Grundlagenerhebung für die Gefahrenzonenplanung an der Kundler Ache/Wildschönauer Ache in Kundl

Baseline Survey for hazard map planning for the "Kundler Ache/Wildschönauer Ache" in Kundl

Masterarbeit

von

Monika Kals

Zur Erlangung des akademischen Grades Diplomingenieur für Mountain Risk Engineering (Dipl.-Ing.)



Betreuer: Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Johannes Hübl **Praktische Betreuung:** Dipl.-Ing. Andreas Haas (WLV)

eingereicht: Jänner 2014

Institut für Alpine Naturgefahren (IAN)

Department für Bautechnik und Naturgefahren der Universität für Bodenkultur Wien

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre, dass die vorliegende Diplomarbeit von mir selbst verfasst wurde und ich keine anderen als die angeführten Behelfe verwendet bzw. mich auch sonst keiner unerlaubter Hilfe bedient habe. Wörtlich oder sinngemäß übernommenes Gedankengut habe ich als solches kenntlich gemacht.

Ich versichere, dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland (einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

Datum: Unterschrift:

Danksagung

Da die Arbeit sehr praxisnah ist, erhielt man auch einen guten Einblick in die Arbeitsweise der Wildbach- und Lawinenverbauung. Das war sehr interessant und hat mir gut gefallen. Ich möchte mich bei dem gesamten Team der Wildbach- und Lawinenverbauung Gebietsbauleitung Wörgl für die freundliche Aufnahme und die gute Zusammenarbeit bedanken. Bei diversen Fragen und Problemen wurden mir freundlichst Anregungen und Hilfestellung gegeben. Besonders danken möchte ich meinen Betreuern Andreas Haas (Wildbach- und Lawinenverbauung Gebietsleitung Wörgl) und Johannes Hübl (Universität für Bodenkultur, Institut für Alpine Naturgefahren).

Meiner Familie und meinem Freund danke ich für die große Unterstützung und vor allem Geduld. Sie standen mir stets zur Seite (vor allem auch mental) und gaben mir bei Bedarf neue Motivation.

I. Abkürzungsverzeichnis

Einheiten

%	Prozent
	Wurzel
3√	Dritte Wurzel
°C	Grad Celsius
a	Jahr
cm	Zentimeter
ft³/s	Kubikfuß pro Sekunde
h	Stunden
km	Kilometer
km²	Quadratkilometer
ln	natürlicher Logarithmus
m	Meter
m ²	Quadratmeter
m ³	Kubikmeter
m ³ /s	Kubikmeter pro Sekunde
m ³ /s*km ²	Kubikmeter pro Sekunde pro Quadratkilometer
Mio	Millionen
mm	Millimeter
mm/h	Millimeter pro Stunde
min	Minuten

Formelzeichen

wert)
V

ΔH	[m]	Höhendifferenz
Δрі	[-]	Volumengewichtsanalyse der Unterschicht – Gewicht der Fraktion i/Gewicht der ganzen Probe (LZA)
Δqi	[-]	Linienzahlanalyse der Deckschicht Anzahl Steine der Fraktion i/Anzahl Steine der ganzen Probe - Differenz- prozente der einzelnen Fraktionen (LZA)
Δt	[min,h]	Zeitintervall, Starkniederschlagsintervall (SCS-UH)
Ψ	[-]	Abflussbeiwert (Wasserabflusskoeffizient ZEMOKOST)
a	[-]	Koeffizient zur Berechnung des Torrentialitätsfaktors (Kronfellner-Kraus)
A_E	[km²]	effektive Einzugsgebietsgröße
С	[-]	Fließwiderstand (Wasserabflusskoeffizient ZEMOKOST)
С	[-]	Umrechnungskonstante (2,08 um in SI-Einheiten umzurechnen) (SCS-UH)
d	[cm]	Korndurchmesser
D	[min]	Regendauer / Dauerstufe
d ₉₀	[cm]	Durchmesser des 90-prozentigen Siebdurchgang
D _k	[min]	kritische Dauerstufe
di	[cm]	charakteristische Durchmesser der einzelnen Fraktionen (LZA)
d _{max}	[cm]	maximaler Korndurchmesser (LZA)
d _{mi}	[cm]	charakteristischer (mittlerer) Korndurchmesser (LZA)
g	[~9,81 m/s ²]	Erdbeschleunigung
$h_{\rm N}$	[mm]	Niederschlagshöhe, Gebietsniederschlag
$h_{N_{max}}$	[mm]	Niederschlagsmaximum an einem Gitterpunkt
$h_{N}(D,T_{n})$	[mm]	Bemessungsniederschlag einer bestimmten Dauerstufe mit einer bestimmten Jährlichkeit T _n

