

# **Die Modellierung der Wasserhaushaltskomponenten im Einzugsgebiet des Pegels Töll für den Zeitraum 1990–2002**

## **Diplomarbeit**

eingereicht am  
INSTITUT FÜR METEOROLOGIE UND GEOPHYSIK  
LEOPOLD-FRANZENS-UNIVERSITÄT INNSBRUCK



zur Erlangung des akademischen Grades  
MAGISTER DER NATURWISSENSCHAFTEN

von Christian Große

Innsbruck, April 2008

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abstract</b>	<b>3</b>
<b>Zusammenfassung</b>	<b>4</b>
<b>1. Einleitung</b>	
1.1. Aufgabenstellung und Zielsetzung	<b>5</b>
1.2. Das Einzugsgebiet	<b>6</b>
1.3. Verzeichnis der Tabellen und Diagramme	<b>8</b>
<b>2. Datengrundlage</b>	
2.1. Die Temperaturstationen	<b>9</b>
2.2. Die Niederschlagsstationen	<b>13</b>
2.3. Vervollständigung der Datenreihen	<b>16</b>
2.4. Abflussdaten	<b>18</b>
2.5. Gletscherdaten	<b>20</b>
2.6. Kenngrößen des Einzugsgebiets	<b>21</b>
<b>3. Das hydrometeorologische Modell</b>	
3.1. Modellbeschreibung	<b>23</b>
3.2. Bestimmung und Anpassung der Eingabeparameter	<b>27</b>
<b>4. Modellierungsergebnisse</b>	
4.1. Die vier Terme der Wasserbilanz	<b>31</b>
4.2. Klimaszenarien	<b>39</b>
4.3. Sensitivität der Bilanzierung	<b>43</b>
<b>5. Anhang</b>	
5.1. Tabellen	<b>45</b>
<b>6. Literaturliste</b>	<b>50</b>
<b>7. Lebenslauf</b>	<b>51</b>
<b>8. Danksagung</b>	<b>52</b>

## **Abstract**

The acknowledgment of the water balance is of great importance for an area like the Vinschgau, one of the most arid regions in the Alps. Remember the irrigation for the local agriculture or the energy generation by hydropower. In this paper, the prevailed evaporation, the discharge, the storage and the precipitation are calculated by a hydro meteorological model with the use of observed climatic conditions. This balance is a description of the components of water supply, averaged for the period from 1990 till 2002. The mentioned case scenarios allow an assessment of these conditions for a possible change in temperature or precipitation. This is of highest interest for any kind of planning the water supply and distribution.

## **Zusammenfassung**

Die Kenntnis des Wasserhaushalts ist für eine Gegend wie den Vinschgau, eines der trockensten Gebiete der Alpen, von großer Bedeutung. Man denke nur an die dortigen Bewässerungssysteme für die Landwirtschaft oder an die Energiegewinnung durch Wasserkraft. In dieser Arbeit sollen beobachtete klimatische Verhältnisse unter Zuhilfenahme eines hydrometeorologischen Modells und einiger Parametrisierungen Aufschluss über die herrschende Verdunstung, den Abfluss, die Speicherung und die Niederschlagsverhältnisse geben. Diese Bilanzierung ist als eine Beschreibung der Wasserhaushaltskomponenten, die für den gewählten Zeitraum von 1990 bis 2002 gemittelt wurden, zu sehen. Die angeführten Klimaszenarien erlauben eine Abschätzung dieser Verhältnisse bei etwaigen Änderungen der Temperatur oder des Niederschlags. Dies ist für jegliche Planung im Bereich der Wasserwirtschaft von höchstem Interesse.

# 1. Einleitung

## 1.1. Aufgabenstellung und Zielsetzung

Im Vordergrund dieser Diplomarbeit steht die quantitative Erfassung des Wasserkreislaufs für ein vergletschertes Einzugsgebiet, in dieser Arbeit namentlich der Vinschgau bis zum Pegel Töll. Die hierbei relevanten Komponenten Niederschlag, Abfluss, Verdunstung und Speicherung sollen in monatlicher Auflösung für den betrachteten Zeitabschnitt (in diesem Fall über den Zeitraum von 1990 bis 2002 gemittelt) erfasst werden. Als Randbedingung für die Modellierungsergebnisse dient die Differenz zwischen dem gemessenen und berechneten Abfluss, sie darf für die einzelnen Monatswerte im Betrag nicht höher als  $\pm 20$  mm sein.

Darüber hinaus werden durch modifizierte Temperatur- bzw. Niederschlagsverhältnisse Änderungen im Abflussverhalten simuliert. Dies beinhaltet Temperaturänderungen von  $-1^{\circ}\text{C}$ ,  $+1^{\circ}\text{C}$ ,  $+2^{\circ}\text{C}$  und  $+3^{\circ}\text{C}$  und die Zu- bzw. Abnahme des Gebietsniederschlags um 30%.

Auf die benötigte Daten wie Temperatur, Niederschlag und Abfluss, aber auch Gletscherdaten und Flächen-Höhenverteilung des Einzugsgebiets wird im zweiten Kapitel der Arbeit eingegangen. Der Funktionsweise des verwendeten hydrometeorologischen Modells und der Vorgehensweise bei der Bestimmung und Anpassung der Eingabeparameter widmet sich das Kapitel 3. Die Ergebnisse der Modellierung der Wasserhaushaltskomponenten für das in zwei Bereiche unterteilte Einzugsgebiet sowie die Ergebnisse der Klimaszenarien werden im vierten Kapitel dieser Arbeit behandelt. Das fünfte Kapitel beinhaltet Tabellen und Diagramme der Modellierung bzw. der Klimaszenarien.

## 1.2. Das Einzugsgebiet der Etsch bis zum Pegel Töll

Das mit Ausnahme des Müstairtals (Schweiz) im Vinschgau gelegene oberste Einzugsgebiet der Etsch weist mit einer Gesamtfläche von 1665 km<sup>2</sup> einem Waldanteil von 34% auf, das vergletscherte Areal beläuft sich auf 4,3%. Das Modellierungsgebiet erstreckt sich in der Vertikalen über mehr als 3000 Höhenmeter von 524 m (Töll) bis auf 3899 m (Ortler). Die Verteilung der Flächen auf die jeweiligen Höhenstufen mit einer vertikalen Auflösung von 100m ist aus den Diagrammen 2.6. und 2.7. ersichtlich.

Mit 128 km<sup>2</sup> befinden sich 7,7% der betrachteten Flächen im Kanton Graubünden in der Schweiz, namentlich im Müstairtal. Hier entspringt der Fluss Rom, ab Italien als Rambach bezeichnet, welcher westlich von Glurns in die Etsch fließt.

Die Etsch entspringt auf 1550 Meter Seehöhe am Reschenscheideck nördlich des Dorfes Reschen. Ab dort durchfließt sie in südlicher Richtung in den Reschen- und den Haidersee, um sich bei der Gemeinde Mals der beginnenden West-Ost-Ausrichtung des Tals zu fügen. Bis zur Ortschaft Töll hat die Etsch zweiunddreißig Zuflüsse, vierzehn davon aus der Fließrichtung betrachtet von links und achtzehn von rechts. Sie sind in der Tabelle 5.1. aufgelistet.

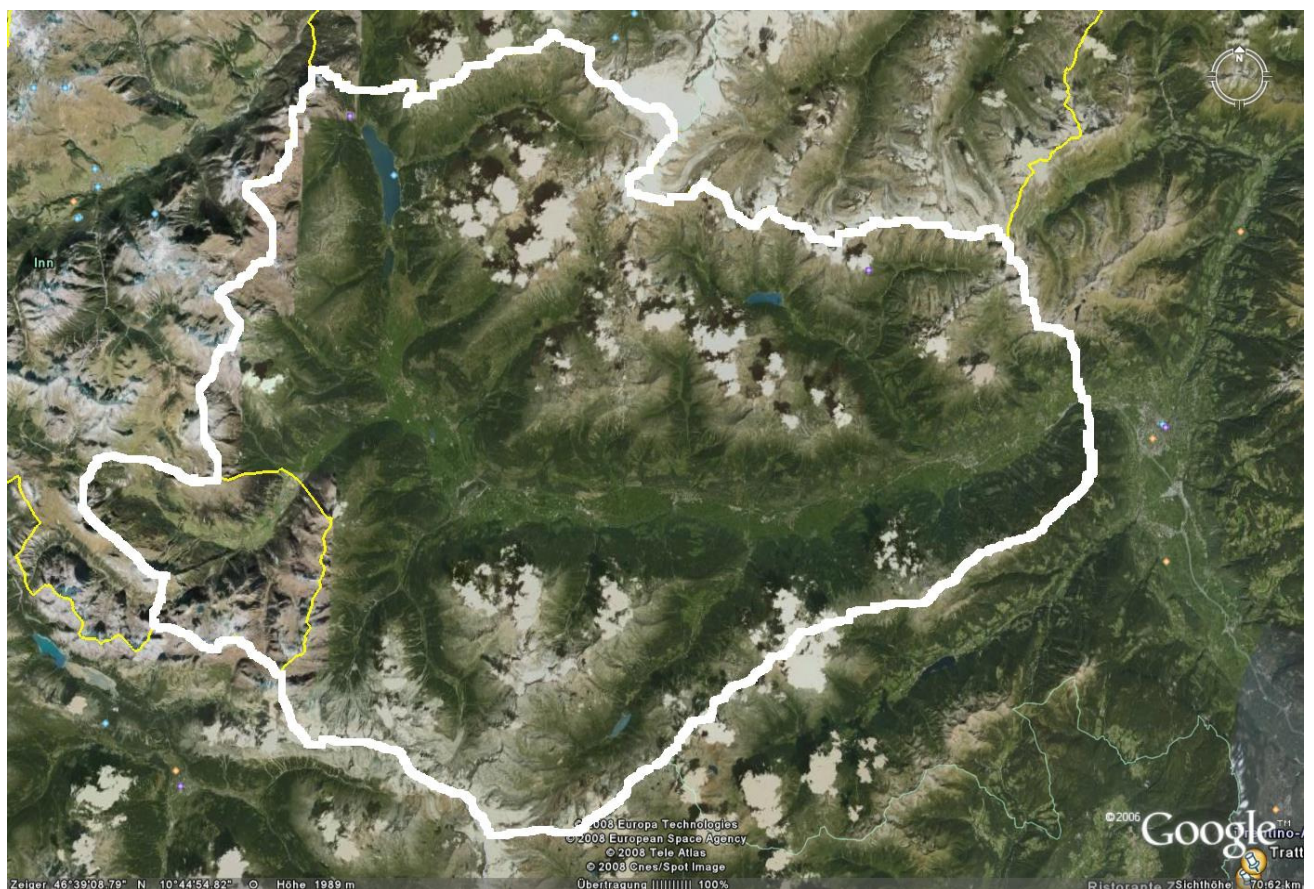
Eingebettet wird der Vinschgau von zwei der größten Erhebungen im Ostalpenraum: Die Abgrenzung nach Norden bilden die Ötztaler Alpen mit der Weißkugel (3738m), nach Süden hin wird das Einzugsgebiet vom Hauptkamm der Ortlergruppe begrenzt. Als Wasserscheide im Süden dient außerdem der nach Nordosten verlaufende Gebirgszug zwischen Martell- und Ultental.

Im Westen steckt die in der Sesvennagruppe verlaufende Staatsgrenze zwischen der Schweiz und Italien das Einzugsgebiet ab. Der im Nordosten befindliche Gebirgskamm südlich der Hochwilde (3480m) mit der Hohen Weiße (3279m) fungiert als Wasserscheide für Etsch und Passer. Erwähnenswert ist die Gebirgsumrandung des Vinschgaus, von der nur die Gegend um den Reschenpass (1504m) und die Ausweitung in Richtung Meran auszunehmen sind.

Von Meran aus gelangt man über eine Talstufe mit ca. 200 Höhenmetern nach Töll. Von dort an verläuft das Tal in westliche Richtung durch eine Verengung bei Naturns relativ eben. Eine zweite Stufe befindet sich zwischen Schlanders und Laas, von dort verläuft das Tal bis Prad am Stilfser Joch noch Richtung Westen. Mit einer leichten Steigung bis Mals orientiert sich der Vinschgau nun nach Norden. Bei Mals beginnt die größte und letzte Talstufe mit 400 Höhenmetern bis zum Haidersee, von welchem aus noch 50 Höhenmeter über St.Valentin auf der Haide bis zum Reschensee zu bewältigen sind. Neben den beiden bereits erwähnten

Stauseen befinden sich noch zwei weitere im Einzugsgebiet: Der Vernagt-Stausee auf 1690 Meter Höhe im Schnalstal und der auf 1850 m Seehöhe liegende Stausee Zufritt im Martelltal. Die folgende Satellitenaufnahme lässt den mit 677 Hektar Fläche größten Stausee, den Reschensee am oberen Bildrand erkennen. Südwestlich davon befindet sich die Sesvenna-Gruppe mit der Staatsgrenze zur Schweiz, östlich davon liegen die Öztaler Alpen, die sich in Richtung Süden bis zum Verlauf der Etsch im Vinschgau erstrecken. Ebenfalls ersichtlich ist der schweizer Abschnitt des Einzugsgebiets, das Müstairtal im linken mittleren Teil des Bildes. Östlich davon verläuft das Trafoier Tal mit seinem rechten Seitental, dem Suldental. Mittig im der unteren Hälfte der Abbildung ist der Stausee Zufritt zu sehen, hier verläuft das Martelltal in nordöstliche Richtung. Wiederum östlich davon liegt das oben erwähnte Ultental, das nicht mehr zum Vinschgau gehört.

Abbildung 1.1. Satellitenbild des behandelten Einzugsgebiets



## 1.3. Verzeichnis der Tabellen und Diagramme

### Tabellen

- Tabelle 2.1. Monatsmitteltemperaturen 1990 – 2002 in °C
- Tabelle 2.2. Jahresmitteltemperaturen in °C (1990-2002)
- Tabelle 2.3. Monatliche Niederschläge über 1990 – 2002 gemittelt [mm]
- Tabelle 2.4. Varianz der Niederschläge (1990-2002)
- Tabelle 2.5. Vollständigkeit der Temperatur- und Niederschlagsreihen
- Tabelle 4.1. Bilanzierungsergebnisse der 4. Näherung (unteres Einzugsgebiet)
- Tabelle 4.2. Bilanzierungsergebnisse der 4. Näherung (oberes Einzugsgebiet)
- Tabelle 4.3. Bilanzierungsergebnisse der 4. Näherung (gesamtes Einzugsgebiet)
- Tabelle 4.4. Flüssiger Speicher
- Tabelle 4.5. Gegenüberstellung unterschiedlicher Parametrisierung der Verdunstung
- Tabelle 5.1. Zuflüsse der Etsch bis zum Pegel Töll
- Tabelle 5.2. Flüssiger Speicher bei den Niederschlagsszenarien
- Tabelle 5.3. Flüssiger Speicher bei den Temperaturszenarien
- Tabelle 5.4. Die 4 Näherungen der Bilanz für den unteren Teil des Einzugsgebiets
- Tabelle 5.5. Die 4 Näherungen der Bilanz für den oberen Teil des Einzugsgebiets
- Tabelle 5.6. Die 4 Näherungen der Bilanz für das gesamte Einzugsgebiet

### Diagramme

- Diagramm 2.1. Flächen-/Höhenverteilung & Höhenlage der Temperaturstationen
- Diagramm 2.2. Der Temperaturgradient des oberen Einzugsgebiets
- Diagramm 2.3. Der Temperaturgradient des unteren Einzugsgebiets
- Diagramm 2.4. Gemittelte Abflüsse 1990- 2002 [m<sup>3</sup>/s]
- Diagramm 2.5. Gemittelte Abflüsse 1990 – 2002 [mm]
- Diagramm 2.6. Massenbilanz (1990 – 2002)
- Diagramm 2.7. Flächenverteilung des oberen Einzugsgebiets
- Diagramm 2.8. Flächenverteilung des unteren Einzugsgebiets
- Diagramm 3.1. Die Niederschlagsgradienten beider Einzugsgebiete
- Diagramm 4.1. N – Jahresgang
- Diagramm 4.2. Schmelzwasserabfluss im unteren Einzugsgebiet
- Diagramm 4.3. Schmelzwasserabfluss im oberen Einzugsgebiet
- Diagramm 4.4. Regenwasserabfluss im unteren Einzugsgebiet
- Diagramm 4.5. Regenwasserabfluss im oberen Einzugsgebiet
- Diagramm 4.6. Niederschlagsszenarien unteres Einzugsgebiet
- Diagramm 4.7. Niederschlagsszenarien oberes Einzugsgebiet
- Diagramm 4.8. Temperaturszenarien unteres Einzugsgebiet
- Diagramm 4.9. Temperaturszenarien oberes Einzugsgebiet
- Diagramm 4.10. Abflussverhalten bei einer Temperaturzunahme von 3°C



