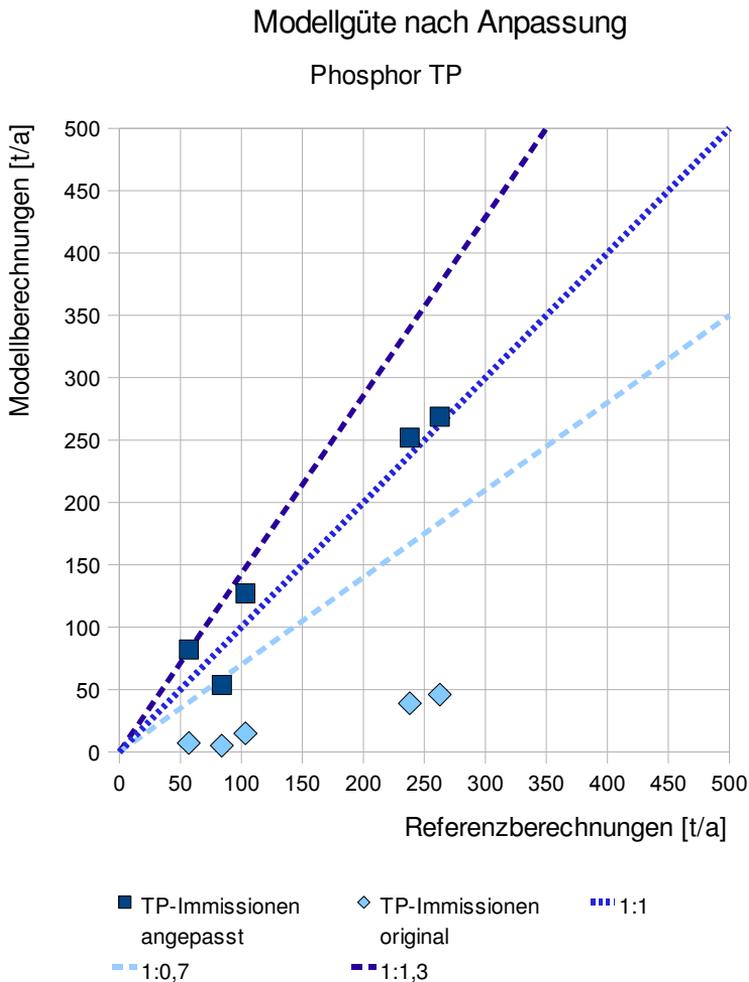


Abb.18: Modellgüte für Phosphor nach der Anpassung.

Hier kann man erkennen wie gut die Anpassung von MONERIS an das EZG, aufgrund der arbeitenden Ansätze in Kapitel 4.1 und 4.2 insgesamt gegriffen hat.

Die Werte streuen gleichmäßig in der 1:1 Linie und verlassen den Vertrauensbereich von $\pm 30\%$ nie.

5.1.5 Diskussion

In Abb. 18 sieht man wie stark die Kalibrierung beim Phosphor über den Erosionspfad gegriffen hat, und wie verhältnismäßig gut die Anpassung gegenüber der Ausgangsberechnung war.

Bei der Betrachtung der verbesserten Modellergebnisse getrennt nach Einzugspfaden fällt auf, dass nun der Anteil aus dem Pfad über die natürliche Erosion (im Bild Abb.16 grau) nicht mehr etwa 2/3 der Gesamtfracht ausmacht wie ursprünglich, sondern nun das Ergebnis absolut dominiert. Der Anteil der anderen Pfade an der Gesamtfracht ist verschwindend gering. Dies entspricht auch absolut den Erwartungen in diesem stark vergletscherten und von Erosion geprägten Hochalpinen Alpenal.

Durch die beinahe Verdreifachung des Parameters für den natürlichen Phosphorgehalt von 150 [mg/kg] auf 740 [mg/kg], aufgrund der Ausführungen zu Geologie unter Kapitel xy konnte schon etwa 2/3 der Verbesserung erzielt werden.

Die Einführung eines Parameters zur Berücksichtigung der erhöhten natürlichen Erosionsrate unter vergletscherten Flächen, infolge des verstärkten Abriebs brachte ein weiteres 1/3 der Verbesserung. Der pauschale Parameter zur Berücksichtigung der natürlichen Erosionsrate war bis dahin für alle offenen Flächen undifferenziert 4 [t/ha.a]. Für Gletscherflächen wurde dieser Wert aufgrund der Herleitungen unten Punkt x.y.z auf 18 [t/ha.a] erhöht.