HQ	[m³/s]	Hochwasserabfluss
HQ ₅₀	[m³/s]	50-jährliches Hochwasser
HQ ₁₀₀	[m³/s]	100-jährliches Hochwasser
HQ ₁₅₀	[m³/s]	150-jährliches Hochwasser
HHQ	[m³/s]	Höchster Hochwasserabfluss
i	[mm/h]	Effektivregen / Regenintensität (Bergthaler)
i ₆₀	[mm/h]	Intensität eines Regens von 1 Stunde Dauer
Ia	[mm]	Initialabstraktion/Anfangsverlust
i _T	[mm/h]	mittlere Regenintensität der Wiederkehrperiode T
$I_{\rm w}$	[mm/Δt]	Intensität des abflusswirksamen Niederschlags pro gemessenem Berechnungsintervall ∆t
I _t	[-]	Inflow Hydrograph Ordinate zu einer Zeit t (SCS-UH)
J	[%]	Neigung des Hauptgerinneastes (Geschiebeberechnung)
J _c	[m/m]	charakteristisches/mittleres Gerinnegefälle
J_{G}	[%]	Gerinneneigung
\mathbf{J}_{f}	[%]	mittleres Schwemmkegelgefälle
\mathbf{J}_{OB}	[m/m]	Hangneigung der Geländeoberfläche
К	[-]	Torrentialitätsfaktor (Kronfellner-Kraus)
К	[-]	dimensionsloser Parameter Bergthaler
К	[-]	Modellparameter Zeller
k	[-]	Koeffizient zur Berechnung des Torrentialitätsfaktors (Kronfellner-Kraus)
L	[km]	Parameter für die Länge des Hauptgerinnes (Berechnung D_k und Bergthaler)
L _G	[m, km]	Gerinnelauflänge
L _T	[m]	Längster Fließweg jedes Teileinzugsgebietes
L _{OB}	[m]	Fließweg an der Geländeoberfläche

m	[-]	Anzahl der Ordinaten mit Niederschlag (SCS-UH)
n	[-]	Anzahl der Fraktionen (LZA), Anzahl der Einheitsganglinien-Ordinaten (SCS-UH)
N _{eff}	[mm]	effektiver Niederschlag
N _D	[mm]	Niederschlag einer bestimmten Dauerstufe
Ot	[-]	"Outflow Hydrograph Ordinate" zu einer Zeit t (SCS- UH)
p(d)	[-]	Packungsdichte (LZA)
pic	[-]	korrigierte Summenhäufigkeit der Fraktion i (LZA)
Q	[m³/s]	Abfluss
q	[m³/s/km²]	spezifische Abflussmenge
S	[mm]	maximaler Gebietsrückhalt (SCS-Verfahren)
S	[m/km]	Parameter der Neigung (Berechnung von D _k)
t	[min,h]	Zeit
t _c	[min,h]	Konzentrationszeit (time of concentration)
t _{lag}	[min,h]	Einzugsgebietsverzögerung (lag-time)
t _p	[min]	Anstiegszeit (time to peak)
T _n	[a]	Wiederkehrzeit, Jährlichkeit
t ₀	[min]	Abstraktionszeit
t _G	[min]	Laufzeit im Gerinne
t _{OB}	[min]	Laufzeit des Oberflächenabflusses
t _{tot}	[min]	totale Laufzeit
u(D)	[-]	Niederschlagshöhe bei einem ein-jährlichem Ereignis
Ui		Ordinaten der Einheitsganglinie (SCS-UH)
U _p	[-]	Abflussspitze der Einheitsganglinie (SCS-UH)
v	[m/s]	Fließgeschwindigkeit
v _G	[m/s]	Fließgeschwindigkeit im Gerinne

V _G	[m ³]	Feststofffracht Geschiebe	
V _{G150}	[m ³]	150-jährliche Feststofffracht Geschiebe	
V _{OB}	[m/s]	Fließgeschwindigkeit an der Geländeoberfläche	
$V_{\rm w}$	[m ³]	effektive Hochwasserfracht	
w(D)	[-]	Steigung der Ausgleichsgeraden	
Wortabkürzur	ngen		
Abb.		Abbildung	
AIATR		Institut für Lawinen- und Wildbachforschung	
AK		Abflussbeiwertklasse	
ArcGIS		Geographisches Informationssystem der Firma ESRI	
BFW		Bundesamt und Forschungszentrum für Wald	
BMLFUW		Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Lebensministerium)	
BUWELA		Buckelige Welt Wechselland	
BWV		Bundeswasserbauverwaltung	
bzw.		beziehungsweise	
ca.		zirka	
CN		Curve Number	
DHM		Digitales Höhenmodell	
DVWK		Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau	
EAFV		Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen	
EZG		Einzugsgebiet	
FWF		Fond zur Förderung der Wissenschaften	
GBL		Gebietsbauleitung	
GI		Geologischer Index	
GIS		Geographisches Informationssystem	

HEC-HMS	Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System
HORA	Hochwasserrisikozonierung Austria
HOWATI	Hochwasser in Tirol
LfW	Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft
LZA	Linienzahlanalyse
MaxModN	Maximierte Modellniederschläge
N-A-Modellierung	Niederschlag-Abfluss-Moddellierung
N-Lage	Nordlage
NW-Lage	Nord-West-Lage
ÖK	Österreichische Karte
OKM	Orographisch-Konvektives Modell
ÖKOSTRA	Österreichweit koordinierte Starkniederschlagsregionalisierung und Auswertung
RKL	Rauigkeitsklasse
SCS	Soil Conservation Service
SI	Système international d'unités (internationales Einheitssystem)
TIN	Triangulated Irregular Network
TB-Lage	Tiefdruck über den Britischen Inseln
TK-Lage	Tiefdruck über dem Kontinent
TR-Lage	Tiefdruckrinnenlage
UH	Unit Hydrograph (Einheitsganglinie)
Vb-Lage	Tiefdruck auf der Vb-Zugstraße
WLV	Wildbach- und Lawinenverbauung
W-Lage	Westlage
ZEMOKOST	Zeller Modifiziert nach Kohl und Stepanek