## 2. Datengrundlage

### 2.1. Die Temperaturstationen

Für das Einzugsgebiet wurden 10 Stationen ausgewählt, die über den betrachteten Zeitraum 1990 bis 2002 eine lückenlose Datenreihe aufweisen. Eine Ausnahme macht die Station Matsch: Hier liegen für das Jahr 1998 keine Daten vor, es wurde in diesem Fall über 12 Jahre gemittelt. Zwei Stationen, Naturns und Schlanders, befinden sich unterhalb von 1000 m, Marienberg zwischen 1000 und 1500 m und die restlichen Sieben (Ausserrojen, Melag, St.Valentin, Schlinig, Matsch, Stausee Zufritt und Vernagt) liegen zwischen 1500 und 2000 Metern Seehöhe. In Tabelle 2.1. sind die einzelnen Stationen mit Angabe der Monatsmitteltemperaturen von Oktober bis September, welche über die Zeitspanne von 13 Jahren (1990-2002) gemittelt wurden, dargestellt:

Tabelle 2.1. Monatsmitteltemperaturen 1990 – 2002 in °C

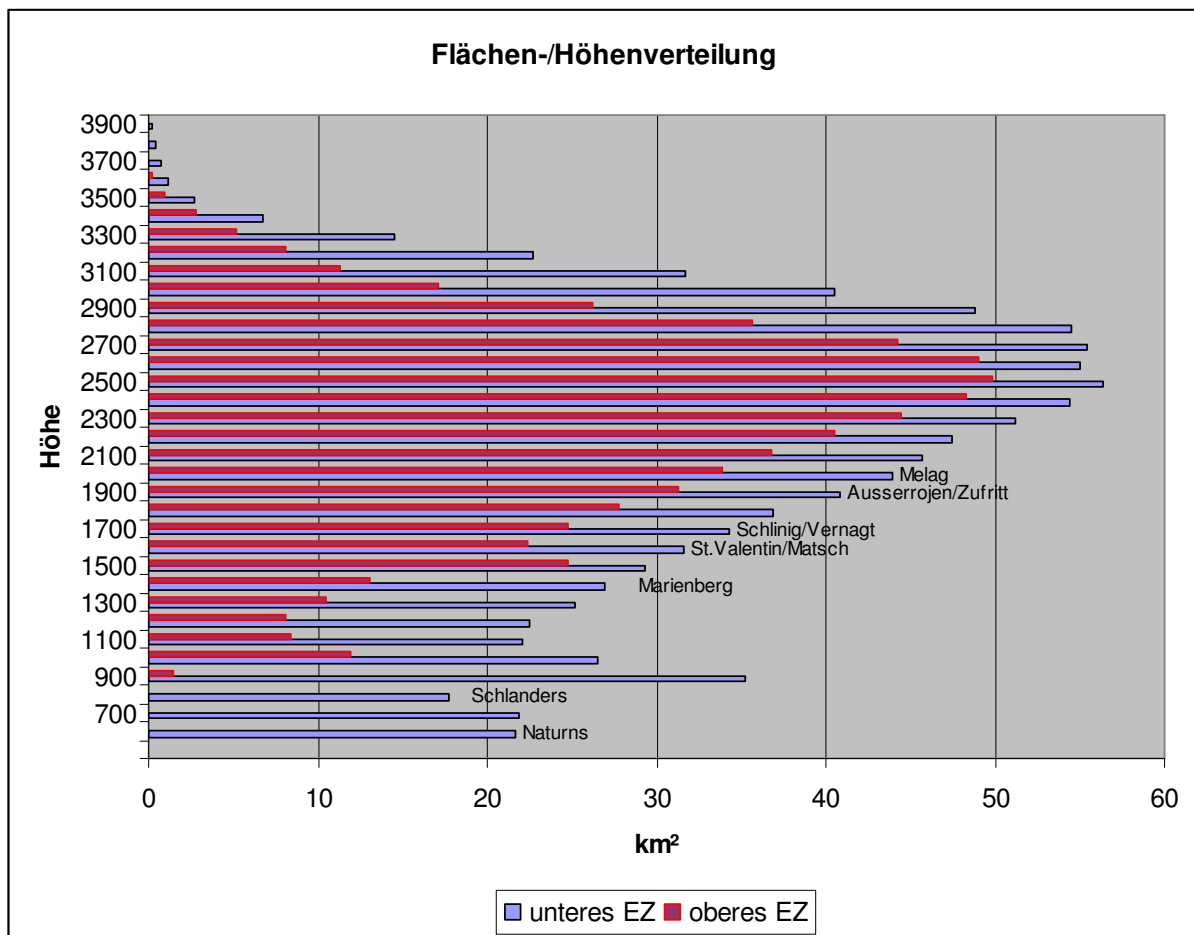
	Naturns 554 m	Schländers 718 m	Marienberg 1335 m	St.Valentin 1520 m	Matsch 1570 m
Oktober	10,5	10,6	7,0	6,0	7,2
November	4,6	4,6	2,0	0,3	1,8
Dezember	0,1	0,4	-1,0	-3,1	-1,5
Januar	-0,1	0,2	-0,9	-3,5	-0,8
Februar	2,8	3,2	-0,3	-2,8	-0,8
März	7,5	7,6	2,3	0,6	2,6
April	10,2	10,1	4,8	3,3	4,9
Mai	15,3	15,2	10,2	8,9	10,5
Juni	18,0	17,8	12,9	11,5	13,3
Juli	18,5	20,1	15,2	12,8	15,8
August	20,0	19,9	15,6	14,3	16,0
September	15,5	15,2	11,5	9,9	11,5

	Schlinig 1690 m	Vernagt 1700 m	Ausserrojen 1833 m	Stausee Zufritt 1851 m	Melag 1915 m
Oktober	5,1	6,0	4,4	4,9	4,6
November	-0,3	0,7	-1,6	-0,5	-1,5
Dezember	-3,4	-2,7	-5,2	-5,6	-5,2
Januar	-3,3	-2,4	-4,7	-6,3	-4,7
Februar	-2,6	-1,7	-4,0	-4,3	-3,7
März	-0,2	1,0	-1,2	-1,0	-1,1
April	2,1	3,1	0,9	1,3	1,1
Mai	7,7	8,4	6,6	7,0	6,7
Juni	10,3	11,2	9,3	10,1	9,5
Juli	12,7	13,6	11,7	12,3	11,9
August	12,9	13,9	12,1	12,4	12,1
September	8,7	9,8	7,9	8,5	8,0

Tabelle 2.2. Jahresmitteltemperaturen in °C (1990-2002)

Naturns 554 m	Schlanders 718 m	Marienberg 1335 m	St.Valentin 1520 m	Matsch 1570 m
10,2	10,4	6,6	4,9	6,7
Schlinig 1690 m	Vernagt 1700 m	Ausserrojen 1833 m	Stausee Zufritt 1851 m	Melag 1915 m
4,1	5,1	3,0	3,2	3,1

Diagramm 2.1. Flächen-/Höhenverteilung & Höhenlage der Temperaturstationen



Der höchste Wert der Monatsmitteltemperatur wird bei 9 Stationen im August erreicht, in Schlanders im Juli. Die tiefsten Monatswerte sind bei den Stationen Marienberg, Matsch, Schlinig, Vernagt, Ausserrojen und Melag im Dezember zu verzeichnen, bei den Stationen Naturns, Schlanders, St.Valentin und Stausee Zufritt ist der Januar der kälteste Monat.

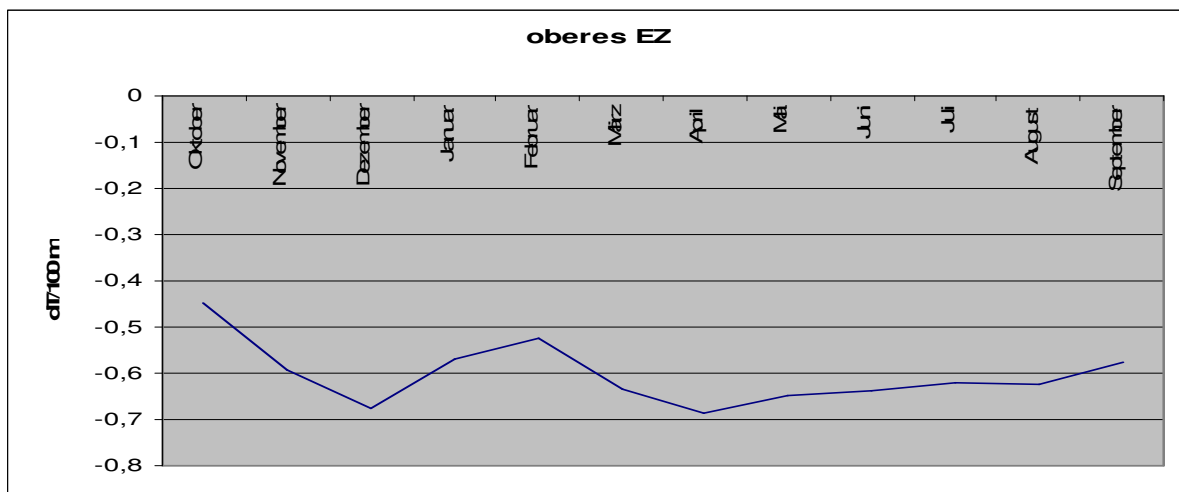
Die höchste mittlere Jahrestemperatur herrscht in Schlanders mit  $10,4^{\circ}\text{C}$ , das kälteste Jahresmittel wurde für die Station Ausserrojen mit  $3^{\circ}\text{C}$  bestimmt.

Bei allen betrachteten Stationen geschieht die stärkste Abkühlung zwischen den Monaten Oktober und November, die höchste Zunahme der Monatsmitteltemperatur erfolgt zwischen April und Mai. Auffallend sind ebenfalls die geringsten Veränderungen der Monatswerte in den Monaten Dezember/Januar und Juli/August.

Zur Berechnung eines vertikalen Gradienten der Temperatur wurde wie folgt vorgegangen:

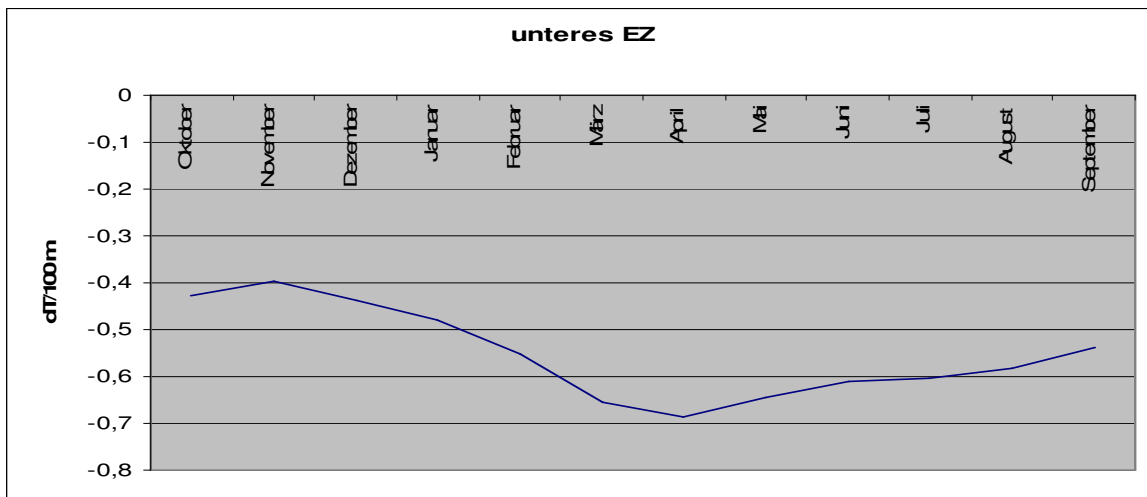
Für den oberen Teil des Einzugsgebiets bis zum Pegel Spondinig wurden die Stationen Melag und Ausserrojen als Repräsentanten höherer Lagen verwendet und ihr Temperaturmittel für die gemittelte Stationshöhe bestimmt. Die gleiche Vorgehensweise wurde bei den Stationen St.Valentin und Marienberg angewandt. Der dadurch erhaltene Temperaturgradient pro 100 Höhenmeter im Verlauf des hydrologischen Jahres ist im nachstehenden Diagramm aufgezeichnet.

Diagramm 2.2. Der Temperaturgradient des oberen Einzugsgebiets



Für den unteren Teil des Einzugsgebietes dienen die Stationen Naturns und Stausee Zufritt zur Festlegung des vertikalen Temperaturgradienten.

Diagramm 2.3. Der Temperaturgradient des unteren Einzugsgebiets



Der über das Jahr gemittelte Temperaturgradient beträgt beim oberen Teil des Einzugsgebiets  $-0,6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ , im unteren Teil liegt dieser bei  $-0,55^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ .

Die größte Temperaturabnahme mit der Höhe wurde für beiden Gebiete im April errechnet.

Ab hier zeichnet sich bis September ein recht ähnlicher Verlauf für beide Einzugsgebiete ab.

Das untere Einzugsgebiet weist die geringsten Werte zu Beginn des hydrologischen Jahres auf, für das obere Gebiet sind die Monate November und Dezember mit Werten von  $-0,60$  und  $-0,68$  auffallend niedrig. Anscheinend fallen wegen der hohen Lage der verwendeten Stationen die Inversionswetterlagen nicht ins Gewicht.

Die somit bestimmten Monatswerte der Gradienten und die gemittelten Monatstemperaturen der Referenzstation erlaubt nun eine Festlegung der Temperaturwerte in den einzelnen Höhenlagen. Im Fall des unteren Pegels Töll liegt die verwendete Referenzstation Naturns mit 554 Metern Seehöhe in der untersten Höhenstufe des behandelten Gebiets. Von hier aus wird von einer linearen Abnahme der Temperatur mit der Höhe ausgegangen. Im oberen Einzugsgebiet liegt die Referenzstation auf 1335 Meter, hier wird bis zur Höhenstufe des unteren Pegels (800m – 900m) mit vorzeichenverkehrttem Temperaturgradienten gerechnet.

## 2.2. Die Niederschlagsstationen

Mit Ausnahme der Station Schlinig verfügen die hier verwendeten Messstationen über eine kontinuierliche Niederschlagsmessreihe für den Zeitraum von 1990 – 2002. Die Messreihe für Schlinig beginnt 1992, hier wurde das Mittel über 11 Jahre gebildet. Eine Lücke der Datenreihe von knapp 4 Monaten im Jahre 1992 wurde mittels Regression aufgefüllt. Dies wird ausführlich im Kapitel 5.2. erläutert. In Tabelle 2.2. sind die Monatsmittel der Niederschläge und die Jahresniederschläge in Millimetern aufgelistet:

Tabelle 2.3. Monatliche Niederschläge über 1990 – 2002 gemittelt [mm]

	Naturns 554 m	Schlanders 718 m	Marienberg 1335 m	St. Valentin 1520 m	Matsch 1570 m
Oktober	72	66	85	72	60
November	73	60	79	62	50
Dezember	21	21	34	27	25
Januar	14	16	33	23	19
Februar	14	15	29	32	26
März	28	26	37	33	33
April	38	33	44	34	38
Mai	52	43	49	48	55
Juni	82	81	104	101	99
Juli	74	72	84	93	80
August	63	68	78	82	72
September	63	56	81	70	59
Jahr	595	558	736	676	617

	Schlinig 1690 m	Vernagt 1700 m	Ausserrojen 1833 m	Stausee Zufritt 1851 m	Melag 1915 m
Oktober	79	81	74	99	67
November	94	83	87	95	68
Dezember	30	32	43	35	45
Januar	36	24	36	23	32
Februar	24	25	58	18	48
März	37	40	50	42	52
April	44	54	39	64	44
Mai	62	70	54	69	59
Juni	116	98	108	93	114
Juli	95	81	111	74	112
August	93	77	92	71	102
September	81	67	78	82	70
Jahr	790	731	831	767	812

Die im Jahresmittel wärmste Station, Schlanders, ist mit 558 mm Jahresniederschlag auch die Trockenste. Ähnlich wenig Niederschlag verzeichnen die Stationen Naturns und Matsch.

Die nördlichsten Stationen Ausserrojen und Melag sind mit über 800 mm im Jahr die Niederschlagsreichsten. Die maximalen Niederschlagssummen werden abgesehen von der Station Ausserrojen durchwegs im Monat Juni erreicht. Generell lässt sich sagen, dass der größte Beitrag am Gesamtniederschlag mit durchschnittlich 38 % des Jahresniederschlags in den Sommermonaten Juni, Juli und August geliefert wird. Im Gegenzug fallen die Wintermonate bei den betrachteten Stationen durchwegs am trockensten aus. Die Stationen Ausserrojen und Melag erlangen im Frühjahr ein lokales Maximum, alle anderen Stationswerte wachsen in diesem Zeitraum stetig an. Bei allen verwendeten Stationen findet ein ausgeprägter Anstieg der gemessenen Niederschlagsmengen zwischen den Monaten April und Juni statt. Diese Werte verringern sich bis zum Winterbeginn, die Hälfte der Stationen verzeichnet im Herbst ein zweites Niederschlagsmaximum.