5.2 Stickstoff

5.2.1 Modellergebnisse Stickstoff - Emissionen

ERGEBNISSE NACH TEILEINZUGSGEBIETEN:

Die Tabelle 27 stellt die verbesserte Ergebnisse der Emissionsberechnungen von MONERIS dar. Die Retention wurde hier vernachlässigt und erst zur Bestimmung der Modellgüte von diesen Werten abgezogen.

Die Tabelle wurde in Abb.19 visualisiert.

Pfade [g/ha.a]/TEZG NR.	80	90	100	105	110	120
Fläche [km²]	76	54	96	132	314	163
Oberflächenabfluss	1985	2052	2055	2007	1912	2977
Schmelzschnee Abfluss	727	723	747	688	626	600
natürliche Erosion	0	0	0	0	0	0
Grundwasser	1045	1748	473	1237	1937	3241
Punktquellen u.a	10	27	10	28	816	493
TN Emissionen [g/ha.a]	3767	4550	3286	3960	5292	7310

Tabelle 27: Spezifische TN Emissionen nach Einzugsgebieten (angepasste Version)

Pfade [g/ha.a]/ FKP	FKP_1	FKP_2	0FKP	FKP_4	FKP_5
Fläche [km²]	96	76	228	672	835
Oberflächenabfluss	2055	1985	2028	1971	2167
Schmelzschnee Abfluss	747	727	713	675	660
natürliche Erosion	0	0	0	0	0
Grundwasser	473	1045	915	1474	1819
Punktquellen u.a	10	10	20	392	411
TN-Emissionen [g/ha.a]	3286	3767	3676	4512	5058

Tabelle 28: Spezifische TN Emissionen nach Frachtkontrollpunkten (angepasste Version)

Visualisierung dieser Tabelle siehe Abb.20.

Spezifische TN Emissionen angepasste Version

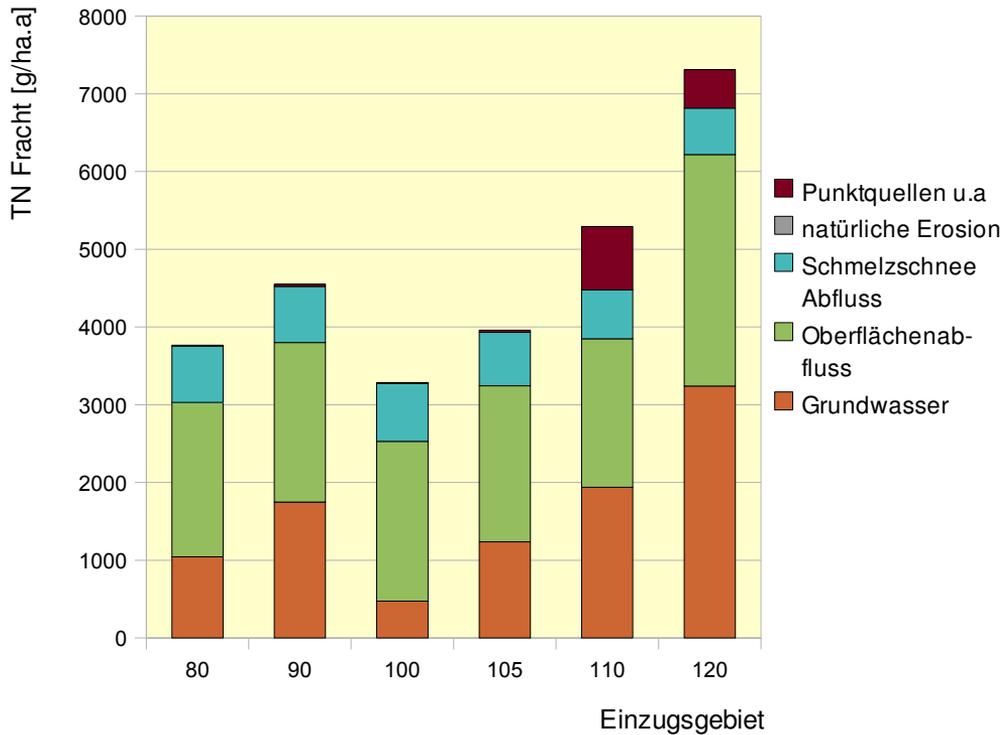


Abb.19: Spezifische TN-Emissionen nach Einzugsgebieten.
(angepasste Version)