II. Schlüsselbegriffe

Kundler Ache

Grundlagenerhebung für die Gefahrenzonenplanung

ZEMOKOST

HEC-HMS

SCS-Verfahren

III. Inhaltsverzeichnis

/	Abkür	zung	sverzeichnis
11	Schlü	sselb	egriffe 10
	Inha	ltsve	rzeichnis
IV	' Kurzj	fassı	ıng 14
V	Abstr	act.	
1	Ein	leitu	ng und Zielsetzung 27
2	Bes	chre	ibung des Einzugsgebietes 29
	2.1	Lag	e des Einzugsgebietes 29
	2.2	Bet	roffene Gemeinden
	2.2	.1	Wildschönau
	2.2	.2	Kundl
	2.3	Geo	ologie
	2.3	.1	Die Schieferzone
	2.3	.2	Die Kalkgesteinszone
	2.3	.3	Die Sandstein-Zone
	2.3	.4	Quarzphyllit
	2.3	.5	Gletschermoränen und Findlingssteine
	2.3	.6	Das Unterinntal
	2.4	Вос	len und Vegetation 37
	2.5	Klin	na
	2.6	Lan	dnutzung
3	Dat	tene	rfassung 46
	3.1	Nie	derschläge 46
	3.1	.1	Die maximierten Modellniederschläge 47
	3.1	.2	ÖKOSTRA
	3.1	.3	Die Bemessungsniederschläge 48
	3.2	Lini	enzahlanalysen

	3.3	Abg	grenzung des Einzugsgebietes 5	54
	3.4	Die	seger-Daten	58
4	Nie	ders	schlag-Abfluss-Modellierung 6	50
	4.1	Da	s Modell ZEMOKOST6	51
	4.1	.1	Theoretische Grundlagen61	
	4.1	.2	Abflussbeiwertklassen in ZEMOKOST	
	4.1	.3	Oberflächenrauigkeit	
	4.1	.4	Niederschlagsinput	
	4.1	.5	Ausführung75	
	4.1	.6	Plausibilitätsprüfung	
	4.2	Da	s Modell HEC-HMS	' 9
	4.2	.1	Vorarbeiten	
	4.2	.2	SCS Curve Number	
	4.2	.3	SCS Unit Hydrograph – Das Einheitsganglinienverfahren	
	4.2	.4	Niederschlagsinput96	
	4.3	Erg	ebnisse aus der Niederschlags-Abfluss-Modellierung)1
5	Die	но	WATI-Studie10)4
6	Ber	echi	nung des HQ mit Hilfe von Abflussformeln10)6
	6.1	Abj	flussformel nach Wundt 10)6
	6.2	Abj	flussfomel nach Bergthaler10)8
	6.3	Abj	flussformel nach Hofbauer 10)9
	6.4	Abj	flussformel von Hoffmann 11	1
	6.5	Abj	flussformel nach Müller 11	.3
	6.6	Abj	flussformel nach Kürsteiner 11	4
7	Ges	schie	ebe 11	16
	7.1	For	rmel von D'Agostino und Marchi 11	.7
	7.2	For	rmel von Kronfellner-Kraus 12	20
	7.3	For	rmel von Zedlacher 12	!3
	7.4	For	rmel von Zeller	23

7.	5	Formel von Takei1	.24
7.	6	Haas I und Haas III	.24
8	Disl	kussion der Ergebnisse 1	26
9	Zus	ammenfassung1	32
9.	1	Fazit	41
10	Lite	raturverzeichnis	43
11	Abb	oildungsverzeichnis	52
12	Tab	ellenverzeichnis1	55
13	Gle	ichungsverzeichnis1	56

ANHANG

Α	Wildbachchronik	156
В	Verbauungssituation der Kundler Ache	160
С	Legende Geologie	163
D	Berechnung von D _k	
Ε	Berechnung von t _{lag}	
F	Auswertung der Linienzahlanalysen	167
G	Seger-Daten	175
Η	Erstellung einer Basin-Datei mit GeoHMS (ArcGIS)	
I	Bemessungsniederschläge	
J	abgeminderte Bemessungsniederschläge	
К	Sage aus der Wildschönau	
L	Berechnung L _{ob} und J _{ob}	
М	Abflussbeiwertklassen im Einzugsgebiet	
N	Oberflächenrauhigkeitsklassen im Einzugsgebiet	190