Zur Veranschaulichung der Abweichungen der in obiger Tabelle angegebenen Werte der Jahresniederschläge dient die folgende Tabelle 2.3. Sie gibt für die einzelnen Stationen Auskunft über Schwankungen der Jahresniederschläge, indem die niederschlagsärmsten bzw. –reichsten Jahre in Relation zum gebildeten Mittelwert gesetzt werden.

Tabelle 2.4. Varianz der Niederschläge (1990-2002)

	Naturns	Schlanders	Marienberg	St. Valentin	Matsch
Stationshöhe	554m	718m	1335m	1520m	1570m
mittlere Jahressumme[mm]	595	558	736	676	617
Maximum[mm]	907	810	980	918	778
Jahr	2002	2002	2000	2000	1992
Prozent	152	145	133	136	126
Minimum[mm]	432	396	537	504	505
Jahr	1995	1995	1995	1995	1997
Prozent	73	71	73	74	82

	Schlinig	Vernagt	Ausserrojen	Stausee Zufritt	Melag
Stationshöhe	1690m	1700m	1833m	1851m	1915m
mittlere Jahressumme[mm]	790	731	831	767	812
Maximum[mm]	1177	1045	1084	1128	966
Jahr	2000	2002	2000	2002	1999
Prozent	149	143	130	147	119
Minimum[mm]	571	585	708	578	680
Jahr	1993	1997	1998	1995	1991
Prozent	72	80	85	75	84

Für den oberen Teil des Einzugsgebiets bis zum Pegel Spondinig stehen sechs Niederschlagsstationen zur Verfügung, die Niederschlagsverhältnisse für den unteren Teil bis zum Pegel Töll werden durch vier Stationen repräsentiert. Es muss sich also das untere, größere Einzugsgebiet mit einer geringeren Stationsdichte zufrieden geben, was sich aber aufgrund der Verfügbarkeit der Messdaten nicht vermeiden ließ.

Wichtig ist es nun, dass für die Bestimmung der Gebietsniederschläge und des vertikalen Niederschlagsgradienten bei Möglichkeit alle zur Verfügung stehenden Stationen berücksichtigt werden. Dies wird jedoch in Kapitel 3.2. näher beschrieben.

### 2.3. Vervollständigung der Datenreihen

Für das Einzugsgebiet der Etsch wurden für die Niederschlags- und Temperaturwerte zehn Stationen ausgesucht. Auswahlkriterium war hierbei eine möglichst hohe Abdeckung der Datenreihen für die betrachtete Zeitspanne. Die folgende Tabelle gibt Aufschluss über die Vollständigkeit der Datenreihen:

Tabelle 2.5. Vollständigkeit der T- und N-Reihen

Stationsname	Seehöhe	Temperatur	Niederschlag
Ausserrojen	1833 m	komplett	komplett
Melag	1915 m	komplett	komplett
St.Valentin auf der Heide	1520 m	komplett	komplett
Marienberg	1335 m	komplett	komplett
Schlinig	1690 m	komplett	1.8.-23.11.92 fehlt
Matsch	1570 m	13.10–5.12.00 fehlt	komplett
Schlanders	718 m	komplett	komplett
Stausee Zufritt	1851 m	komplett	komplett
Vernagt	1700 m	komplett	komplett
Naturns	554 m	komplett	komplett

Im Fall Schlinig wurden fehlende Niederschlagswerte für den oben beschriebenen Zeitraum ergänzt, bei der Station Matsch die fehlenden Temperaturwerte aufgefüllt. Dabei wurde wie folgt verfahren:

#### 1. Temperaturwerte

Bei fehlenden Temperaturwerten ist es üblich, die durchschnittliche Differenz zweier benachbarter Stationen zu bilden. Hierzu wurde im Fall Matsch die Station Marienberg verwendet. Für den verwendeten Zeitraum 1990-1997 betrug die Differenz Matsch minus Marienberg 1.8°C.

#### 2. Niederschlagswerte

Aufgrund der geografischen Nähe Schlinigs zu Marienberg, wurde das Verhältnis der Niederschlagswerte beider Stationen (über 1993 – 2002 gemittelt) gebildet. Anhand einer linearen Regression wurde das Niederschlagsverhältnis Schlinig / Marienberg mit 0,9679 bestimmt. Unter Zuhilfenahme dieses Faktors wurde die Niederschlagsreihe vom 1.8.bis 23.11.1992 vervollständigt, um dann die Monatssummen bilden zu können.



Im Folgenden wurden für die 10 Stationen Monatsmittel der Temperatur und Monatssummen des Niederschlags gerechnet, die danach jeweils über den betrachteten Zeitraum gemittelt wurden (siehe Kapitel 2.1. und 2.2.).

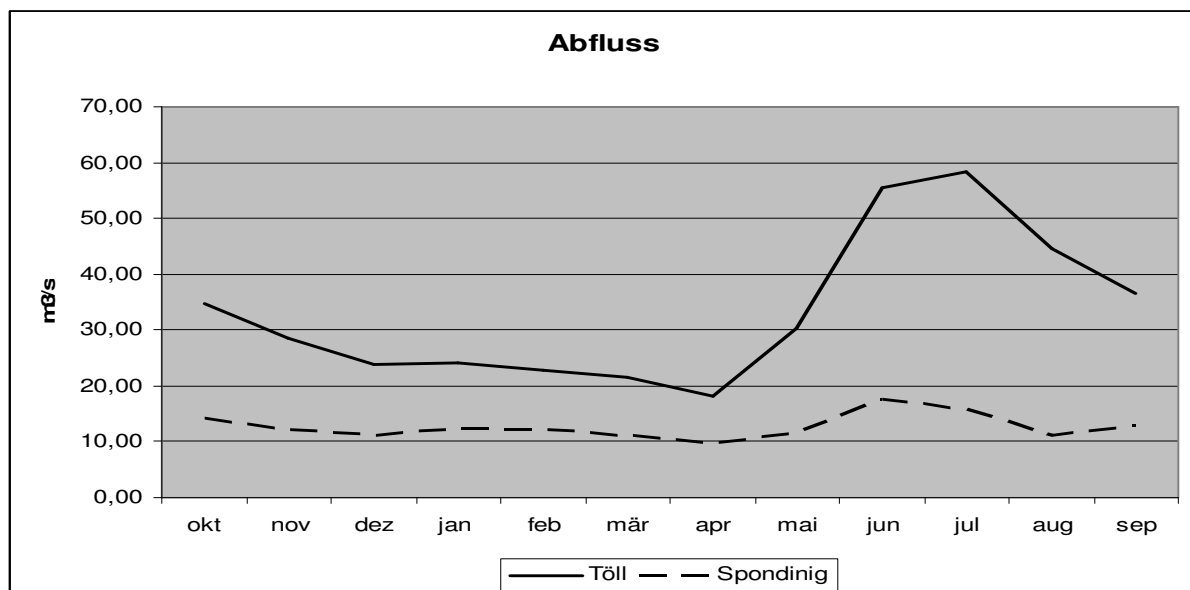
## 2.4. Abflussdaten

Die jeweils über den Monat gemittelten Abflussdaten der Etsch bei den Pegeln Spondinig und Töll für den ausgewählten Zeitraum wurden vom hydrografischen Amt in Bozen zur Verfügung gestellt. Diese Daten entsprechen dem an der Messstelle pro Sekunde durchfließenden Volumen an Wasser. Da die restlichen Glieder der Wasserbilanz in Millimeter angegeben werden, bedarf es einer Umrechnung:

Die Kubikmeter pro Sekunde werden mit der Anzahl der Tage im Monat und der Anzahl der Sekunden pro Tag multipliziert und durch die Fläche des Einzugsgebiets in  $\text{km}^2$  dividiert. Eine weitere Division durch 1000 führt zu der verlangten Einheit Millimeter.

Im folgenden Diagramm sind die Abflussganglinien beider Stationen für den Verlauf des hydrologischen Jahres dargestellt. Die Daten entsprechen den Mittelwerten von 1990 – 2002 in der Einheit Kubikmeter pro Sekunde.

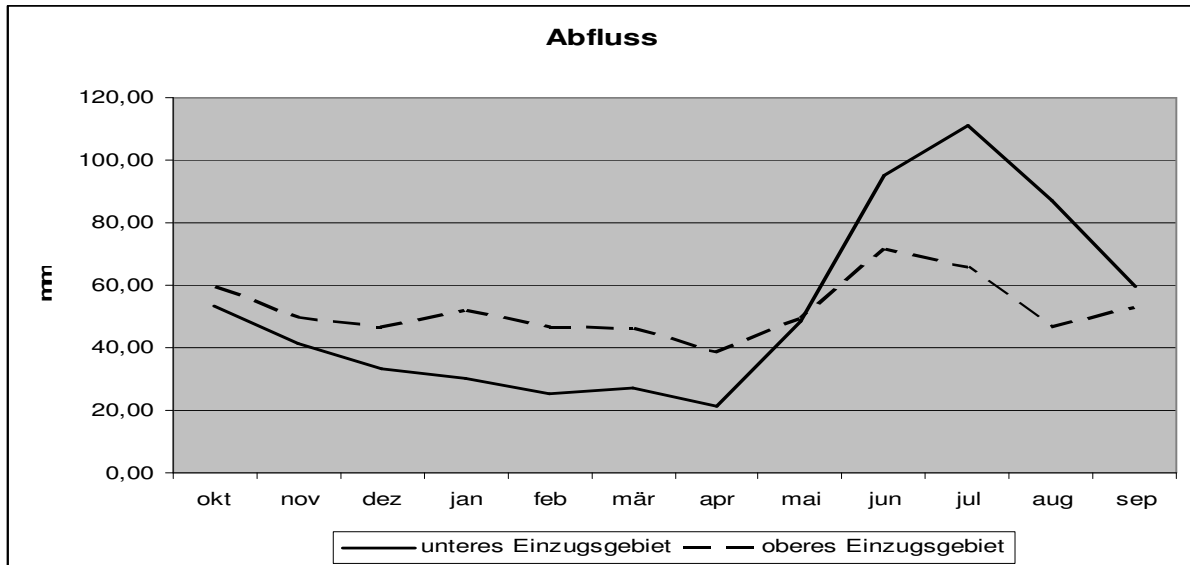
Diagramm 2.4. Gemittelte Abflüsse 1990- 2002 [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]



Beide Pegelstationen weisen einen Rückgang der durchflossenen Wassermengen bis zum Monat April auf. Daraufhin verdreifachen sich im Fall Töll die Werte bis Juli und erfahren bis Jahresende einen stetigen Abfall. Bei Spondinig zeichnet sich eine knappe Verdopplung der Abflusswerte von April bis Juni ab, hier ist ein zweites Abflussmaximum im Oktober zu beobachten.

Wie in Kapitel 2.1. bereits erwähnt, wurde das Einzugsgebiet in einen oberen und unteren Teil zerlegt. Die gemittelten monatlichen Abflüsse, bezogen auf die Fläche des jeweiligen Einzugsgebiets, also in der Einheit Millimeter sind aus folgendem Diagramm ersichtlich:

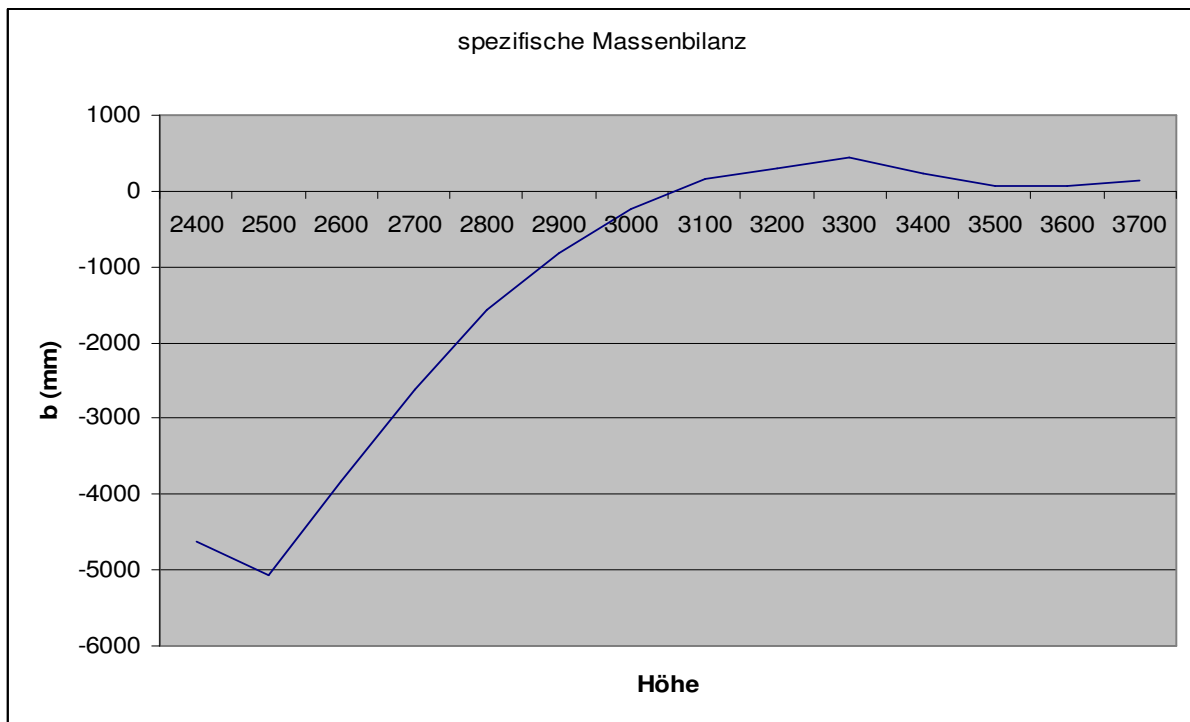
Diagramm 2.5. Gemittelte Abflusshöhen 1990 – 2002 [mm]



## 2.5. Gletscherdaten

Zur Behandlung des Speicherterms wurden aufgrund der Verfügbarkeit und der geografischen Nähe die Bilanzen des Hintereisferners im südlichen Ötztal verwendet. Auch hier wurden die Daten über den Zeitraum von 1990 bis 2002 gemittelt. Die mittleren spezifischen Massenbilanzen für die einzelnen Höhenstufen sind in Diagramm 2.6. dargestellt.

Diagramm 2.6. Massenbilanz (1990 – 2002)



Diese Werte der spezifischen Bilanz werden mit den Gletscherflächen der jeweiligen Höhenstufen multipliziert. Die dadurch erhaltenen Terme der Massenbilanz werden über alle Höhenstufen aufsummiert und durch die Gesamtfläche der Gletscher dividiert. Der somit erhaltene Speicherterm sollte in der Größenordnung des in der 1.Näherung Berechneten sein, welcher als Restglied aus der hydrologischen Grundgleichung bestimmt wurde.

## 2.6. Kenngrößen des Einzugsgebiets

Das Einzugsgebiet der Etsch bis zum Pegel Töll wurde aufgrund des Vorhandenseins zweier Abflussmessstationen und der Vergleichsmöglichkeit in einen oberen und unteren Teil zerlegt. Der obere Teil beschreibt das Einzugsgebiet der Etsch vom Ursprung bis zum Pegel Spondinig, einschließlich dem Schweizer Anteil, der mit 128 km<sup>2</sup> von insgesamt 639 km<sup>2</sup> zu Buche schlägt.

Dieser Teil wurde von dem gesamten Einzugsgebiet bis zum Pegel Töll mit einer Fläche von 1666 km<sup>2</sup> abgezogen, um den unteren Teil des Einzugsgebietes zwischen den Pegeln Spondinig und Töll zu bezeichnen.

Die folgenden Balkendiagramme geben Aufschluss über die Flächen-/Höhenverteilung und die Wald- bzw. Gletscheranteile für beide Einzugsgebiete.