Man erkennt das der Pfad der natürlichen Erosion, aufgrund der Anpassungsmaßnahmen aus Punkt 4.4 gänzlich verschwunden ist. Die generelle Charakteristik der Verteilung der spezifischen Stickstoff Belastungen hat sich jedoch nicht grundlegend verändert. Der Schwerpunkt ist noch etwas deutlicher in Richtung der Einzugsgebiete 110 und 120 verschoben. (vergleiche Abb.12)

Spezifische TN Emissionen

angepasste Version

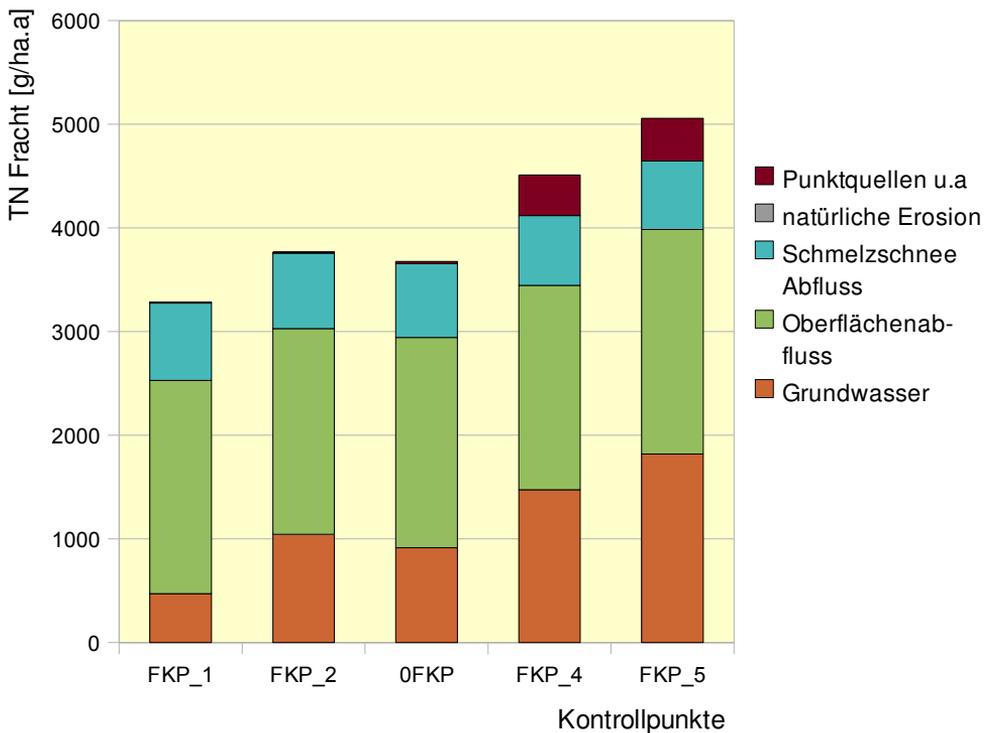


Abb.20: Spezifische TN-Emissionen nach Frachtkontrollpunkten. (angepasste Version)

Die durchschnittliche spezifische Belastung in Ötztal ist von ursprünglich etwa 6000 [g/ha.a] auf 5000 [g/ha.a], wie die Ergebnisse des Frachtkontrollpunktes FKP_5 bei der Mündung der Öztaler Ache erkennen lassen, gesunken. (vgl. Abb.12)

Die Anteile aus Oberflächenabfluss und Grundwasserabfluss sind quantitativ nach wie vor am stärksten vertreten. Der Anteil aus dem Eintrag über natürliche Erosion schlägt sich nicht mehr in der Berechnung nieder.

5.2.2 Referenzberechnungen Stickstoff

Unten stehend befinden sich die durchschnittlichen Ergebnisse der Referenzberechnungen nach der Anpassung(Tabelle 29)

Methoden/FKP_i [t/a]	FKP_1	FKP_2	OFKP	FKP_4	FKP_5
Referenzberechnungen	25	28	59	242	313

Tabelle 29: Ergebnisse der Referenzfrachterhebung für Stickstoff. (angepasste Version)

5.2.3 Retention und Stickstoff

Im Folgenden ist hier die Berechnung der Stickstoff - Immissionen der jeweiligen Teileinzugsgebiete aus den angepassten Emissionen mithilfe des Retentionansatzes von MONERIS dargestellt. Siehe dazu Tabelle 30.