IV. Kurzfassung

In Österreich gibt es verschiedene öffentliche Dienststellen, die den Schutz vor Naturgefahren für Menschen und Sachgüter gewährleisten. Eine dieser Dienststellen ist die Wildbach- und Lawinenverbauung, deren Aufgabengebiet unter anderem auch die Betreuung der Wildbacheinzugsgebiete, vor allem im Gebirge, beinhaltet. Eine weitere öffentliche Dienststelle ist die Bundeswasserbauverwaltung. Sie ist hauptsächlich für die großen Flusseinzugsgebiete im flacheren Bereich (zum Beispiel Inn) verantwortlich. In den letzten Jahren kam es zu einer Kompetenzbereinigung zwischen diesen zwei Behörden. Im Zuge dessen wechselten Einzugsgebietsteile beziehungsweise ganze Einzugsgebiete ihre zuständige Stelle. Dies war auch der Fall bei der Kundler Ache. Die Kundler Ache entspringt im hinteren Talbereich der Wildschönau, durchfließt diese und durchquert die Kundler Klamm, um im Gemeindegebiet von Kundl in den Inn zu entwässern. Vor der Kompetenzbereinigung wurden der innere Talbereich der Wildschönau und all die Seitengräben der Ache von der Wildbach- und Lawinenverbauung betreut. Vom Ende der Kundler Klamm bis zur Mündung in den Inn (Ortsgebiet von Kundl) wurde das Gebiet von der Bundeswasserbauverwaltung betreut. Durch die Kompetenzbereinigung ist nun das gesamte Einzugsgebiet der Kundler Ache im Kompetenzbereich der Wildbach- und Lawinenverbauung. Aus diesem Grund wurde es nötig, für die Kundler Ache in Kundl einen neuen Gefahrenzonenplan zu erstellen. Diese Arbeit soll nun die nötigen Grundlagenerhebungen für diese Gefahrenzonenplanung erheben. Außerdem wird ein HQ₁₀₀ (bzw. auch HQ₁₅₀) berechnet, welches als Bemessungswert verwendet werden kann. Dazu wird eine Niederschlag-Abfluss-Modellierung durchgeführt. Ausgeführt wird die Berechnung mit den Modellen ZEMOKOST und HEC-HMS. Die für die Niederschlag-Abfluss-Modellierung nötigen Input-Parameter werden ebenfalls im Zuge der Arbeit ermittelt. Um weitere Vergleichswerte für ein HQ₁₀₀ zu erhalten wird außerdem mit sogenannten "hydrologischen Faustformeln" (u.a. nach Wundt) ein Wert berechnet. Anschließend werden die Ergebnisse mit den Ergebnissen aus der HOWATI (Hochwasser Tirol) Studie verglichen. Für die Abschätzung der Geschiebefracht wurden ebenfalls Formelberechnungen herangezogen (u.a. D'Agostino & Marchi). Dabei geht es jedoch nur um eine grobe Bestimmung der höchsten zu erwartenden Fracht.

V. Abstract

In Austria there are different authorities in charge of maintaining the protection from natural hazards for the people. One of them is the Torrent and Avalanche Control, which is mainly responsible for the torrent catchments. Another authority is the Federal Water Engineering Administration ("Bundeswasserbauverwaltung"). They are mainly responsible for the big river catchments in the low lands of Austria. In the last years a correction of their competence areas took place. Therefore some parts of catchments or whole catchments changed their responsible authority. This was also the case for the Kundler Ache in Kundl. Before this change, the inner valley part (Wildschönau) with all its side channels was maintained by the Torrent and Avalanche Control. The rest of the catchment (from the outlet to the end of the "Kundler Klamm") was supervised by the "Bundeswasserbauverwaltung". Now the whole catchment of the Kundler Ache is in the competence area of the Torrent and Avalanche Control. Therefore it has to be done a new hazard map for the Kundler Ache in Kundl.

The main aim of this thesis is now, to get all the necessary basic data for hazard mapping. In the process one of the most important tasks is estimating a HQ₁₀₀, a 100-year flood (and also a HQ₁₅₀) for the Kundler/Wildschönauer Ache in Kundl.

The catchment of the Kundler Ache has a size of about 86,7 km² and is situated in Western Austria, in Tyrol in the district Kufstein. The area of the catchment is belonging to two different villages, Kundl in the north and the village Wildschönau in the south. The main part of the catchment is situated in the Kitzbühler Alps, which are part of the Tyrolian greywacke zone. Thus schist is the main rock in the area. There is a special "Wildschönau-schist", which is a special soft subsection of schist. In the very south of the catchment, the geology is dominated by quartz phyllite. North of the schist zone the geology changes to sandstone. This area is dominated by bunter (red sandstone). Sometimes the bunter is under- or overlaid by limestone. Further north, separating the two villages, there is a barrier. It is made of limestone, mainly "Ramsau-dolomit". The Kundler Ache breaks through this barrier. In this area the river built a gorge, which is called the "Kundler Klamm". When the river reaches the Inn valley, it forms an alluvial fan, on which the village Kundl is built. The river crosses the village and finally it flows into the river Inn. In

the valley bottom, in the area of Kundl, there are lots of ice age and post ice age depositions.

The vegetation cover in the catchment is depending on the underlying geology or bedrock. For the limestone areas typical vegetation forms are for example pines and heather, beech trees, yew trees, hairy alpine rose and hepatica. Most of the plants that grow on limestone also grow on schistose soil. The sand stone area is not that fertile and easy dries out. Thus in this area there are not so many trees growing.

The soil cover of the catchment was provided by the Torrent and Avalanche Control in form of a part of the digital soil map of Austria (e_{bod}) . The map covers just agricultural used areas and housing area. Therefore a big part of the catchment is not covered by this map. The main soil-types in the mapped area are Rendzinas, Rankers, Gleysols, Brown Earths, "Auboden" and "Ortsboden".