Diagramm 2.7. Flächenverteilung des oberen Einzugsgebiets

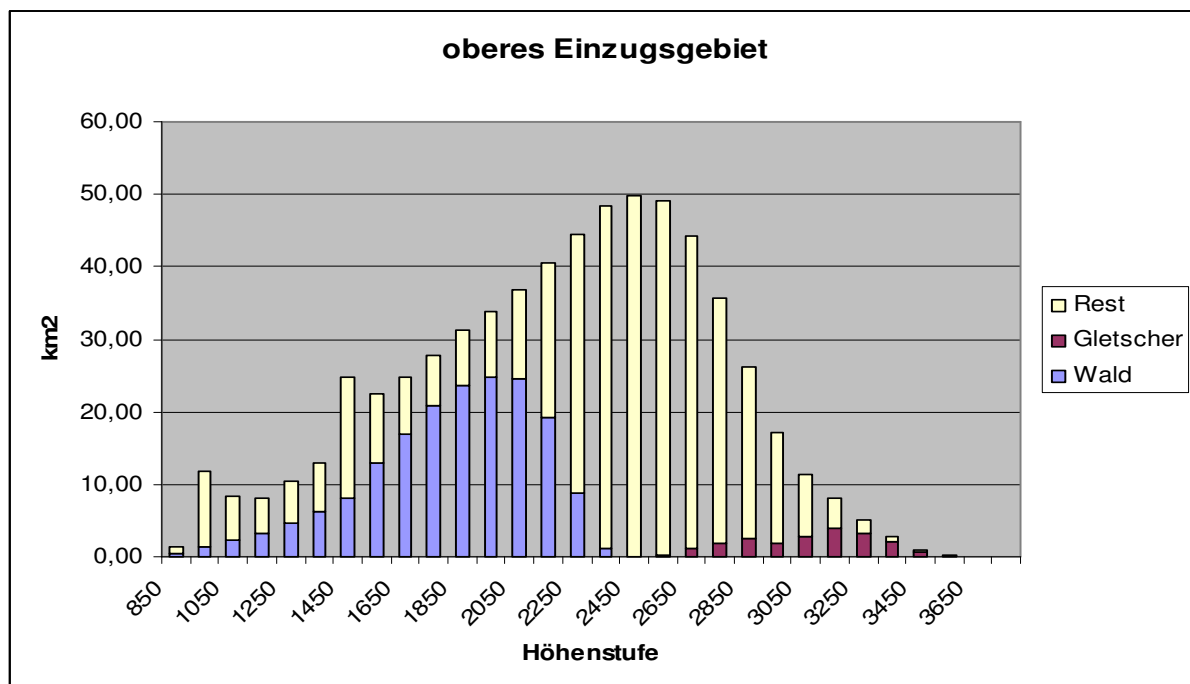
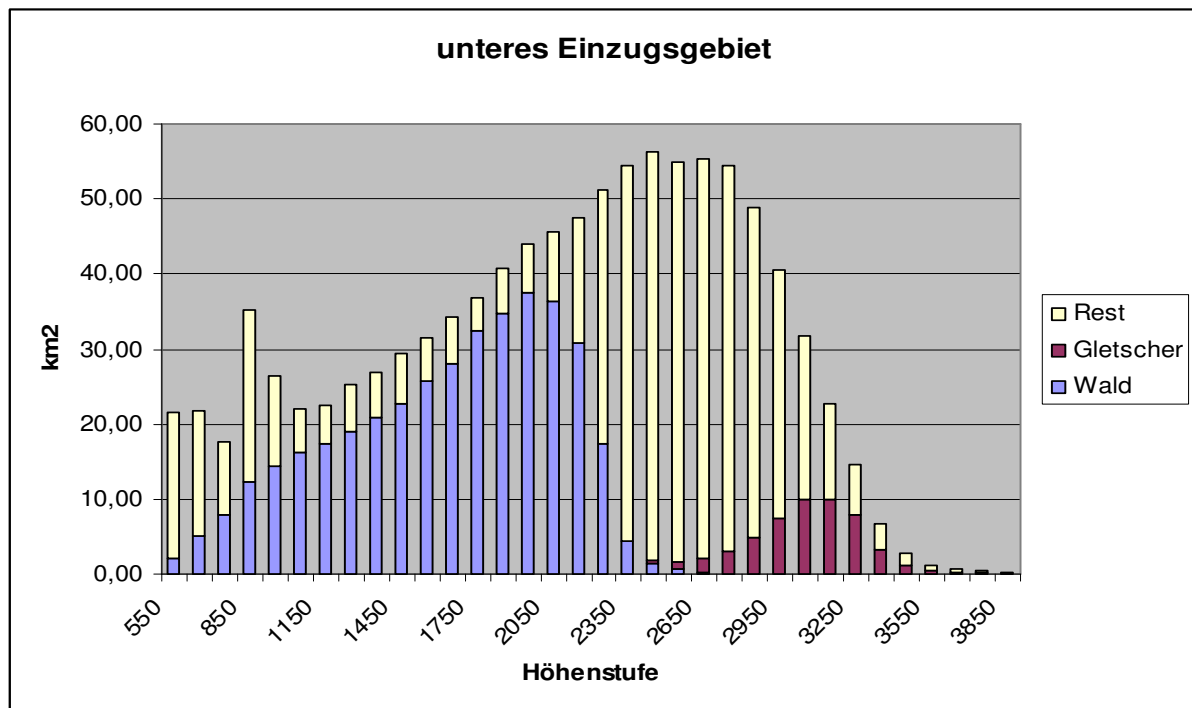


Diagramm 2.8. Flächenverteilung des unteren Einzugsgebiets



Das obere Einzugsgebiet besitzt mit 20,3 km<sup>2</sup> einen vergletscherten Anteil von 3,2 %, im unteren Teil beläuft sich der Gletscheranteil des Einzugsgebiets auf 5,1 %, was einer Gletscherfläche von 51,9 km<sup>2</sup> entspricht.

Der Waldanteil beträgt im oberen Einzugsgebiet 28,1 %; der untere Teil weist, wie aus den obigen Diagrammen ersichtlich, mit 37,7 % eine höhere Bewaldung auf.

Die Höhererstreckung reicht im oberen Bereich von Spondinig (890 Meter Seehöhe) bis auf 3738 Meter, namentlich die Weißkugel, nach der Wildspitze der zweithöchste Gipfel der Öztaler Alpen. Das untere Einzugsgebiet erstreckt sich von Töll (524 m) bis auf den 3899 Meter hohen Ortler. Der Abfluss dieser Gebirgsgruppe in den Suldenbach ist dem unteren Teil des Einzugsgebiets zuzurechnen. Der Suldenbach fließt zwar bei Spondinig in die Etsch, die Messstation befindet sich jedoch etwas stromaufwärts des Zuflusses.

### 3. Das hydrometeorologische Modell

#### 3.1. Modellbeschreibung

Das im Folgenden beschriebene Bilanzierungsmodell (Kuhn, Batlogg 1999) ist bestrebt, die Monatswerte der vier Wasserhaushaltskomponenten aus der hydrologischen Grundgleichung zu bestimmen. Diese Gleichung besagt, dass die Summe aus Abfluss(A), Verdunstung(V) und Speicherung(S) quantitativ dem gefallenem Niederschlag(N) im Einzugsgebiet entspricht.

$$N = A + V + S \quad (\text{Hydrologische Grundgleichung})$$

Die monatlichen Komponenten A, V, S und N werden im Modell vier Näherungen unterzogen, wie hier im Einzelnen beschrieben:

Die einzig direkt gemessene Größe ist der Abfluss aus dem betrachteten Einzugsgebiet. Die Verdunstung wird im Modell parametrisiert, der Speicherterm von vergletscherten Gebieten übertragen, die sich in der Nähe des Einzugsgebiets befinden und deren Massenhaushalt bekannt ist.

Aus den Jahressummen von Abfluss, Verdunstung und Speicherung, die über den betrachteten Zeitraum gemittelt werden, ist also die Jahressumme des Gebietsniederschlags bestimmbar. Um die monatlichen Werte des Niederschlags im Einzugsgebiet zu erhalten, wird die Jahres-summe von Selbigem proportional zu den Messwerten einer Referenzstation aufgeteilt. Die erhaltenen Monatswerte vom Niederschlag, die gemessenen Abflüsse und die Verdunstung erlauben eine Berechnung des monatlichen Speicherterms. Somit ergeben sich für die vier Komponenten jeweils 12 Werte; die erste Näherung der Bilanz.

Die Zunahme der Niederschlagsmenge mit der Höhe, welche mittels Regression aus der Höhen-/Niederschlagsverteilung von den im Einzugsgebiet verwendeten Stationen errechnet wird, erlaubt die Einführung eines prozentualen Höhengradienten pro 100 Höhenmeter. Um den Niederschlag auf eine Fläche einer betrachteten Höhenstufe zu erhalten, wird jeweils der Niederschlagswert der darunterliegenden Höhenstufe mit einem Faktor (100% + errechneter Höhengradient) multipliziert. Dadurch entsteht eine leicht exponentielle Zunahme des Niederschlags mit der Höhe. Der erwähnte Niederschlagsgradient zeichnet sich auch durch einen für die betrachtete Region spezifischen Jahresgang aus.

Die Berücksichtigung der Höhen- und Monatsverteilung des Niederschlags führt zu einer Matrix von Relativwerten, mit der die monatliche Niederschlagsverteilung der Referenz-

station multipliziert wird. Der Jahreswert der Station wird nun soweit angepasst, bis die über alle Monate und Höhenstufen summierten Niederschlagswerte, bezogen auf die Gesamtfläche, der in der ersten Näherung bestimmten Jahressumme des Gebietsniederschlags entsprechen. Der hiermit erhaltene neue Jahresgang des Niederschlags ermöglicht mit den Komponenten Verdunstung und Abfluss eine neue Berechnung des monatlichen Speicherterms. Diese 48 Werte stellen die 2. Näherung der Bilanz dar.

Die Verlagerung von Schnee durch Wind oder Lawinen wird mit einem Umverteilungsfaktor berücksichtigt, der im nächsten Kapitel näher beschrieben wird. Um den prozentualen Anteil (Q) des festen Niederschlags am Gesamtniederschlag zu bestimmen, ist die Kenntnis der monatlichen und höhenabhängigen Temperaturwerte im Einzugsgebiet vonnöten. Hierzu werden die über den betrachteten Zeitraum gemittelten Monatswerte der am niedrigsten gelegenen Messstation verwendet. Von dieser aus werden mit einem zu errechnenden Gradienten die Temperaturverhältnisse in den einzelnen Höhenstufen festgelegt.

Q wird unter Zuhilfenahme einer empirisch bestimmten Formel berechnet, die in diesem Fall lautet:

$$Q(T) = 0,6 - 0,55 * T ; [T] = ^\circ C$$

Für den Wert von Q wird durch zwei Abfragen im Programm ein Gültigkeitsbereich von 0,01 bis 0,99 vereinbart. Die mit Q multiplizierten Niederschlagswerte der zweiten Näherung repräsentieren die Jahres- und Höhenverteilung des festen Niederschlags im Einzugsgebiet. Die Temperaturverteilung spielt außerdem bei der Modellierung der potentiellen Schmelze eine Rolle. Hierfür wird ein Gradtagfaktor eingeführt, der bestimmt, wie viel Millimeter Wasseräquivalent pro Grad Celsius über Null und Tag schmilzt.

Daraus wird die monatliche potentielle Schmelze als Produkt aus positivem Gradtagfaktor, Monatsmitteltemperatur, Anzahl der Tage im betrachteten Monat und jeweiliger Ausaperung errechnet.

Mit dieser Vorarbeit gelangt man zu einer ersten Annäherung für den Aufbau der Schneedecke im zu modellierenden Gebiet. Die Verdunstung von Schnee wird mit 15 mm/Monat konstant gehalten. Die modellierte Schneedecke setzt sich aus der Schneedecke des Vormonats und dem gefallenem festen Niederschlag des jeweiligen Monats zusammen. Dieser Summe ist der Verdunstungsterm und die potentielle Schneeschmelze abzuziehen. Eine Ausnahme macht der Monat Oktober: Hier wird als positiver Beitrag zum Schneedeckenaufbau nur der feste Niederschlag im besagten Monat berücksichtigt, die Wert



der modellierten Schneedecke wird zu Beginn des hydrologischen Jahres am 1. Oktober mit Null beziffert.

Nun wird der Verdunstungsterm sorgfältiger parametrisiert. In Höhen oberhalb von 2600 m sowie bei vorhandener Schneedecke wird das ganze Jahr über von einer Verdunstungsrate von 0,5 mm pro Tag ausgegangen. Von April bis September wird bei schneefreien Flächen eine tägliche Verdunstung von 2 mm angenommen. Für den übrigen Zeitraum verdunstet im Modell auf nichtbewaldeten Flächen 0,5 mm pro Tag, in den Waldgebieten das Doppelte.

Die neu parametrisierten Verdunstungswerte [mm] werden danach mit den Flächen der jeweiligen Höhenstufen multipliziert. Das resultierende Volumen der Verdunstung wird monatsweise aufsummiert und durch die Gesamtfläche dividiert. Man erhält also eine neue Näherung des Verdunstungsterms. Diese Monatswerte, der Speicherterm der zweiten Näherung und die Abflusswerte werden über alle Monate aufsummiert, um daraus einen neuen jährlichen Gebietsniederschlag zu erhalten.

Mit dem Jahresgang des Gebietsniederschlags aus der 2. Näherung wird der nun neu berechnete jährliche Gebietsniederschlag auf die einzelnen Monate aufgeteilt.

Diese Monatswerte des Niederschlags, die erweiterte Parametrisierung der Verdunstung und der Abfluss erlauben eine Berechnung des Restglieds der hydrologischen Grundgleichung, dem monatlichen Speicherterm. Diese nun berechneten Werte sind Ergebnis der dritten Näherung im hydrometeorologischen Modell.

Als nächstes wird der feste und flüssige Anteil des Niederschlags neu berechnet und infolgedessen der Aufbau der Schneedecke ein zweites Mal modelliert.

Dazu wird der Quotient aus der zuletzt bestimmten und vorherigen Jahressumme des Gebietsniederschlags mit den in zweiter Näherung berechneten Niederschlagswerten multipliziert. Daraus lässt sich mit dem oben erwähnten Faktor Q der feste Anteil des Niederschlags ermitteln. Der flüssige Bestandteil ergibt sich aus der Differenz von gesamtem und festem Niederschlag.

Dieser feste Niederschlag und der Schnee des Vormonats (mit Ausnahme des Monats Oktober) bilden den konstruktiven Beitrag zur Schneedecke in ihrer zweiten Näherung. Dem gegenüber stehen der Verdunstungsanteil der Schneedecke und das potentielle Schmelzen als abbauende Faktoren.

Nun wird der Schmelzwasserabfluss vom unvergletscherten Teil des Einzugsgebiets betrachtet. Wenn hierbei der feste Niederschlag der dritten Näherung abzüglich dem Verdunstungsanteil von der Schneedecke der potentiellen Schmelze überwiegt, entspricht der

Schmelzwasserabfluss der potentiellen Schmelze. Ist dies nicht der Fall, errechnet sich der Schmelzwasserabfluss aus der Differenz aus festem Niederschlag minus Verdunstungsterm. Ab November wird die Schneedecke des Vormonats mit berücksichtigt. Der Schmelzwasserabfluss von vergletscherten Gebieten wird mit der potentiellen Schmelze minus Verdunstungsanteil gleichgesetzt. Beide Anteile des Abflusses werden jeweils mit den Flächen der vergletscherten, bzw. unvergletscherten Höhenstufen multipliziert. Die erhaltenen Volumina werden addiert und auf die Gesamtfläche bezogen, um den gesamten Schmelzwasserabfluss des Einzugsgebiets in Millimeter zu erhalten.

Zur Bestimmung des Regenwasserabflusses wird die dem flüssigem Anteil des Gesamtniederschlags entsprechende Verdunstung vom flüssigen Niederschlag der dritten Annäherung abgezogen. Die daraus resultierenden Millimeterwerte werden wiederum mit den Flächen der Höhenstufen multipliziert und ergeben das Volumen des Regenwasserabflusses. Dieses auf die Gesamtfläche bezogene Volumen und der errechnete Schmelzwasserabfluss ergeben zusammen die Summe aus Abfluss und flüssigem Speicher. Dieser Summe wird nun der flüssige Speicherterm subtrahiert, der für jeden Monat angenommen werden muss (Diese Annahmen werden durch den Basisabfluss der Wintermonate eingeschränkt). Das erhaltene Ergebnis entspricht dem vom Modell berechneten Abfluss im Einzugsgebiet, welcher nun mit dem gemessenen Abfluss verglichen wird.

Die monatliche Differenz zwischen berechnetem und gemessenem Abfluss soll im Betrag nicht mehr als 20 mm ausmachen. Zu diesem Zweck können mehrere Eingansparameter variiert werden, was im Kapitel 3.2. in dieser Arbeit noch eingängig beschrieben wird.

## 3.2. Bestimmung und Anpassung der Eingabeparameter

### 1. Temperaturgradienten

a) Unteres Einzugsgebiet:

Wie bereits im Kapitel 2.1. erwähnt, wurden zur Festlegung des vertikalen Temperaturgradienten die Stationen Naturns und Stausee Zufritt verwendet. Der Verlauf ist im Diagramm

2.2. dargestellt.