Berechnung/TEZG Nr:	80	90	100	105	110	120
Emissionen [t/a]	28,7	24,7	31,6	52,4	166,6	119,5
Retention [%]	0,3	1,0	0,3	1,3	1,7	6,2
- Retention [t/a]	0,1	0,3	0,1	0,8	3,1	7,7
= Immissionen [t/a]	28,6	24,4	31,5	51,7	163,5	111,8
DIN/TN Verhältnis[%]	95,8	100,2	101,2	100,3	99,5	93,3
= DIN Immissionen [t/a]	27,4	24,4	31,8	51,8	162,6	104,3

Tabelle 30: Berechnung der TN-Immissionen in den Teileinzugsgebieten (angepasste Version)

Durch entsprechendes Aufsummieren der angepassten Ergebnisse der Tabelle 30 ergeben sich die Immissionsfrachten in den jeweiligen Frachtkontrollpunkten.(siehe Tabelle 31)

Parameter/FKP_NR	FKP_1	FKP_2	OFKP	FKP_4	FKP_5
TN-Immissionen[t/a]	31	29	83	300	411
DIN-Immissionen[t/a]	32	27	84	298	402

Tabelle 31: TN Immissionen in den Frachtkontrollpunkten. (angepasste Version)

5.2.4 Verbesserung der Modellgüte

Um die Güte der verbesserten Modellergebnisse für Phosphor beurteilen zu können werden analog 3.1.4 die Ergebnisse der Referenzberechnungen und die verbesserten Modellberechnungen gegenübergestellt.

Methoden/FKP_i [t/a]	FKP_1	FKP_2	0FKP	FKP_4	FKP_5
Referenzberechnungen	25	28	59	242	313
DIN Immissionen original	41	34	104	353	469
Modellgüte 1:x original	1:1,63	1:1,23	1:1,76	1:1,46	1:1,50
DIN Immissionen angepasst	32	27	84	298	402
Modellgüte 1:x angepasst	1:1,27	1:0,98	1:1,42	1:1,23	1:1,29

Tabelle 32: Gegenüberstellung Referenzfracht und Modellergebnisse für Stickstoff.

Die oberste hervorgehobene Ergebniszeile hat die Ergebnisse der Referenzberechnungen in Tonnen pro Jahr zum Inhalt. Diese verstehen sich als realitätsnahe Stickstofffrachten, die es galt mit dem Modell abzubilden. In der Zeile DIN Immissionen original sind die Ergebnisse der Ausgangslage enthalten. Darunter die Modellgüte in der Form 1 zu x. Die darauf folgenden beiden Zeile haben denselben Inhalt nur für den bereits angepassten Modell.

Die Abbildung 18 stellt diese Abweichung graphisch dar. Jeder Punkt spiegelt das Verhältnis der beiden Methoden wieder. Wobei als x Wert der Wert der Referenzberechnung in jedem Kontrollpunkt ist, und der y Wert das Ergebnis des Modells. Ein Wert welcher optimal Angepasst wäre würde exakt auf der 1:1 Linie zu liegen kommen. Die dunkelblauen quadratischen Punkte stellen die verbesserten Ergebnisse dar, während die hellroten Rauten die Ausgangslage vor der Kalibrierung symbolisieren.