The climate of the area is mainly defined by the location of the catchment. It is situated in between the limestone Alps and the central Alps. The high mountains south of the valley build some kind of wall against winds from this direction. The northern limestone Alps do not reach the same heights as they do more western. They also lose their chain form and there are gaps and valleys in between the mountains. Thus the catchment is not protected from winds coming from the north. Between summer and winter there are strong variations in temperature. The winter in Tyrol is with low precipitation and there is a lot of radiation. In spring the "cold reservoirs" dissolve step by step and the temperature again decreases normally with height. The valley bottoms warm up. In summer it is quite warm in the Wildschönau area. In autumn cold air masses reform in the valley bottom and in the higher altitude areas it gets warmer (inversion). Because of the surrounding mountains the catchment is protected from very high precipitations. The mean annual sums of precipitation are between 928 and 1530 millimeters. Most of this rainfall takes place in February and March. The precipitation maximum is reached in summer, as everywhere in Austria. The main thunderstorm events are caused by the weather conditions TR ("Tiefdruckinnenlage") and TB (low pressure over the British Islands).

The land use and the land cover of an area is very important its hydrologic cycle and therefore also for the estimation of the flood peak. Land cover and land use mainly influence interception, evapotranspiration and infiltration capacity of the soil. Land use in the Wildschönau area is very wide. There is a lot of agriculture and transhumance. Therefore we find a lot of green areas in the catchment. Another big part is the forest areas. The catchment reaches to an altitude of 2300 meters, so it contains also subalpine areas. The villages, the areas of settlement and the circulation area are situated mainly in the valley bottoms and in the lower area of the river (Kundl). Tourism also plays an important role in the Wildschönau. Therefore you can also find ski areas in the catchment.

In the beginning it is important to get all the necessary data for running the precipitationrunoff models. The most important input is the precipitation. In Austria, the hydrographical different kinds of data. The "MaxMod" ("Maximierte service offers three Modellniederschläge"), the "ÖKOSTRA" ("Österreichweit koordinierte Starkniederschlagsregionalisierung und Auswertung") and the "Bemessungsniederschläge" (design depth of precipitation). All these precipitation values are available for throughout Austria in a grid with 6 times 6 kilometers. The values of "MaxMod" are probably overestimated and the values of "ÖKOSTRA" underestimated. The "Bemessungsniederschläge" are lying in between them. For precipitation-runoff-simulations the hydrographical service of Austria therefore recommends the use of these "Bemessungsniederschläge".

The precipitation depth of the "Bemessungsniederschläge" is defined as

$$h_N(D,T_n) = u(D) + w(D) * \ln T_n$$

 T_n is the return period and u(D) and w(D) are variables. D is the duration of rainfall.

The data for the "Bemessungsniederschläge" for the catchment is available in the internetportal e_{hyd} (http://ehyd.gv.at/). It can be downloaded for free in form of ascii or pdf files. For the catchment seven of these raster elements are needed.

The next step in data collection was doing a line-by-number analysis. The analyses were made on 12 locations alongside the main channel. The main purpose was to get a

representative grain roughness for each part of the catchment. In this thesis the method after Fehr was chosen. For this technique one needs a line that is stretched in flow direction. Then all the stones lying under this line with a diameter greater than 1 to 2 centimeters are measured. Depending on their b-axis diameter they are categorized into different fractions. One has to measure at least 150 stones per location that it is representative. You can find an example of an evaluation form in the appendix in chapter F. The result of the evaluation is a partial grading curve, which only considers the coarse components. Thus as a next step one has to add the finer components with the help of formulas and the consolidation with a fuller curve.

The next task is the delimitation of the catchment boundaries. For this process the program ArcGIS 9.3 with its extensions ArcHydroTools and GeoHMS was used. The aim was to define sub-basins for the model ZEMOKOST. For the model HEC-HMS there were even possibilities for further preparation with these extensions. The base data for this task were 25 ascii-files, provided by the Torrent and Avalanche Control Wörgl. With the help of the program ArcGIS those raster files were put together to one raster. The raster was delivered with a resolution of 1 m times 1 m. For the calculation of sub-basins it is also acceptable to have a resolution of 5 m times 5 m. Furthermore it is easier for the program to calculate and therefore faster. Thus the resolution was decreased. To eliminate the NoData values, the raster was converted into a TIN and re-converted into a raster with the help of the extension 3D-Analyst. The result is a digital elevation model. Next it can be continued with the extension ArcHydroTools. The next step is to develop a catchment and in the end several sub-basins out of the digital elevation model. The program put out too many subbasins, so they were merged with the help of the extension GeoHMS. The final result of the calculations and editing with the ArcGIS extensions were 35 sub-basins. In chapter 3.3 you can find a list of these sub-basins with their areal part of the whole catchment. For the program ZEMOKOST, this is the input. For also using it as input for HEC-HMS the data has to be processed further. It is necessary to create a *.basin-file that can be read by the program HEC-HMS. This also happens with the extension GeoHMS.

Next important to know is, how much of the falling precipitation runs off directly on the surface or into the soil. As mentioned before, hydrological processes depend mainly on land use and land cover. This information for the catchment was taken out of the so called

Seger-data. The data was provided from the Torrent and Avalanche Control Wörgl. Segerdata is based on a real space analysis of the whole area of Austria. The project was done from a working group around Professor Martin Seger on the Institute of Geography and Regional Science of University of Klagenfurt. They developed land use and land surface classes in digital form (spatial thematic datasets) for the whole area of Austria. Mainly one can identify five classes of land use: Settlement area, agricultural area, forests, subalpinealpine area and other areas. With the help of this input dataset, one can define the surface roughness and the runoff coefficient for the catchment. Thanks to an evaluating excel-file developed by Matthias Kerschbaumer (WLV Schwaz) and Stefan Hesse (WLV Zell am See) this process was simplified a little.