Die Werte bewegen sich zwischen -0,4 und -0,7 Grad Celsius pro 100 Höhenmeter. Die geringste Abnahme der Temperatur mit der Höhe wurde für den November berechnet, ab dort fällt die Kurve stetig ab, um ihre maximale Abnahme im April zu erreichen. Die für das Frühjahr berechneten Werte lassen sich mit der einsetzenden Durchmischung der Atmosphäre erklären, die Werte im Winter repräsentieren die auftretenden Inversionslagen zu dieser Jahreszeit.

b) Oberes Einzugsgebiet:

Zur Bestimmung des vertikalen Temperaturgradienten im oberen Einzugsgebiet wurden vier Stationen verwendet: Melag, Ausserrojen, St.Valentin und Marienberg.

Der Verlauf ist für die zweite Hälfte des hydrologischen Jahres dem Verlauf im unteren Einzugsgebiet recht ähnlich. Auffällig hierbei ist jedoch ein sekundäres Maximum im Februar (siehe Diagramm 2.1.).

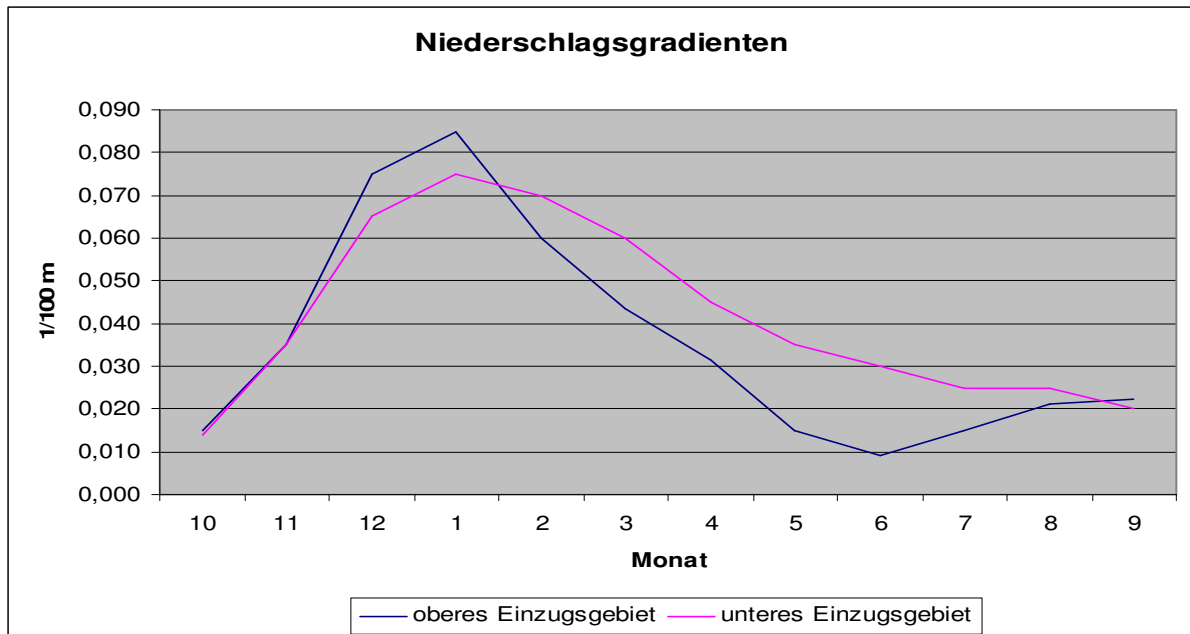
### 2. Niederschlagsgradienten

Zur Bestimmung der Niederschlagsgradienten für den Vinschgau wird von einer Zunahme der Niederschlagsmenge mit der Höhe ausgegangen. Die Monatswerte der Gradienten sind als prozentuelle Zunahme der Niederschlagsmengen pro Hundert Höhenmeter zu sehen.

Da die hier berechneten Gradienten weder der anzunehmenden Größenordnung nahekamen, noch einen plausiblen Jahresgang aufwiesen, wurden sie händisch soweit bestimmt, bis die mit Ihnen errechneten Ergebnisse der Bilanzierung den Erwartungen entsprachen. Diese subjektive Anpassung ist notwendig, um den unbekanntem Einfluss der lokalen Topographie auszugleichen.

Das folgende Diagramm gibt die Jahrgänge der vertikalen Niederschlagsgradienten für die beiden Teile des Einzugsgebiets wieder:

Diagramm 3.1. Die Niederschlagsgradienten beider Einzugsgebiete



Die höchsten Gradienten wurden hierbei für die Wintermonate festgelegt, im oberen Teil des Einzugsgebiets wurde ein größerer Jahresgang gewählt. Im Jahresmittel beträgt der Gradient 0,042 pro 100 m für das untere Einzugsgebiet, für das Obere 0,036 pro 100 m, das heißt grob gesagt eine Zunahme der Niederschlagsmenge um 4 Prozent pro hundert Höhenmeter. Die größere Amplitude des oberen Einzugsgebiets zeigt, dass hier die Gradienten eine wichtigere Rolle spielen. Das kann unter anderem auf den geringeren Abstand zum Alpenhauptkamm zurückgeführt werden.

### 3. Monatsanteile des Niederschlags

Zur Bestimmung der monatlichen Anteile am Jahresniederschlag wurden alle zur Verfügung stehenden Stationen herangezogen. Für das obere Einzugsgebiet fanden sechs Stationen Verwendung, für den unteren Teil waren es Vier (Siehe Kapitel 2.1).

Hierbei wurde wie folgt verfahren:

Die über den betrachteten Zeitraum gemittelten Monatswerte des Niederschlags der jeweiligen Stationen werden einer Mittelwertbildung unterzogen. Dieser Mittelwert, mit dem Faktor 1000 multipliziert, wird anschließend durch die Jahressumme der gebildeten

Mittelwerte dividiert. Dadurch erhält man die Monatsanteile des Gebietsniederschlags in Promille. Diese unterliegen in der zweiten Näherung einer erneuten Berechnung (siehe Kapitel 3.1).

#### 4. Der Gradtagfaktor

Zur Erfassung der potentiellen monatlichen Schneeschmelze ist neben der Kenntnis der monatlichen Durchschnittstemperatur die Einführung eines monatlichen mittlerer Gradtagfaktors nötig. Dieser wurde für beide Teile des Einzugsgebiets mit Werten zwischen 4 und 6 mm pro Grad Celsius über Null und Tag festgelegt, wobei die höchsten Werte für die wärmsten Monate Juli und August angenommen werden.

#### 5. Die Schneebedeckung

Die Berechnung des potentiellen Schmelzens auf unvergletscherten Flächen berücksichtigt außerdem die Ausaperung, bzw. in diesem Modell den prozentuellen Anteil der Schneebedeckung. Diese schwankt im Einzugsgebiet zwischen 60 Prozent im August und 100 Prozent in den Wintermonaten und bezieht sich jeweils nur auf den Höhenbereich, in dem noch Schnee liegt.

#### 6. Der flüssige Speicher

Der Zufluss aus dem flüssigen Speicher wurde bei beiden Einzugsgebieten in den Wintermonaten betragsmäßig dem Abfluss der 4. Näherung gleichgesetzt. Er wurde in den Monaten maximaler Schneeschmelze aufgefüllt. Die maximalen Werte wurden im Mai festgelegt, diese liegen im Gebiet bei etwa 80 mm pro Monat. Die monatlichen Werte des flüssigen Speichers sind so zu wählen, dass sie über das Jahr aufsummiert Null ergeben. Für die Temperatur- bzw. Niederschlagsszenarien sind diese abzuändern, wie aus Tabelle ersichtlich. Eine erhebliche Rolle spielen hierbei die Stauseen im Einzugsgebiet. Zur quantitativen Veranschaulichung: Wird am Reschensee ein Meter Wasser abgelassen, so entspricht dies circa 10 mm Gebietsabfluss im oberen Teil des Einzugsgebiets bis zum Pegel Spondinig, beziehungsweise etwa 3 mm bezogen auf das Gesamtgebiet. Leider standen zu der Zeit, in der diese Arbeit verfasst wurde, noch keine Angaben über die monatliche Entleerung der Stauseen zur Verfügung.

## 7. Der Umverteilungsfaktor

Dieser Faktor berücksichtigt die Verlagerung des gefallenen Schnees auf einem Gletscher. Dies kann einerseits durch Windverfrachtung vonstatten gehen, andererseits durch Lawinen. Im Modell fließt der Umverteilungsfaktor in die Berechnung des festen Niederschlags für Gletscherflächen und unvergletscherten Flächen mit ein. Für die Gletscherflächen wird der feste Niederschlag, der den neu berechneten Jahresgang beinhaltet, mit dem Umverteilungsfaktor multipliziert. Für die unvergletscherten Flächen wird der feste Niederschlag mit einem Quotienten multipliziert, der, falls negativ, gleich Null gesetzt wird.

Er lautet: 
$$[\mathbf{A}(\mathbf{h}) - \mathbf{r} \cdot \mathbf{A}_{\text{gl}}(\mathbf{h})] / [\mathbf{A}(\mathbf{h}) - \mathbf{A}_{\text{gl}}(\mathbf{h})] ;$$

Der Nenner beschreibt die unvergletscherte Fläche der jeweiligen Höhenstufe. Im Zähler wird die mit dem Umverteilungsfaktor multiplizierte Gletscherfläche von der Gesamtfläche für jede Höhenstufe subtrahiert.

Der Umverteilungsfaktor wurde im oberen Einzugsgebiet bei 1,8, im unteren Teil mit 2,05 festgelegt. Bei der Modellierung des gesamten Gebiets (Kapitel 4.3.) wurde der Wert 2 gewählt. Er gilt in beiden Gebieten nur für den vergletscherten Höhenbereich.

## 4. Modellierungsergebnisse

### 4.1. Die vier Terme der Wasserbilanz

a) unteres Einzugsgebiet:

Die Bilanzierung der einzelnen Wasserhaushaltskomponenten im unteren Teil des Einzugsgebiets ist in Tabelle 4.1. dargestellt.

Tabelle 4.1. Bilanzierungsergebnisse der 4. Näherung (unteres Einzugsgebiet)

MONAT	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	JAHR
N	85	116	67	56	49	77	83	87	122	95	88	78	1003
A	68	46	16	15	16	24	39	68	102	91	92	66	643
V	27	26	27	27	24	27	29	33	44	46	46	44	400
S	-10	43	25	14	9	26	15	-13	-25	-42	-50	-32	-40

Im Mittel des Zeitraums von 1990 bis 2002 ergibt sich für das betrachtete Gebiet folgende quantitative Berechnung der einzelnen Komponenten:

Der Gebietsniederschlag wurde mit 1003 mm festgelegt, resultierend aus 643 mm Jahresabfluss, 400 mm Verdunstung und 40 mm Verlust im Speicherterm. Um den monatlichen Speicherterm der 4. Näherung zu erhalten, wird vom monatlichen Gebietsniederschlag der jeweilige Abfluss- und Verdunstungswert abgezogen. Der Jahresverlust des Speicherterms entspricht den aufsummierten Monatswerten.

Der Verlauf des Niederschlags verzeichnet im November und Juni ein Maximum, den geringsten Beitrag zur Jahressumme liefern die Monate Januar und Februar.

Der Abflussterm reagiert direkt nur auf das Niederschlagsmaximum im Juni, das zweite Niederschlagsmaximum im November kommt dem Speicherterm als erster positiver Beitrag im Haushaltsjahr zugute.

Der Löwenanteil im Gebietsabfluss ist mit 45% des Jahresbeitrags in den Sommermonaten Juni, Juli und August zu finden. Hingegen fällt der Winterabfluss (Dezember, Januar und Februar) mit etwa 15 mm pro Monat sehr gering aus, im Gesamten ein Beitrag von 7,3% zum Jahresabfluss.

Die monatlichen Komponenten der Verdunstung bewegen sich zwischen 24 mm im Februar und 46 mm im Juli und August, wobei sich der Jahresgang der Verdunstung dem Lauf der Jahreszeiten fügt. Die in der 1. Näherung betragsmäßig recht hoch parametrisierte Jahresverdunstung von 430 mm entpuppt sich in Verlauf der vier Näherungen als durchaus gerechtfertigt. Sie pendelt sich ab der dritten Näherung, die dem Verdunstungsterm besondere Aufmerksamkeit schenkt, bei 400 mm im Jahr ein.

Der Speicherterm verzeichnet von November bis April positive Beiträge, in der restlichen Zeit Negative. Das Maximum im Jahresverlauf des Speicherterms befindet sich im November, da hier der Monatsanteil des Niederschlags am höchsten ist. Von Mai bis Oktober sind die Monatsterme durchwegs negativ, die größten Verluste erlangen die Monate Juli und August.

Dem Speicherterm der 4. Näherung (-40 mm) steht eine auf die Gesamtfläche bezogene Bilanz von -31 mm gegenüber.

b) oberes Einzugsgebiet:

Die Ergebnisse der Wasserbilanzierung für das Einzugsgebiet bis zum Pegel Spondinig sind aus Tabelle 4.2. ersichtlich.

Tabelle 4.2. Bilanzierungsergebnisse der 4. Näherung (oberes Einzugsgebiet)

MONAT	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	JAHR
N	87	104	70	68	65	62	55	65	121	114	109	93	1011
A	76	44	31	32	33	37	37	63	86	76	65	56	636
V	26	25	26	26	24	26	24	29	46	51	51	49	403
S	-16	35	12	10	7	-1	-5	-27	-12	-13	-7	-12	-29

Für den oberen Teil errechnet sich der jährliche Gebietsniederschlag zu 1011 mm, der Gebietsabfluss beträgt 636 mm, die Verdunstung beträgt, ähnlich dem unteren Teil, 403mm, der Speicherterm wurde für diesen geringer vergletscherten Teil des Einzugsgebiets mit 29 mm Verlust bestimmt. Die Maxima im Jahresgang des Niederschlags finden sich wie im unteren Teil in den Monaten November und Juni. Die geringsten Niederschlagsmengen fallen



jedoch auf die Monate März und April. Gut ein Drittel des Beitrags zum Jahresniederschlag liefern die Sommermonate (Juni, Juli und August).

Die monatlichen Abflüsse sind im Juni, Juli und Oktober am Höchsten, die niedrigsten Abflusswerte sind gleich dem unteren Teil des Einzugsgebiets in den Wintermonaten zu beobachten.

Mit der Verdunstung verhält es sich ähnlich wie im unteren Einzugsgebiet: Die Werte schwanken im Verlauf des hydrologischen Jahres zwischen 25 und 50 mm im Monat. Der Speicherterm erhält seinen größten positiven Beitrag im November, der Verlust ist im Monat Mai am höchsten. Für die auf die Gesamtfläche gerechnete spezifische Bilanz wurde im betrachteten Zeitraum ein Verlust von 21 mm verzeichnet, der Verlust des Speicherterms beträgt in der 4. Näherung 29 mm.

c) gesamtes Einzugsgebiet:

Zur Kontrolle wurden noch beide Teile des Einzugsgebiets zusammengelegt. Hierfür wurden für die Bestimmung des Niederschlagsjahresgangs alle zehn Stationen verwendet. Als Niederschlagsgradient wurde der Mittelwert der Gradienten des oberen und unteren Einzugsgebiets gebildet. Der Temperaturgradient wurde vom unteren Teil übernommen. Als Umverteilungsfaktor wurde der Wert 2 gewählt. Die Modellierungsergebnisse sind in Tabelle 4.3 dargestellt.