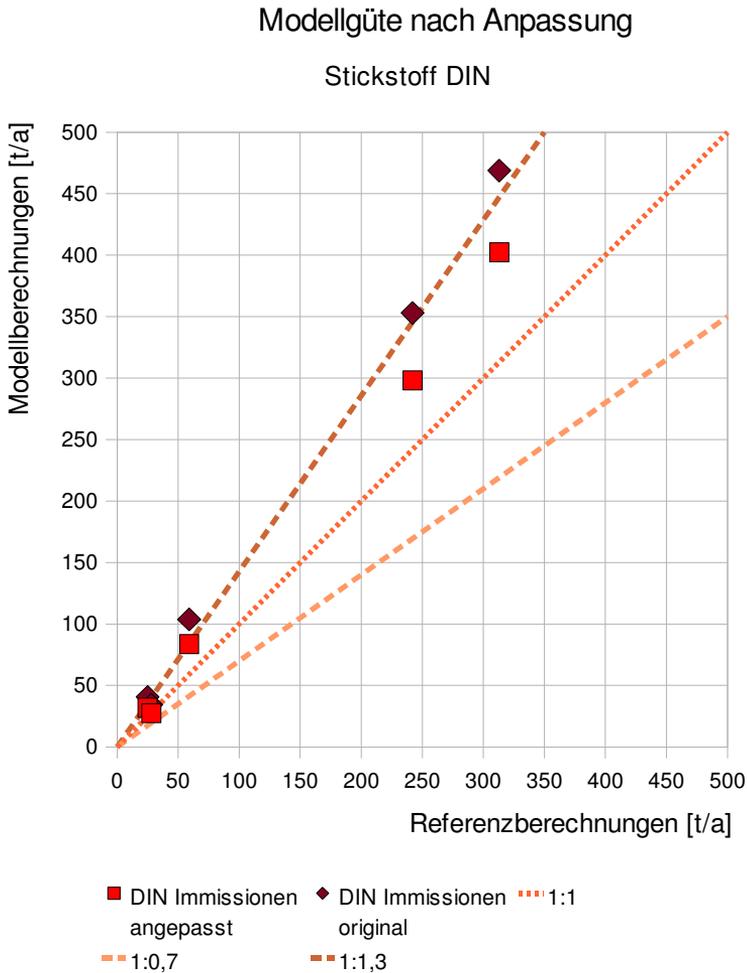


Abb.21: Modellgüte Stickstoff vor und nach der Anpassung.

Hier kann man gut erkennen wie die Einbindung der hergeleiteten Ansätze in 4.3 und 4.4 in die Modellierung das Ergebnis verbessert hat. Es kommt zwar an keinem Punkt zu einer optimalen Anpassung nahe der 1:1 Linie, aber alle Werte befinden sich in Vertrauensbereich von +/- 30% zwischen der 1:1,3 Linie, und der 1:0,7 Linie. Insgesamt konnte im Schnitt eine Verbesserung um 30 Prozentpunkte erzielt werden.

5.2.5 Diskussion

Die Graphik in Abb.21 zeigt die Anpassung des Modells gegenüber der Ausgangssituation einer Verbesserung von etwa 30 Prozentpunkten.

Der Vergleich des Frachtanteils welcher über den Grundwasserpfad geht, (Abb.12 und Abb.19) zeigt jedoch das hier eine Reduktion um 25 Prozent erreicht wurde. Da der Anteil der Grundwasserfracht jedoch nur etwa ein Drittel der Gesamtfracht ausmacht schlägt sich dies kaum auf die Güte des Modells insgesamt nieder.

Aus systematischen Gründen war die Anpassung der Berechnungsansätze des Modells beim Grundwasserpfad jedoch auf jeden Fall sinnvoll, und kann sich in anderen Gebirgsgebieten in denen aufgrund der Bodenverhältnisse verstärkt Grundwasser auftritt positiv auf die Modellgüte auswirken.

Wie in Kapitel 4.3 ausführlich beschrieben wurde ein bestimmter Anteil der Gesamtstickstoffdeposition auf die Fläche für den Grundwasserpfad nicht mehr angesetzt, da dieser sich rechnerisch bereits im Oberflächenabfluss und im Schneeschmelzabfluss befand. Diese Anpassung ist in kaum anthropogen genutzten Einzugsgebieten, in den die Stickstoff Deposition die einzig nennenswerte Belastung darstellt absolut notwendig.

Den wesentlicheren Beitrag zur Verbesserung stellte der Wegfall des Anteils welcher über Pfad der natürliche Erosion in der ursprünglichen Modellierung aufschien. Im Zuge einer Recherche , und einer darauf aufbauenden Argumentation konnte im unter Kapitel 4.2 hergeleitet werden, dass der Sedimentabtrag von Felsflächen, welcher im Ötztal vermehrt auftritt keinen Stickstoff enthält. Zuvor wurde im Standardansatz eine Gesteinskonzentration von 250 [mg/kg] angesetzt.

6 Schlussbetrachtungen

Die Diplomarbeit hat einerseits gezeigt, dass das Emissionsmodell MONERIS Methode auf seinem derzeitigen Entwicklungsstand nicht in der Lage ist Phosphor und Stickstofffrachten in einem nicht vom Menschen und landwirtschaftlicher Nutzung dominierten gebirgigen Einzugsgebiet, wie dem der Öztaler Ache, abzubilden. Andererseits konnte gezeigt werden, dass die MONERIS -Methode selbst flexibel genug ist sich grundsätzlich auch auf diese Anforderungen anpassen zu lassen.