All the data for the precipitation runoff modeling was collected, so the next step was the modeling part. Generally precipitation-runoff models are based on catchment characteristics and a precipitation input. This input is transformed and one gets as an output a resulting hydrograph. In this thesis the models ZEMOKOST and HEC-HMS were chosen.

First we come to the model ZEMOKOST. The model is based on the work of Jürg Zeller 1974. The model works with the "runtime-method". It says that a catchment reaches the peak discharge if the precipitation duration is corresponding to the total run time and if the rain has the maximal intensity at this time. The total run time is the time that an imaginary rain drop needs from the drainage divide to the observed point. ZEMOKOST was developed in collaboration of the BFW and the WLV. They modified the original runtime-method of Zeller into a computer based model. The model is programmed into a Microsoft Excel document and is so easy to use for everybody. The latest version of the model is available on request from Bernhard Kohl.

One of the necessary inputs for ZEMOKOST is the run-off coefficient for each subcatchment. According to Markart et al 2004 there are seven different classes of run-off coefficients. Area with no surface discharge would be class zero. In class one a maximum of 10 percent of the precipitation runs off on the surface. If the soil is for example mechanically stressed, the discharge potential rises and it is class three. Class four and five are areas like ski pistes, which are highly mechanically stressed. If nearly all of precipitation runs off on the surface it is class six. Another important input is the surface roughness to estimate flow velocity on the surface. Depending on surface- and vegetation types one can define six roughness classes (from smooth to rough) (see the following figure).



The most important input for the model is precipitation data. As explained before, precipitation was used in form of the "Bemessungsniederschläge". Based on the grid files out of the internet portal e_{hyd} the data was weighted in terms of surface area for the whole catchment. The precipitation input in ZEMOKOST is so called block rainfall (see figure to the right).



For modeling the discharge in the catchment, three precipitation scenarios were chosen. First we come to scenario one. Here is the assumption homogenous precipitation over the entire catchment area. The main reason for this choice is that there is often observed floods in small catchments after short duration convective rain. It could be also possible, that this convective thunderstorm cell reaches the size of the catchment. Scenario two assumes a thunderstorm cell in the inner valley. Thus only a few sub-basins are over-rained. This scenario should simulate a short duration high intensity heat thunderstorm, which is frequently in this region in summer. In scenario three the center of precipitation is also in the inner valley. Anyhow it is assumed that the whole catchment is over-rained. The distance of each sub-catchment to the center of rain is measured and with the program ZEMOKOST the precipitation is reduced according to this distance.

Beside precipitation, another important input for ZEMOKOST is the data for the subbasins. Important are the parameters for discharge on the land surface outside the channel and the parameters for discharge in the channel. The next step is to fill in the pre-defined runoff coefficient classes and the surface roughness classes for each sub-basin. After putting in all this information, one can simulate at each junction of the hydrologic system precipitation events. The result is hydrographs, peak flows and volumes for the concerned sub-basins.

As a second model HEC-HMS was chosen. It was developed by the Hydrologic Engineering Center (USA) and can be downloaded for free on the homepage of the U.S. Army Corps of Engineers – Institute of Water Resources – Hydrologic Engineering Center. The program was developed to simulate runoff-precipitation processes in catchments. The output of the model is hydrographs and volumes. The catchment is represented in form of a *.basin-file. This file can be developed with the help of ArcGis with the extension GeoHMS. To put it simply, the basin-file is the hydrologic network of the catchment with all its intersections, outlets and sources. To take into account the infiltration and land cover characteristics in general, the SCS Curve Number method was chosen. This technique also originates in the USA. It was developed in the 1950s. The method is particularly suitable for catchments with few or no runoff and precipitation measurements. With the help of the CN (Curve Number) value and the precipitation data one can calculate the discharge. The CN-value contains information about the maximum storage capacity of the soil, the soil type (Hydrologic Soil Groups), land use and prior soil moisture content. It can have a value from 0 to 100.

This CN-value was calculated for each sub-catchment. This happened with the following approach. First of all one has to decide the soil moisture class of the catchment. The DVWK recommends the use of class II for assessment tasks. Class II represents more than average but not too high soil moisture content. Thus class II was chosen. The factor soil type is integrated in the CN-value with the help of four Hydrologic Soil Groups (A to D). Mainly they all have different infiltration capacities and discharge characteristics. The

DVWK provides a list of soil types that especially fits with middle European circumstances. Next to know is, which land use exists in the catchment. Also here the DVWK offers an adjusted list for middle Europe.

To take into account the loosely cultivated areas the category "Wirtschaftshöfe" of Maniak (2010) was added to the list. To get the input for the land use, the before mentioned Segerdata was simplified and transformed into the classes recommended from the DVWK. To get the different Hydrological Soil Types the soil type card out of e_{BOD} and the geology of the catchment were combined. If all this data is combined, the result is a mean CN-value for each sub-basin that can be used as input for the model HEC-HMS.