Tabelle 4.3 Bilanzierungsergebnisse der 4. Näherung (gesamtes Einzugsgebiet)

MONAT	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	JAHR
<b>N</b>	<b>78</b>	<b>108</b>	<b>81</b>	<b>78</b>	<b>68</b>	<b>72</b>	<b>65</b>	<b>68</b>	<b>111</b>	<b>98</b>	<b>94</b>	<b>81</b>	<b>1002</b>
<b>A</b>	<b>67</b>	<b>48</b>	<b>21</b>	<b>19</b>	<b>17</b>	<b>27</b>	<b>40</b>	<b>66</b>	<b>96</b>	<b>83</b>	<b>92</b>	<b>67</b>	<b>642</b>
<b>V</b>	<b>27</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>25</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>32</b>	<b>45</b>	<b>46</b>	<b>46</b>	<b>45</b>	<b>399</b>
<b>S</b>	<b>-17</b>	<b>34</b>	<b>32</b>	<b>33</b>	<b>27</b>	<b>18</b>	<b>-2</b>	<b>-29</b>	<b>-29</b>	<b>-30</b>	<b>-44</b>	<b>-31</b>	<b>-39</b>

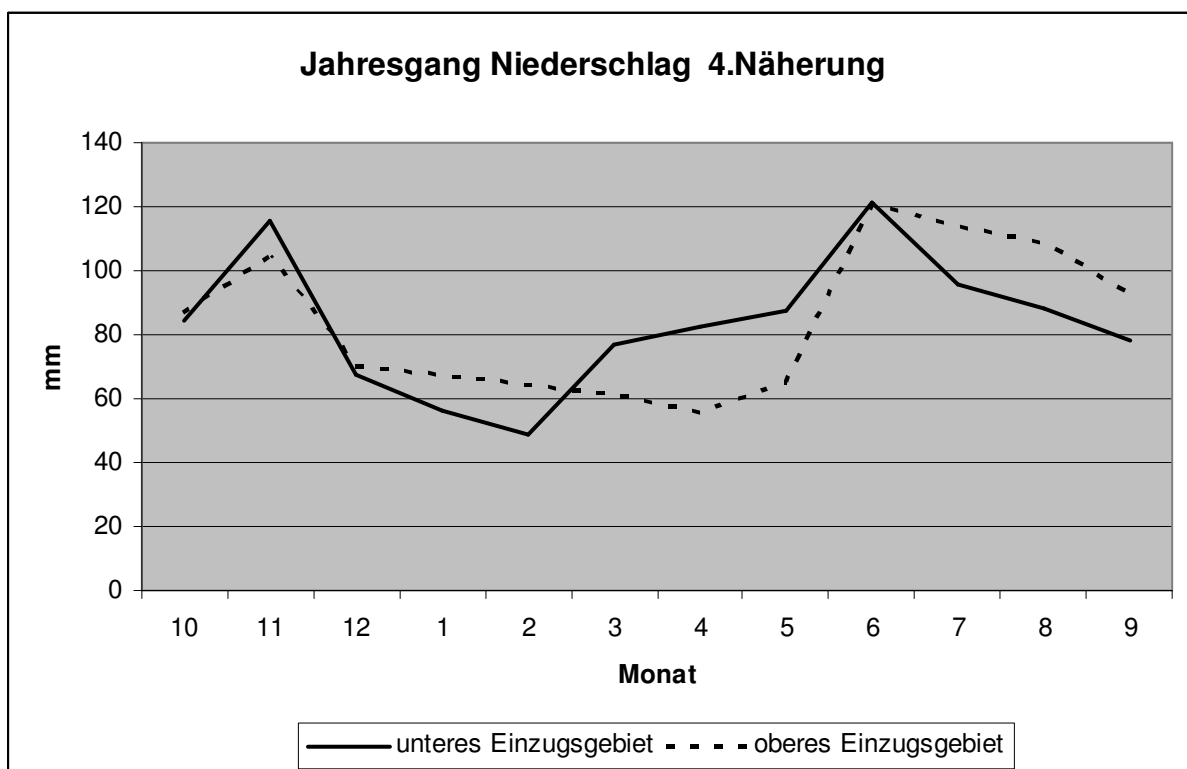
Wie in den beiden Teilgebieten fallen die Maxima des Gebietsniederschlags im gesamten Einzugsgebiet des Pegels Töll auf die Monate November und Juni. Das Abflussverhalten ähnelt eher den Ergebnissen der Modellierung des unteren Teils. Die Jahressumme der Verdunstung entspricht mit 399 mm den Resultaten für die Teilgebiete. Die Summe der

monatlichen Speicherterme liegt quantitativ im Bereich der Modellierung für das untere Einzugsgebiet, welches mit 5,1 % den höheren Vergletscherungsanteil aufweist.

### Der Jahresverlauf des Niederschlags

Zur Veranschaulichung der unterschiedlichen Verteilung der monatlichen Niederschlagsmengen in den beiden Teilen des Einzugsgebiets ist das Diagramm 4.1. gedacht. Der Verlauf ist im Herbst recht ähnlich, in den Wintermonaten Dezember bis Februar verzeichnet das obere Einzugsgebiet größere Niederschlagsmengen. Im Frühjahr (März bis Mai) ändert sich dieser Zustand: hier liegen die monatlichen Niederschlagswerte im unteren Einzugsgebiet um durchschnittlich 20 Millimeter höher als im oberen Teil.

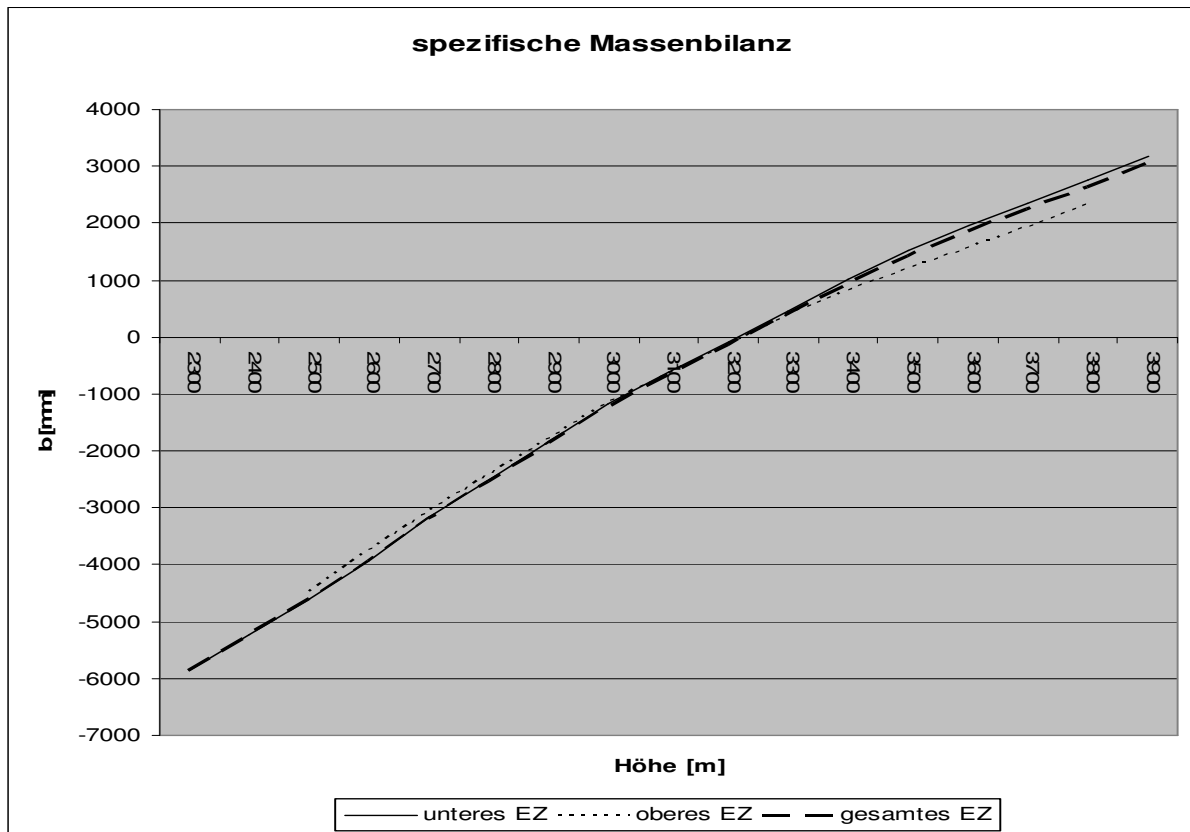
Diagramm 4.1. N – Jahresgang



## Die Massenbilanzen der Gletscher

Die vom Modell errechneten mittleren spezifischen Massenbilanzen der Gletscher sind aus Diagramm 4.2. ersichtlich. Die angezeigten Werte sind als Mittelwerte über den betrachteten Zeitraum von 1990 bis 2002 zu verstehen.

Diagramm 4.2. Spezifische Massenbilanz der einzelnen Einzugsgebiete



spezifische Massenbilanz	auf Gletscherfläche bezogen	auf Gesamtfläche bezogen
oberes Einzugsgebiet	-670 mm	-21 mm
unteres Einzugsgebiet	-616 mm	-31 mm
gesamtes Einzugsgebiet	-671 mm	-29 mm

## **Weitere Modellierungsergebnisse**

### a) Der Schmelzwasserabfluss:

Um den Jahresgang des Schmelzwasserabflusses in Millimeter zu bestimmen, werden die Volumina des Schmelzwasserabflusses über alle Höhenstufen aufsummiert und durch die Gesamtfläche dividiert. Die Volumina lassen sich als Produkt aus dem Schmelzwasserabfluss in Millimeter und der Fläche der Höhenstufe berechnen. Hier wird zwischen unvergletscherten Gebieten und Gletscherflächen unterschieden. Die Abflussvolumina beider Gebiete werden addiert und ergeben den gesamten Schmelzwasserabfluss. Dieser ist in den Diagrammen 4.2. und 4.3. dargestellt. Hierbei gibt die unbeschriftete Achse in der Horizontalen den Verlauf des hydrologischen Jahres wieder (das Gleiche gilt für Diagramm 4.4. und 4.5.).

Diagramm 4.2. Schmelzwasserabfluss im unteren Einzugsgebiet

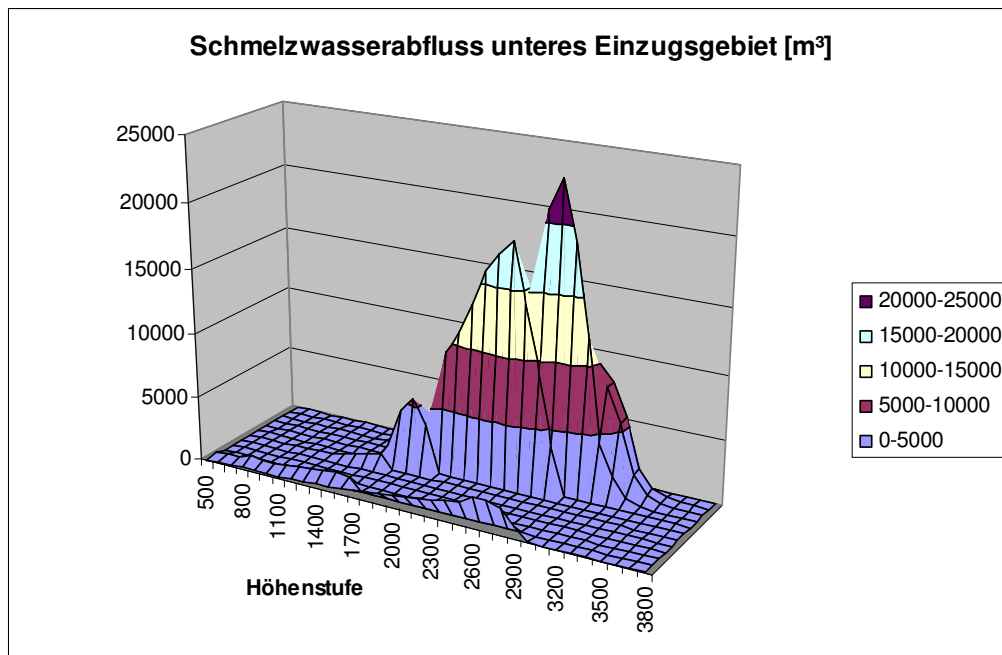
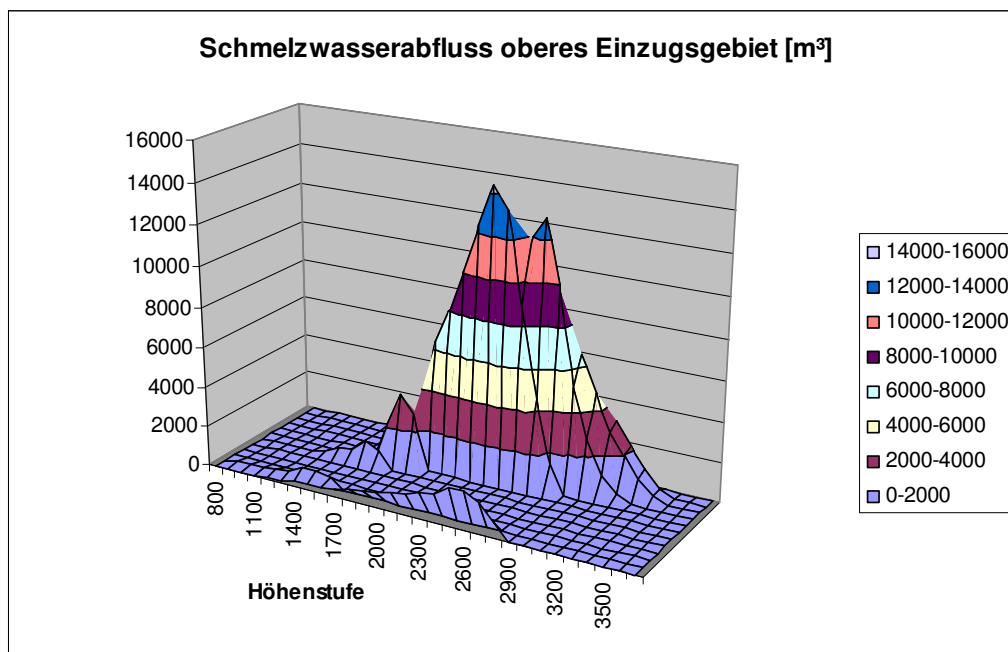


Diagramm 4.3. Schmelzwasserabfluss im oberen Einzugsgebiet



b) Der Regenwasserabfluss:

Zur Berechnung des Regenwasserabflusses wird vom flüssigen Niederschlag der 3. Näherung die Verdunstung des flüssigen Anteils des Gesamtniederschlags abgezogen. Diese Werte werden mit den Flächen der einzelnen Höhenstufen multipliziert und die somit berechneten Volumina über alle Höhen aufsummiert. Diese Werte werden nun auf die Gesamtfläche bezogen und sind als Jahresgang aus den Diagrammen 4.3. und 4.4. ersichtlich.

Diagramm 4.4. Regenwasserabfluss im unteren Einzugsgebiet

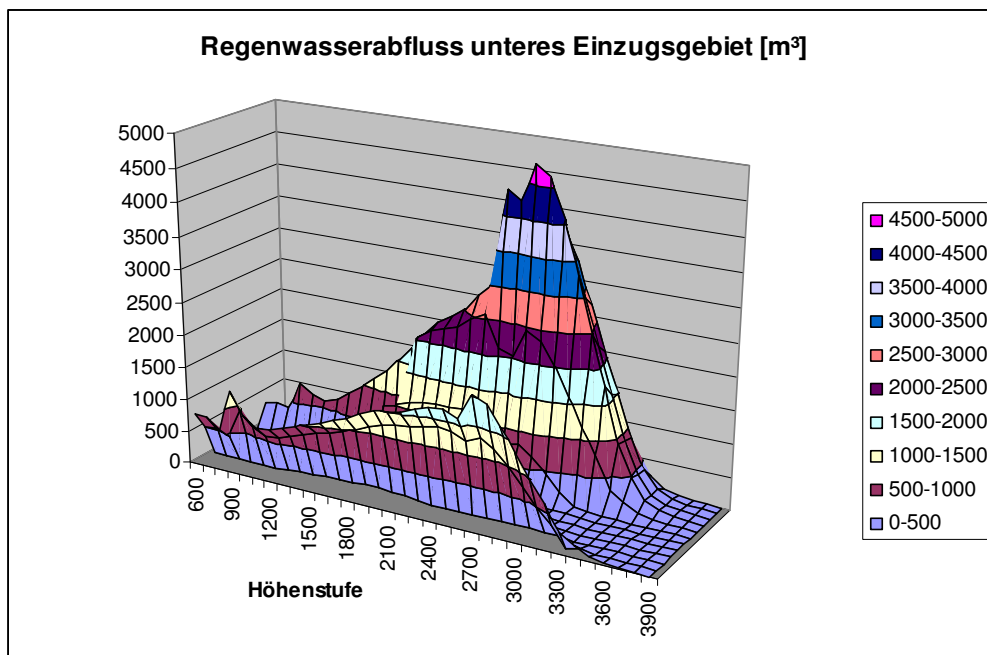
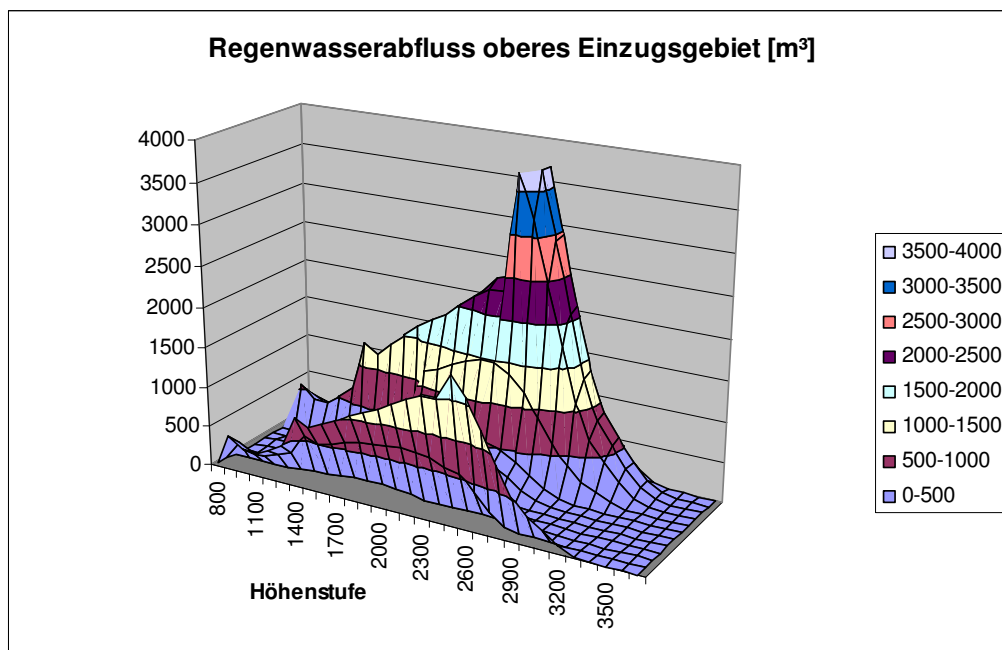


Diagramm 4.5. Regenwasserabfluss im oberen Einzugsgebiet



## 4.2. Klimaszenarien

### 4.2.1. Temperaturszenarien

Die Modifikation der Temperatur vertritt eine über das Jahr einheitlich verteilte Zu- bzw. Abnahme der Temperaturwerte der Referenzstationen. Die ermittelten Temperaturgradienten bleiben hierbei konstant. Dies zieht einige Abänderungen in den Modellberechnungen mit sich, man denke nur an die potentielle Schmelze, den Schneeanteil des Niederschlags und den damit verbundenen Schneedeckenaufbau oder an den Massenhaushalt der Gletscher. Es werden hier vier Temperaturänderungen vorgenommen: Eine Temperaturabnahme um 1°C und drei Szenarien mit jeweils 1°C, 2°C und 3°C Erwärmung. Es werden mit Ausnahme des flüssigen Speichers alle Modellparameter beibehalten. Die Umgestaltung des Flüssigspeichers soll den veränderten Jahresgang der Schmelzwasserproduktion berücksichtigen.