Konkret wurde im Zuge dieser Arbeit festgestellt, dass Ansätze in Belastungspfaden, welche nicht unmittelbar mit menschlicher Aktivität zu tun haben, im Programm unverhältnismäßig grob modelliert werden. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass das Modell für stark vom Menschen genutzten Gebieten in Deutschland entwickelt wurde.

Dies wurde im Ötztal bei der Berechnung der Phosphorfrachten augenscheinlich. Das Programm war nicht in der Lage in diesem aufgrund seiner Exponiertheit mit Gipfeln über 3500m Seehöhe sehr stark der Erosion unterworfenen Gebiet realitätsnahe Ergebnisse für den gleichnamigen Eintragspfad nach der MONERIS Methode zu erzeugen. Hier unterschätzt das Modell den Phosphoreintrag um eine Zehnerpotenz eines plausibel erscheinenden Wertes. Diese vergleichsweise technisch einfache Änderung vom Modell verwendeter Parametern, welche die Nährstoffkonzentration der Gesteins und die natürlichen Erosionsraten der Felsflächen betrafen, konnten plausible Ergebnisse erreicht werden.

Im Zuge der flankierenden Recherchen konnte eindeutig belegt werden, dass die Konzentration von Phosphor in Gesteinen im Programm ganz allgemein um das vierfache zu niedrig angesetzt war. Im speziellen Fall des Ötztales konnte auch hergeleitet werden, dass bei offenen Flächen, welche durch den Gletscher erhöht erodiert werden, der Parameter, welcher den natürlichen Gebirgsabtrag berücksichtigt, ebenfalls zu niedrig, bzw gar nicht berücksichtigt war.

Im Gebiet des Ötztals ist eine Verbesserung der Modellgüte für den Stickstoff über die Veränderung von Modellansätzen nur sehr schwer zu realisieren. Grundsätzlich bildet das Modell die Stickstofffrachten allerdings verhältnismäßig plausibel ab. Es kam lediglich zu einer generellen Überschätzung einer Referenzfracht von etwa 50 Prozent. Daran konnte die Behebung

Nährstoffflüsse im Einzugsgebiet der Ötztaler Ache

eines systematischen Berechnungsfehlers seitens der Grundwasserpfadens nur sehr wenig ändern.

Beim Stickstoff legt der starke Einfluss der Deposition auf Flächen in anthropogen nicht genutzten Hochgebirgstälern eine Verbesserung der Genauigkeit diesbezüglicher Inputdaten nahe. Dies scheint aus Sicht des Verfassers eine geeignete Möglichkeit die Modellgüte weiter zu erhöhen.

Im Zuge der Recherche zur Geologie im Ötztal, konnte nachgewiesen werden dass im Gestein kein Stickstoff vorhanden ist. Dadurch fiel bei den angepassten Ergebnissen der Pfad über natürliche Erosion zur Gänze weg. Dadurch konnte eine wesentliche Verbesserung erzielt werden. Insgesamt konnte die Modellgüte um 30 Prozentpunkte verbessert werden, was etwa den halben Weg zu einer vollkommen Anpassung bedeutet.

Die durch den Verfasser im Zuge einer ersten Modellkalibrierung veränderten Ansätze beim Phosphor und beim Stickstoff wäre nun anhand eines ähnlichen Einzugsgebietes zu verfeinern, bzw. auf deren grundsätzliche Allgemeingültigkeit im Zuge einer Validierung zu überprüfen.

Da im Ötztal vorwiegend magmatisches Gestein ansteht, welches einen sehr homogenen Phosphorgehalt aufweist, ist ein konstanter Gehalt von 740 [mg/kg] gerechtfertigt. Auch in Hinblick darauf, dass dies in etwa dem durchschnittlichen Anteil des Phosphors am Aufbau der Erdkruste entspricht. Für anderen Gesteinsarten, welche unter anderen Randbedingungen entstanden sind und vielleicht pflanzliche oder tierische Bestandteile enthalten, wie beispielsweise Muschelkalk, ist dieser Gehalt zu hinterfragen, da er nicht den Anspruch auf Allgemeingültigkeit erheben kann.

Das selbe gilt für den Stickstoffgehalt im Gestein. Hier wurde für magmatisches Gestein ein Stickstoffgehalt von 0 [mg/kg] angesetzt, da dies dem seltenen Auftreten von Stickstoff in tiefen Teilen der Erdkruste entspricht.