The precipitation input is also for HEC-HMS the "Bemessungsniederschläge". In this case they have to be reduced manually (with the help of an excel file). In ZEMOKOST it is only possible to calculate with block rain. The model HEC-HMS can also calculate with the so called "DVWK-rain". In this case one assumes that in the first 30 % of precipitation duration it rains 20 % of the whole precipitation. In the following 20 % of duration one assumes 50 % of whole rainfall and in the last 50 % of rainfall duration 30 % of the total precipitation value are expected. The DVWK recommends this kind of precipitation input for assessment calculations because it represents a "very unfavorable hydrologic condition". Therefore beside the block rain, the "DVWK-rain" is also used to calculate hydrographs with the model HEC-HMS, so that the two different outcomes resulting from the two different precipitation inputs can be compared in the end.

With the model ZEMOKOST with strong reduction over the whole catchment (scenario 1) one reaches a HQ₁₀₀ of 152 m³/s with a discharge volume of 1.600.000 m³. The model ZEMOKOST automatically puts in a rainfall duration, so that discharge is the highest possible. For the model HEC-HMS one has to determine this rainfall duration before modeling. To get the critical rainfall duration for a catchment, Skoda and Lorenz (2000) recommend some calculations. Out of this calculations, a critical rainfall duration of 118 min resulted. So the rainfall duration in the model HEC-HMS was put to 120 min. Then the result with the model HEC-HMS for a HQ₁₀₀ (also calculated with block rain) is 205 m³/s with a discharge volume of 1.781.900 m³. If we take into account a rainfall duration of 90 min) 185 m³/s with a volume of 1.500.000 m³.

To get a comparison to the results of the discharge-runoff modeling, the value of the HOWATI-survey was taken into account. The HOWATI-survey was done by the Hydrographic Service of Tyrol and the Torrent and Avalanche Control of Tyrol. The main aim of the study was to harmonize the design floods in Austria. This is necessary, because the authorities have different approaches for calculating design floods. Thus there are sometimes a lot of different results. In the beginning of the project, ten leading catchments in Tyrol were chosen. In those catchments all the relevant hydrologic data was collected and the design flood was calculated with the model ZEMOKOST and the statistical approach Monte Carlo. The results of this simulation were afterwards enlarged to whole Tyrol. The so calculated value for the Kundler Ache is 135 m³/s for a HQ₁₀₀.

To have more opportunity for comparison, the discharge was also calculated with hydrologic "rules of thumb". First of all there is the calculation after Wundt. It is also calculated with the formulas of Hofbauer, Müller, Kürsteiner, Hoffmann and Bergthaler. Here you can see the summarized results.



Beside the discharge of pure water, also the bed load is determining. Small steep torrent catchments have a high variation in water level. In the upper steeper part of the torrents there is a lot of erosion and transport capacity. So the torrents are normally cleared out regularly. Sometimes it comes to a low water table and so the material is left behind. If

there is a strong precipitation event, a lot of new material comes into the torrent and so transport capacity increases a lot. Thus all the deposited material is carried away. That means that high precipitation and peak flows can cause suddenly huge bed load transport. The main goal is therefore to estimate these extreme volumes.

In general it is very difficult to estimate bed load transport. Bed load is moving too discontinuous and always by shoves. The main influences on bed load transport are the size and length of the catchment, height difference between water divide and outlet of the catchment and the inclination and length of the slopes. To calculate bed load transport in this thesis, regional empirical-statistical formulas are chosen.

First of all there are the formulas of D'Agostino & Marchi. The formulas are mainly based on a special Geological Index. It defines the erodibility of the stones in the river bed. Another important formula is offered by Kronfellner-Kraus. He uses also a special factor, the "Torrentialitätsfaktor K". It is a parameter, which is influenced by the control structures of the torrent, soil conservation and catchment size. Also used are the formulas of Zeller, the formula of Zedlacher and the formula of Takei. The formulas Haas I and Haas III are additionally used in practice in the WLV Wörgl. The results of the calculation are the following:



To validate a model, a good strategy is to choose the same or similar input parameters. Therefore it was put as much as possible the same input for the model ZEMOKOST and HEC-HMS. The basement for the models is the same (e.g. sub-basins, hydrologic network, flow lengths, slopes of the sub-basins and rivers). Nevertheless there is a lot of different input data for each model. This you can see also in getting little different results. Two parameters, which are just calculated for ZEMOKOST are L_{OB} (flow length on the land surface) and J_{OB} (slope of the land surface). One parameter only needed by HEC-HMS is t_{lag} , the lag-time. There is also a different input for precipitation data. For the model HEC-HMS the precipitation data has to be reduced manually before calculating.

In general one can say for scenario 1, that the precipitation-discharge-models are with their results a little apart from each other. For assessment one should take into account the highest possible discharge. In that case, the model HEC-HMS offers even higher discharge values. With rainfall duration of 200 min one reaches a value of 220 m³/s. If the results of HEC-HMS are compared to ZEMOKOST, the most plausible results are the ones resulting from rainfall duration 90 min. For scenario 2 the results of the models are nearly the same (with rainfall duration of 90 min for HEC-HMS). From this result one can imply that a short duration, high intensity, but small-scale thunder shower cannot cause peak discharges that are dangerous for the outlet. Scenario 3 offers an obviously higher result than in scenario 1. With this calculation ZEMOKOST reaches with rainfall duration of 70 min a value which is similar to the result of HEC-HMS with rainfall duration of 120 min. Thus, the value out of HEC-HMS is a little more plausible.