### 4.2.2. Niederschlagsszenarien

In dieser Arbeit wurden für beide Teile des Einzugsgebiets jeweils zwei Änderungen der Gebietsniederschläge vorgenommen: Eine Zunahme des Gebietsniederschlags um 30 Prozent und eine Verringerung desselben um 30 Prozent. Wie im Kapitel 3.2. bereits erwähnt, sind die Monatsanteile des Gebietsniederschlags als Anteil von Tausend zu sehen. Bei den Niederschlagsszenarien ergeben die neu berechneten Monatsanteile in Jahressumme den Wert 700 (bei einer Abnahme um 30 %) beziehungsweise den Wert 1300 (bei einer Zunahme um 30 %). Die anderen Eingabeparameter bleiben unverändert, der flüssige Speicher wird abgeändert und der Abflussverlauf neu bestimmt.

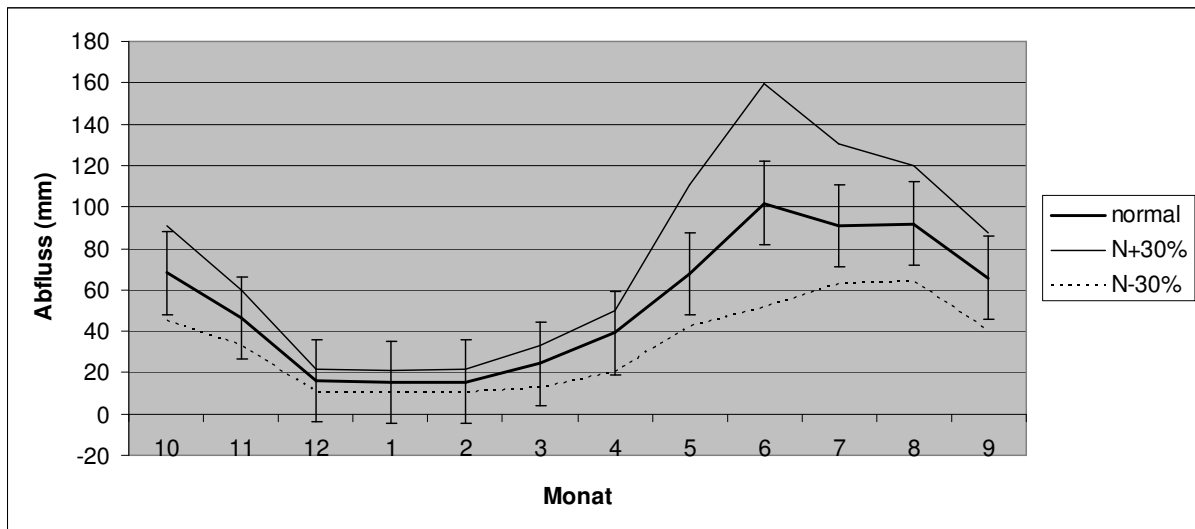
### 4.2.3. Ergebnisse der Niederschlagsszenarien

#### a) unteres Einzugsgebiet

Generell lässt sich sagen, dass sich die Änderung der Niederschlagsmenge für das Abflussverhalten in den Wintermonaten am geringsten bemerkbar macht. Die gravierenden Abweichungen vom modellierten Abfluss sind in den Sommermonaten zu finden. Die Erhöhung der Niederschlagsmenge bringt eine erhöhte Schmelzwasserproduktion in Mai und Juni mit sich. Im Fall der Niederschlagszunahme bleibt die Abflussspitze im Juni, bei einer Verringerung der Niederschlagsmenge verlagert sich das Maximum der Abflussganglinie in

die Monate Juli und August. Von November bis April liegen die modifizierten Abflusswerte innerhalb eines Bereichs mit 20 mm Abweichung (in den folgenden Diagrammen als Balken dargestellt), die größte Differenz zum modellierten Abfluss ist mit +60 bzw. -50 mm im Monat Juni zu finden.

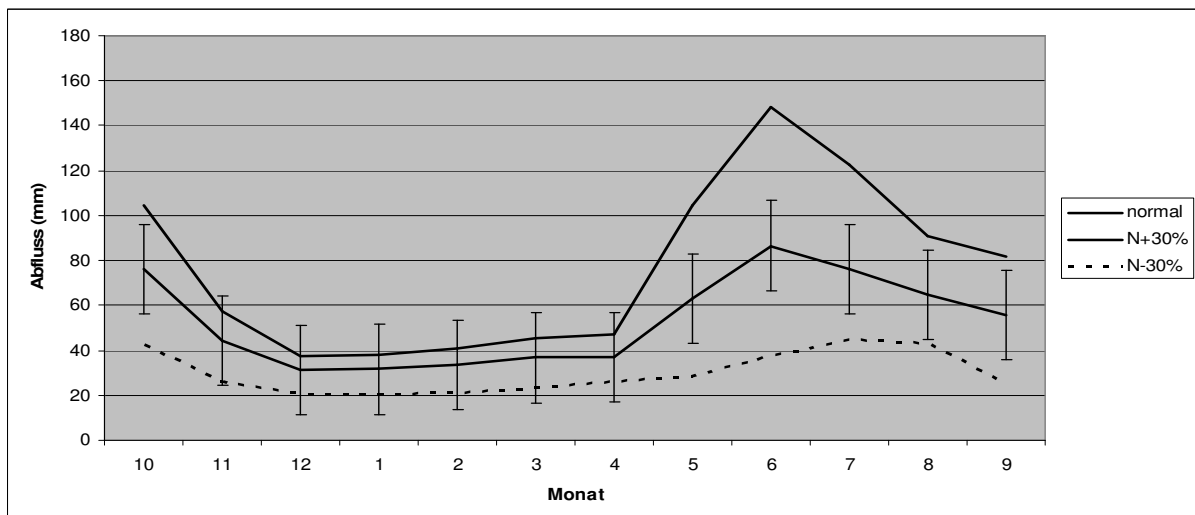
Diagramm 4.6. Niederschlagszenarien unteres Einzugsgebiet



b) oberes Einzugsgebiet

Ein ähnliches Verhalten der Abflussganglinien bei einer Zu- bzw. Abnahme des Gebietsniederschlags ist im oberen Teil des Einzugsgebietes zu beobachten. Auch hier liegen die approximativen Abflusswerte von November bis April in einer Umgebung von  $\pm 20$  mm. Die maximale Abweichung ist wie im unteren Teil im Juni zu beobachten.

Diagramm 4.7. Niederschlagszenarien oberes Einzugsgebiet





#### 4.2.4. Ergebnisse der Temperaturszenarien:

##### a) unteres Einzugsgebiet

Die Abflussganglinie des Szenarios T -1°C liegt unterhalb der Abflusskurve der Bilanzierung. Alle anderen Temperaturverhältnisse als Modelleingabe bringen einen erhöhten monatlichen Abfluss mit sich. Die Streuung der Kurven ist in den Wintermonaten Dezember, Januar und Februar minimal und nimmt aufgrund der größeren Schmelzwasserproduktion im Fall einer Erwärmung zu. Bei T +3°C ist der Abflusswert im November auffallend hoch: In diesem Monat befindet sich eines der beiden Niederschlagsmaxima im Einzugsgebiet, der verringerte Schneeanteil des Niederschlags wirkt sich fördernd auf das Abflussverhalten aus.

##### b) oberes Einzugsgebiet

Vergleichbare Ergebnisse lassen sich für den oberen Teil des Einzugsgebiets feststellen. Auch hier wirken sich die Temperaturänderungen auf den winterlichen Abfluss kaum aus. Die deutlichsten Änderungen im Abflussverhalten zeigen wiederum der Monat November (Niederschlagsmaximum) und die Frühjahrsmonate. Im Diagramm 4.9. sind die Abflussverläufe für die vier Temperaturszenarien dargestellt.

Diagramm 4.8. Temperaturszenarien unteres Einzugsgebiet

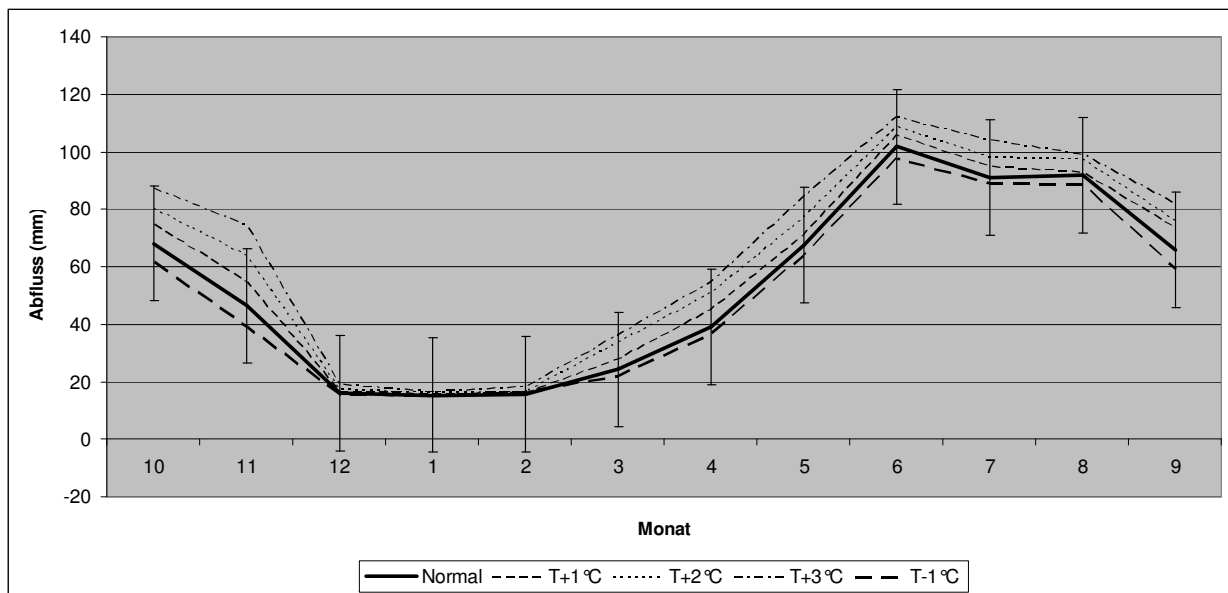
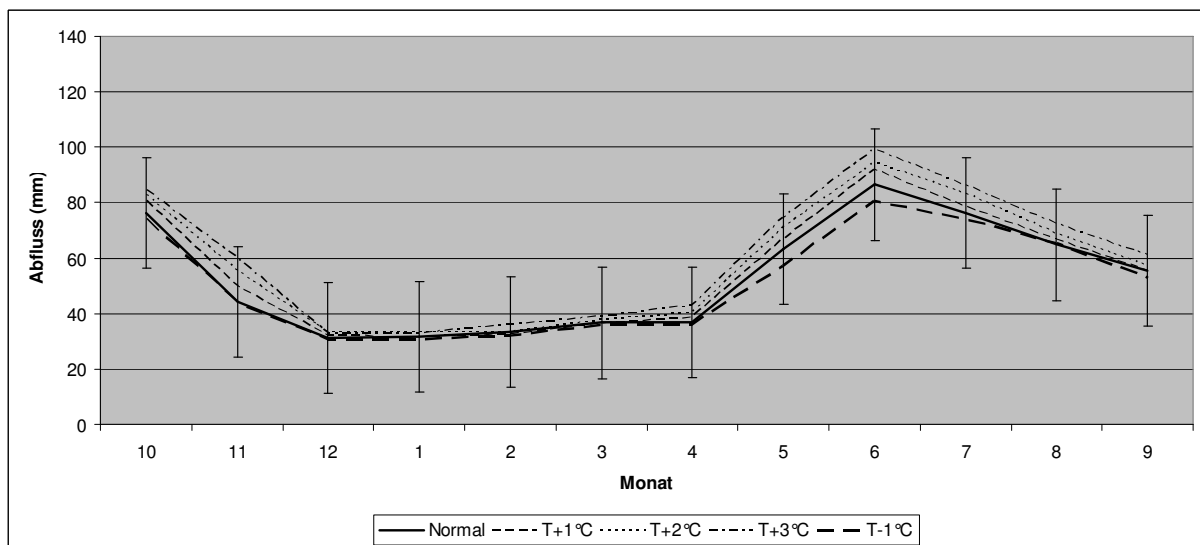


Diagramm 4.9. Temperaturszenarien oberes Einzugsgebiet



#### 4.2.4. Die Abänderung des flüssigen Speichers

Die Monatswerte des flüssigen Speichers müssen im Fall der Niederschlagsmodifizierung den abgeänderten Werten angepasst werden. Bei einer Reduktion der Niederschlagsmenge verringert sich der winterliche Basisabfluss, in den Monaten Mai und Juni wird der Flüssigspeicher mit weniger Wasser gespeist. Umgekehrt wird sich bei einer Zunahme der Niederschlagsmenge der Winterabfluss im Betrag erhöhen. Der Jahresgang des flüssigen Speichers für die beiden Niederschlagsszenarien und den einzelnen Temperaturszenarien ist in den Tabellen 5.2. und 5.3. dargestellt.

### 4.3. Sensitivität der Bilanzierung

#### a) Abgeänderte Temperaturverhältnisse

Zur Veranschaulichung der Reaktion der Modellierungsergebnisse auf eine Änderung der klimatischen Verhältnisse wird für das gesamte Einzugsgebiet eine Temperaturerhöhung von 3°C inszeniert. Das heißt, dass die Temperaturmonatsmittel (über den Zeitraum von 1990 bis 2002 gemittelt) der Referenzstation Naturns um den entsprechenden Betrag erhöht werden. Der flüssige Speicher ist hierbei der einzige Eingabeparameter, der modifiziert wird. Die Monatswerte des Flüssigen Speicherterms sind aus Tabelle 4.4. ersichtlich. Das folgende Diagramm zeigt den Gebietsabfluss in Millimetern für die tatsächlichen und die inszenierten Temperaturverhältnisse.