Mit der MONERIS Methode, kombiniert mit der Möglichkeit geographische Daten aus dem GIS in sehr hoher Auflösung zu erhalten, steht uns heute ein hervorragendes Werkzeug zum besseren Verständnis, und Steuerung der Wechselwirkungen zwischen Anthroposphäre und Biosphäre in Gewässersystemen zur Verfügung. Aus der Perspektive des Autors sind Projekte wie MONERIS Teil der Lösung wenn es um Fragen einer allgemeinen nachhaltigen Entwicklung geht, und man hat nicht das Gefühl wie bei der Arbeit an einigen sogenannten technischen Errungenschaften selbst zum Teil des Problems zu werden.

7 Anhang

Pges.....Phosphor gesamt, unfiltriert, also gelöst plus ungelöst

Nges.....Stickstoff gesamt, Ammonium und Nitrat

SS.....Schwebestoffe

Fracht.....Nährstofffrachten, bzw. Schwebestofffrachten

FKP.....Frachtkontrollpunkt.

C_Pges.....Gesamtphosphor Konzentration.

Q_FPK_3.....Durchfluss am Frachtkontrollpunkt 3

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Ökologie Grundlagen, Standorte Anwendungen,
Eugen P. Odum, 3. Auflage, Georg Thieme Verlag 1999,
ISBN 3-13-382303-5, S 109 ff
- [2] Textquelle:
http://www.chemievorlesung.uni-kiel.de/1992_umweltbelastung/duengl.htm
- [3] www.wikipedia.at Begriff: Phosphor
- [4] www.wikipedia.at Begriff: Phosphorkreislauf
- [5] www.wikipedia.at Begriff: Stickstoff
- [6] www.wikipedia.at Begriff: Haber-Bosch Verfahren
- [7] www.wikipedia.at Begriff: Harnstoff
- [8] www.wikipedia.at Begriff: Nitrifikation, Denitrifikation
- [9] www.wikipedia.at Begriff: Stickstoffdünger
- [10] www.wikipedia.at Suchbegriff: Ötztal
- [11] "Nährstoffbilanzierung der Flussgebiete Deutschlands."
Umweltbundesamt Deutschland, 1999
- [12] "Entwicklung, Dokumentation und Anwendung eines
szenariofähigen Managmenttools zur Beschreibung der
Einträge, Retention und Frachten im Flusssystem."
Leibniz Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei
im FVB Berlin EV sowie Universität Karlsruhe, 2008
- [13] persönliche Mitteilung; Zessner 2010
- [14] Wedepohl, K.H 1967; Walter de Gruyter & Co. Berlin,
1967, 220 Seiten (Sammlung Göschen,Band 1224/a/b)
- [15] Holleman, Wiberg: Lehrbuch der Anorganischen Chemie,
91.-100. Auflage, de Gruyter, Berlin, 1985(S. 928-931)
- [16] www.uniterra.de/rutherford/tab_hauf.htm
- [17] Quelle: www.geozentrum-tirol.at Artikel: Metomorphose im
Ötztalkrisallin von Sören Rode

Nährstoffflüsse im Einzugsgebiet der Ötztaler Ache

- [18] Geologisches Jahrbuch, Band 112 Seite 31-80; Wien, September 1969; H.Fuchs, A.Kröner und k.Schmidt
- [19] www.mineralien.co.at
- [20] persönliche Mitteilung Zessner (2009)
- [21] www.uni-koeln.de/math-nat-fak/mineral/museum/2-Meteorit.pdf
Artikel: Meteorite als Bausteine der Erde.
- [22] [Quelle:www.naturpark-otztal.at Artikel: Via Alpina Zwieselstein-Vent]