Diagramm 4.10. Abflussverhalten bei einer Temperaturzunahme von 3°C

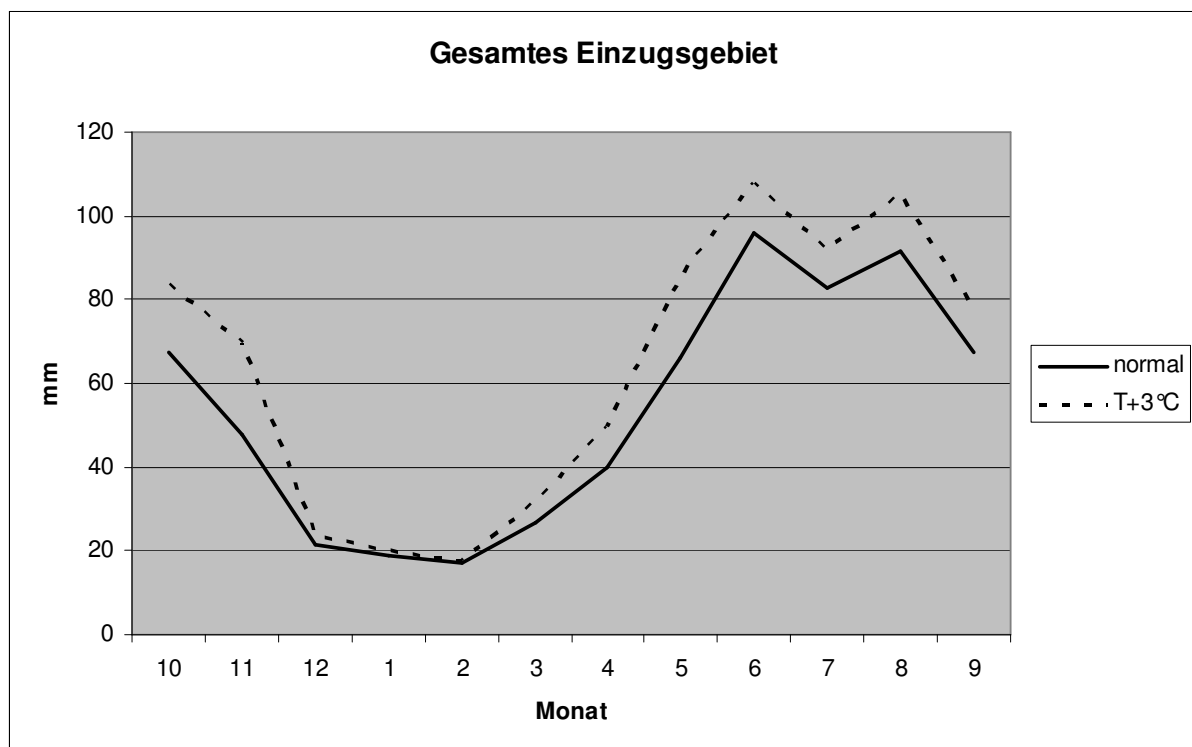


Tabelle 4.4. Flüssiger Speicher

Töll	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Jahr
normal	-20	-20	-20	-18	-15	-15	-12	90	52	10	-7	-25	0
T+3°C	-20	-15	-18	-17	-9	-2	-8	74	0	25	5	-15	0

## b) Veränderte Parametrisierung der Verdunstung

Im Folgenden wird die bei den bisherigen Modellrechnungen verwendete Parametrisierung (siehe Kapitel 3.1.) abgewandelt. Die angenommene Verdunstung von 0,5 mm pro Tag für Flächen oberhalb von 2600 m Höhe bleibt gleich. Unterhalb dieser Höhe wird jedoch in der Parametrisierung von Oktober bis März anders vorgegangen: Liegt in der betrachteten Höhenlage Schnee und ist diese bewaldet, so wird für den Waldanteil eine Verdunstungsrate von 1 mm/Tag angenommen, für den restlichen Anteil werden 0,5 mm/Tag erwartet. Diese beiden Verdunstungsraten werden addiert. In allen anderen Fällen beträgt die Verdunstung 0,5 Millimeter pro Tag. Von April bis September beträgt die Verdunstung bei schneebedeckten Flächen unterhalb von 2600 Metern 1mm/Tag für den Waldanteil und 0,5 mm/Tag für die restlichen Flächen. Diese beiden Terme werden wie oben aufsummiert. Liegt in der Höhelage kein Schnee, wird von einer Verdunstungsrate von 2 mm/Tag ausgegangen.

Die Auswirkungen dieser abgeänderten Behandlung des Verdunstungsterms sind aus Tabelle 4.5. ersichtlich. Hier sind die Monatswerte und die Jahressumme der Verdunstung für beide Parametrisierungen gegenübergestellt. Die angegebenen Werte entsprechen dem errechneten Volumen der Verdunstung der 2. Näherung, welches auf die Gesamtfläche bezogen wird (Einheit Millimeter).

Tabelle 4.5. Gegenüberstellung unterschiedlicher Parametrisierung der Verdunstung

Verdunstung Monat	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Jahr
ursprünglich:	27	26	27	27	25	27	27	32	45	46	46	45	399
erweitert:	16	18	21	21	19	19	31	47	48	50	50	48	387

## 5. Anhang

### 5.1. Tabellen

Tabelle 5.1. Zuflüsse der Etsch bis zum Pegel Töll

Zuflüsse links der Strömungsrichtung:	Zuflüsse rechts der Strömungsrichtung:
Karlinbach	Pitzer Bach
Plawenner Bach	Zerzerbach
Punibach	Marienbergbach
Saldurbach	Meltzbach
Tanasbach	Rambach
Allitzerbach	Alpbach
Gsalbach	Suldenbach
Schlandrauner Bach	Tschrinbach
Fallerbach	Tschenglser Bach
Tissbach	Laaser Bach
Vermeibach	Nördersbach
Schnalser Bach	Plima
Lahnbach	Lembach
Zielbach	Tiefentalbach
	Schlumsbach
	Sandbach
	Kellerbach
	Melsbach

Tabelle 5.2. Flüssiger Speicher bei den Niederschlagsszenarien

Flüssiger Speicher:													
Monat:	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Jahr
<b>unteres Einzugsgebiet</b>													
normal	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-12	76	55	3	-7	-25	0
N+30%	-15	-15	-20	-20	-20	-15	-10	85	60	5	-10	-25	0
N-30%	-15	-15	-10	-10	-10	-10	-5	45	40	5	0	-15	0
<b>oberes Einzugsgebiet</b>													
normal	-20	-25	-30	-30	-30	-25	-15	85	55	25	20	-10	0
N+30%	-25	-30	-35	-35	-35	-25	-15	95	60	30	25	-10	0
N-30%	-10	-15	-20	-20	-20	-20	-15	70	35	10	10	-5	0

Tabelle 5.3. Flüssiger Speicher bei den Temperaturszenarien

Flüssiger Speicher:													
Monat:	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Jahr
<b>unteres Einzugsgebiet</b>													
normal	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-10	80	55	0	-10	-25	0
T+1 °C	-5	-10	-15	-20	-40	-25	-5	100	30	10	0	-20	0
T+2 °C	0	0	-35	-25	-20	-20	0	95	10	0	10	-15	0
T+3 °C	0	0	-40	-40	-30	-20	10	95	20	10	10	-15	0
T-1 °C	-5	-10	-15	-40	-45	-40	-15	90	85	10	5	-20	0
<b>oberes Einzugsgebiet</b>													
normal	-20	-25	-30	-35	-30	-20	-15	85	55	25	20	-10	0
T+1 °C	-15	-40	-25	-30	-30	-25	-20	100	40	25	30	-10	0
T+2 °C	-10	-35	-25	-30	-50	-40	-25	100	35	50	45	-15	0
T+3 °C	-10	-35	-25	-30	-50	-40	-20	80	45	50	45	-10	0
T-1 °C	-20	-35	-30	-35	-40	-40	-20	80	80	25	45	-10	0

Tabelle 5.4. Die 4 Näherungen der Bilanz für den unteren Teil des Einzugsgebiets

Monat	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Jahr
<b>1. Näherung</b>													
N%	120	117	41	29	27	51	71	89	134	114	105	102	1000
N	124	121	43	30	28	53	74	92	138	117	109	104	1033
A	53	41	33	30	25	27	21	49	95	111	87	60	634
V	20	15	15	15	15	20	30	60	60	90	60	30	430
S	51	65	-6	-15	-12	6	22	-17	-17	-84	-39	14	-31
<b>2. Näherung</b>													
N%	84	116	67	56	48	76	83	87	121	95	88	78	1000
N	87	119	69	58	50	79	85	90	125	98	91	80	1033
A	53	41	33	30	25	27	21	49	95	111	87	60	634
V	20	15	15	15	15	20	30	60	40	90	60	30	410
S	14	63	21	13	10	32	34	-19	-10	-103	-56	-9	-11
<b>3. Näherung</b>													
N	85	116	67	56	49	77	83	87	122	95	88	78	1003
A	53	41	33	30	25	27	21	49	95	111	87	60	634
V	27	26	27	27	24	27	29	33	44	46	46	44	400
S	5	49	7	-1	-1	23	32	6	-18	-61	-45	-26	-31
<b>4. Näherung</b>													
N	85	116	67	56	49	77	83	87	122	95	88	78	1003
A	68	46	16	15	16	24	39	68	102	91	92	66	643
V	27	26	27	27	24	27	29	33	44	46	46	44	400
S	-10	43	25	14	9	26	15	-13	-25	-42	-50	-32	-40

**Eingabeparameter:**

Monat	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Jahr
N-Gradient	0,014	0,035	0,065	0,075	0,07	0,06	0,045	0,035	0,03	0,025	0,025	0,02	0,042
Gradtagfaktor	4	4	4	4	4	4	4,5	5	5,5	6	5,5	4,5	4,6
Schneebedeckung	0,8	0,95	1	1	1	1	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,65	0,87
T-Gradient	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7	-0,7	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,5	-0,6

Tabelle 5.5. Die 4 Näherungen der Bilanz für den oberen Teil des Einzugsgebiets

Monat	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Jahr
<b>1. Näherung</b>													
N%	98	99	46	40	49	54	54	73	144	129	117	99	1000
N	93	93	43	38	46	51	51	69	136	122	110	93	945
A	59	50	47	52	46	46	39	49	72	66	47	53	626
V	15	15	15	15	15	15	20	30	50	60	50	40	340
S	18	28	-19	-29	-16	-10	-7	-10	14	-4	13	0	-21
<b>2. Näherung</b>													
N%	86	103	69	67	64	61	55	64	120	113	108	92	1003
N	81	98	66	63	60	58	52	61	113	107	102	87	947
A	59	50	47	52	46	46	39	49	72	66	47	53	626
V	15	15	15	15	15	15	20	30	50	60	60	40	350
S	7	33	4	-4	-1	-4	-7	-19	-9	-19	5	-6	-19
<b>3. Näherung</b>													
N	87	104	70	68	65	62	55	65	121	114	109	93	1011
A	59	50	47	52	46	46	39	49	72	66	47	53	626
V	26	25	26	26	24	26	24	29	46	51	51	49	403
S	1	29	-3	-10	-6	-11	-7	-13	3	-3	11	-10	-18
<b>4. Näherung</b>													
N	87	104	70	68	65	62	55	65	121	114	109	93	1011
A	76	44	31	32	33	37	37	63	86	76	65	56	636
V	26	25	26	26	24	26	24	29	46	51	51	49	403
S	-16	35	12	10	7	-1	-5	-27	-12	-13	-7	-12	-29

**Eingabeparameter:**

Monat	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Jahr
N-Gradient	0,015	0,035	0,075	0,085	0,06	0,044	0,031	0,015	0,009	0,015	0,021	0,022	0,036
Gradtagfaktor	4	4	4	4	4	4	4	4	4,5	6	6	5	4,5
Schneebedeckung	0,9	0,95	1	1	1	1	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,65	0,87
T-Gradient	-0,4	-0,6	-0,7	-0,6	-0,5	-0,6	-0,7	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6



Tabelle 5.6. Die 4 Näherungen der Bilanz für das gesamte Einzugsgebiet

Monat	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Jahr
<b>1. Näherung</b>													
N%	106	106	44	36	41	53	61	79	140	123	112	99	1000
N	110	109	45	37	42	55	63	82	145	127	116	103	1034
A	56	45	38	39	33	35	28	49	86	94	72	57	631
V	20	15	15	15	15	20	30	60	60	90	60	30	430
S	34	50	-8	-16	-6	0	5	-27	-1	-56	-16	16	-27
<b>2. Näherung</b>													
N%	77	107	81	78	68	71	65	68	111	98	94	81	1000
N	80	111	83	81	71	74	67	70	114	101	97	83	1034
A	56	45	38	39	33	35	28	49	86	94	72	57	631
V	20	15	15	15	15	20	30	60	40	90	60	30	410
S	4	52	30	27	22	19	9	-38	-12	-82	-34	-4	-6
<b>3. Näherung</b>													
N	78	108	81	78	68	72	65	68	111	98	94	81	1002
A	56	45	38	39	33	35	28	49	86	94	72	57	631
V	27	26	27	27	25	27	27	32	45	46	46	45	399
S	-5	37	15	13	10	10	10	-12	-20	-41	-23	-21	-27
<b>4. Näherung</b>													
N	78	108	81	78	68	72	65	68	111	98	94	81	1002
A	67	48	21	19	17	27	40	66	96	83	92	67	642
V	27	26	27	27	25	27	27	32	45	46	46	45	399
S	-17	34	32	33	27	18	-2	-29	-29	-30	-44	-31	-39

**Eingabeparameter:**

Monat	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Jahr
N-Gradient	0,015	0,035	0,07	0,08	0,065	0,052	0,038	0,025	0,02	0,02	0,023	0,021	0,039
Gradtagfaktor	4	4	4	4	4	4	4,5	5	5,5	6	5,5	4,5	4,6
Schneebedeckung	0,8	0,95	1	1	1	1	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,65	0,87
T-Gradient	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7	-0,7	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,5	-0,6

## 6. Literaturliste

- Fliri, Franz(1974): Niederschlag und Lufttemperatur im Alpenraum, Wissenschaftliche Alpenvereinshefte, Heft 24
  
- Kuhn, M., Batlogg, N. (1999): Modellierung der Auswirkung von Klimaänderungen auf verschiedene Einzugsgebiete in Österreich. Schriftenreihe der Forschung im Verbund Band 46, Wien
  
- Kuhn, M. (2003): Redistribution of snow and glacier mass balance from a hydrometeorological model. Journal of Hydrology. 282, 95-103
  
- Kuhn, M. (2004): Die Reaktion der österreichischen Gletscher und ihres Abflusses auf Änderungen von Temperatur und Niederschlag. ÖWAW O/19, Heft 1-2
  
- Schenk,Dr. Ina(1951): Die Klimainsel Vinschgau.Trento,Tipografia editrice mutilati e invalidi

## 7. Lebenslauf

### Persönliche Daten

Name: Christian Große  
Anschrift: Michael-Gaismair-Straße 5/22  
6020 Innsbruck  
Telefon: 0043/650/3168477  
E-mail: [csab8067@uibk.ac.at](mailto:csab8067@uibk.ac.at)  
Geburtsdatum und -ort: 18.06.1978 in Augsburg  
Staatsangehörigkeit: Deutsch  
Familienstand: ledig

### Schulische Ausbildung

1984-1988 Theresia-Gerhardinger-Grundschule Friedberg  
1988-1997 Wernher von Braun-Gymnasium Friedberg,  
Abschluss: Abitur (3,1)

### Zivildienst

09/1997-09/1998 Pflөгertätigkeit im Krankenhaus Friedberg

### Studium

10/1998-06/1999 Leopold-Franzens-Universität Innsbruck  
Studienzweig Physik  
10/1999-10/2001 Leopold-Franzens-Universität Innsbruck  
Studienrichtung Meteorologie und Geophysik  
Ab 10/2001 Leopold-Franzens-Universität Innsbruck  
Diplomstudium Meteorologie und Geophysik  
Seit 03/2007 Diplomarbeit: Modellierung der Wasserhaushalts-  
komponenten für ein vergletschertes Einzugsgebiet

### Praktika

10-12/2003 Wetterbeobachter an der Wetterdienststelle Bregenz  
Tätigkeit bei der Wetterdienststelle Innsbruck

## **8. Danksagung**

Mein primärer Dank sei an meine geliebten Eltern gerichtet, deren immense Großzügigkeit mir eine Ausbildung dieser Art ermöglichte. Zusammen mit meiner Schwester trugen sie im Wesentlichen dazu bei, dass diese von mir nach zwischenzeitlichen Zweifeln und Schwierigkeiten zu guter Letzt abgeschlossen wurde. Für seine Bereitschaft zur Betreuung der vorliegenden Arbeit möchte ich dem Vorstand des Instituts für Meteorologie und Geophysik in Innsbruck, Herrn Professor Kuhn meinen zutiefst empfundenen Dank äußern.

Ein ausdrückliches Dankeswort geht an Lukas Rastner und Alexander Dusleag, die mir die für diese Diplomarbeit notwendigen geografischen Kenngrößen des behandelten Einzugsgebietes erarbeiteten. Die Datengrundlage wurde höflicherweise vom Hydrografischen Amt Bozen zur Bearbeitung freigegeben. Hiermit sei den Herren Wolfgang Rigott und Dr. Günther Geier mein verbindlichster Dank ausgesprochen.