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

- Abb.1: Flowchart: Nährstoffeinträge über Erosion [12],S 33
Abb.2: Flowchart: Nährstoffeinträge über Oberflächenabfluss [12],S 38
Abb.3: Flowchart Stickstoffeintrag über Grundwasser [12],S 48
Abb.4: Charakteristische Datenübersicht des Ötztales
Abb.5: Stickstoff Tagesfrachten in Abhängigkeit von Abflüssen am FKP_5.
Abb.6: P_Konzentrationen zu Abflüssen unter 30 m³/s am FKP_3.
Abb.7: P_Konzentrationen zu Abflüssen über 30 m³/s am FKP_3.
Abb.8: Frachtkontrollpunkte sowie zugehörige Güte- und Abflusspegel.
Abb.9: Spezifische TP Emissionen nach Einzugsgebieten.
(original Version)
Abb.10: Spezifische TP Emissionen nach Frachtkontrollpunkten.
(original Version)
Abb.11: Anlandungsstrecke in Zwieselstein.
Abb.12: Spezifische TN-Emissionen nach Einzugsgebieten
(original Version)
Abb.13: Spezifische TN-Emissionen nach Frachtkontrollpunkten.
(original Version)
Abb.14: Modellgüte Stickstoff und Phosphor vor Anpassung.
Abb.15: Korrelation Schwebestoff Phosphor bei Längenfeld.
Abb.16: Spezifische TP-Emissionen nach Einzugsgebieten.
(angepasste Version)
Abb.17: Spezifische TP-Emissionen nach Frachtkontrollpunkten.
(angepasste Version)
Abb.18: Modellgüte für Phosphor nach der Anpassung.
Abb.19: Spezifische TN-Emissionen nach Einzugsgebieten.
(angepasste Version)
Abb.20: Spezifische TN-Emissionen nach Frachtkontrollpunkten.
(angepasste Version)
Abb.21: Modellgüte Stickstoff vor und nach der Anpassung.

TABELLENVERZEICHNIS

- Tabelle 1: Teileinzugsgebiete/ Abflussbaum.
Tabelle 2: Durchschnittliche Seehöhe und Neigung der
Teileinzugsgebiete.
Tabelle 3: Landnutzung in den Teileinzugsgebieten.
Tabelle 4: Jahresniederschlagssummen und Abfluss in den TEZG.
Tabelle 5: Stickstoffdepositionsraten nach
Teileinzugsgebieten.
Tabelle 6: Eintrag von P und N aus Kläranlagen.
Tabelle 7: TP Emissionen nach MONERIS original.
Tabelle 8: Spezifische TP Emissionen nach
Frachtkontrollpunkten.
Tabelle 9: Ergebnisse der Referenzfrachterhebung für Phosphor.
(original Version)
Tabelle 10: Berechnung der TP-Immissionen in den
Teileinzugsgebieten.(original Version)
Tabelle 11: TP Immissionen in den Frachtkontrollpunkten.
(original Version)
Tabelle 12: Verhältnis Phosphor zu Schwebestoff auf
Basis von Jahresfrachten.
Tabelle 13: Verhältnis Phosphor zu Schwebestoff auf
Basis von Tagesfrachten.
Tabelle 14: Spezifische TN Emissionen nach Teileinzugsgebieten.
(angepasste Version)
Tabelle 15: Spezifische TN Emissionen nach
Frachtkontrollpunkten. (angepasste Version)
Tabelle 16: Ergebnisse der Referenzfrachtberechnungen für
Stickstoff. (originale Version)
Tabelle 17: Immissionsberechnungen Stickstoff.
Tabelle 18: Vergleich TN-DIN Stickstoff.
Tabelle 19: Modellgüte für Phosphor.
Tabelle 20: Modellgüte für Stickstoff.
Tabelle 21: TP Emissionen nach MONERIS angepasst.
Tabelle 22: Spezifische TP Emissionen nach
Frachtkontrollpunkten (angepasste Version)
Tabelle 23: Ergebnisse der Referenzfrachterhebung für Phosphor.
(angepasst Version)
Tabelle 24: Berechnung der TP-Immissionen in den
Teileinzugsgebieten (angepasste Version)
Tabelle 25: TP Immissionen in den Frachtkontrollpunkten.
(angepasste Version)
Tabelle 26: Gegenüberstellung Referenzfracht und
Modellergebnisse für Phosphor.
Tabelle 27: Spezifische TN Emissionen nach Einzugsgebieten
(angepasste Version)
Tabelle 28: Spezifische TN Emissionen nach
Frachtkontrollpunkten (angepasste Version)

Nährstoffflüsse im Einzugsgebiet der Öztaler Ache

Tabelle 29: Ergebnisse der Referenzfrachterhebung für Stickstoff. (angepasste Version)

Tabelle 30: Berechnung der TN-Immissionen in den Teileinzugsgebieten (angepasste Version)

Tabelle 31: TN Immissionen in den Frachtkontrollpunkten. (angepasste Version)

Tabelle 32: Gegenüberstellung Referenzfracht und Modellergebnisse für Stickstoff.