Most determining is the different input for the catchment characteristics. ZEMOKOST uses run-off coefficient- and roughness classes. The input data is clear defined and it is comprehensible, how the data is processed. For the model HEC-HMS it is necessary to estimate a CN-value for each sub-basin. This CN-value consists of so much different input data. Furthermore it is not clear, if the solution to estimate the Hydrologic Soil Groups was appropriate. In general the CN-values are strongly subjective influenced and therefore they can vary a lot. The CN-value also has some influence in calculating the lag-time, which is a very important parameter for the model HEC-HMS. Thus it can happen that there are high variations in the output. In the opinion of the author this could be a reason to question the results of the model HEC-HMS. The model ZEMOKOST on the other hand links

unfavorable conditions and combinations (e.g. extreme precipitation, central rain center, unfavorable run-off coefficient). But even though ZEMOKOST uses unfavorable conditions, the input is still realistic. With the "Bemessungsniederschläge" the precipitation input is quite moderate. Also the run-off coefficient represents an unfavorable, but still realistic scenario. For all that reasons it is more acceptable in ZEMOKOST to transfer the annuality directly from precipitation data to discharge event. Since the output of the two models is quite different, a comparison to other values gets even more important.

In the case of a comparison with the HOWATI-value, the result out of the model ZEMOKOST seems to be quite plausible (with only 11 % over the HOWATI-value). In general it is possible, that the HOWATI-value represents the lower limit of the expected floods. The comparison with the data of the Hydrographical Service Tyrol makes the result of the model ZEMOKOST even more plausible. If the data is compared to the hydrologic formulas, one can say, that Wundt and Kürsteiner are representing a plausible upper limit for the expected floods. Also the model HEC-HMS with its 120 min rain duration result is located in this area. According to the opinion of the author Hofbauer overestimates the discharge unrealistically. Hoffmann on the contrary underestimates in the opinion of the author the discharge. Müller offers a result, which lies in between the value of ZEMOKOST and HEC-HMS. The result of the calculation after Bergthaler corresponds to the result of ZEMOKOST. Since the formula of Bergthaler originates in the area of the catchment, it has the highest plausibility of all formulas. Altogether the results offer different values. After discussions with the Torrent and Avalanche Control Wörgl, one comes to the conclusion that in the thesis there is no "real" end value for a HQ₁₀₀ offered, but rather a range of possible design floods. The thesis offers a comparison of different results and therefore a range. In the opinion of the author, the possible value for a HQ_{100} lies in between the HOWATI-value (lower limit) and the results of the formula of Wundt or HEC-HMS (D=120) (upper limit). The result of the model ZEMOKOST with its 152 m³/s for a HQ₁₀₀ seems to be quite suitable to represent a design flood. Concerning the estimation of the bedload transport, there are also different results. Mainly the results vary between 100.000 and 200.000 m³. This result has to be seen as an upper limit for the maximum expected bed load transport.

1 Einleitung und Zielsetzung

Der Kulturraum in Österreich entwickelt sich ständig weiter. Durch die zunehmende Ausweitung der Siedlungsgebiete gerät der Mensch in seiner Entwicklung immer mehr in Konfrontation mit den Naturgewalten wie Wildbächen, Muren, Lawinen und Hochwässern. Um die Gefahr für betroffene Menschen und Gebäude so gering wie möglich zu halten, gibt es diverse öffentliche Dienststellen, wie zum Beispiel die Wildbach- und Lawinenverbauung, die mit ihrer Arbeit für diese Sicherheit sorgen. Mit der Gefahrenzonierung weisen sie gefährdete, bzw. unbewohnbare Gebiete aus und bieten somit auch eine Basis für die Raumordnung der Gemeinden, damit den dort lebenden Bürgern der bestmögliche Schutz zukommt. Gerade auch weil die Einteilung der Gefahrenzonen in die Raumordnungsprozess mit einfließt, ist es wichtig, dass bei Bedarf angemessene Daten verfügbar sind. Ein Problem stellt dabei die "Barriere" zwischen den verschiedenen Dienststellen dar. So fallen die Flüsse in den Kompetenzbereich der Bundeswasserbauverwaltung und die Wildbäche, beziehungsweise wildbachartigen Flüsse und Achen in den Kompetenzbereich der Wildbach- und Lawinenverbauung. Außerdem sind die Gefahrenzonenpläne oftmals veraltet und nicht digital verfügbar. Um diesem Fakt entgegenzuwirken, wurden der Abbau von Barrieren und eine bessere Abstimmung zwischen den Behörden beschlossen. Dies gewährleistet auf Dauer eine bessere Zusammenarbeit von WLV und BWV und die Gefahrenzonenplanung wird somit harmonisiert. Dies geschah in Form einer Kompetenzbereinigung. Dabei wurden Bäche oder Bachbereiche, die vorher in Kompetenzbereich der BWV lagen, in den Wirkungsbereich der WLV übertragen, da sie eher einen Wildbachcharakter aufweisen, oder auch umgekehrt. In vielen Gebieten gab es auch einfach eine Verschiebung der Kompetenzgrenze. Dies war auch der Fall in Tirol, genauer in Kundl. Die Kundler Ache entwässert ein Einzugsgebiet von 86,7 km². Sie entspringt im hinteren Bereich des Hochtales der Wildschönau und erreicht nach Durchquerung der Kundler Klamm schließlich das Ortsgebiet von Kundl, welches sie durchfließt und schließlich auf der orographisch rechten Inntalseite in den Inn mündet. Bis vor wenigen Jahren lag nur ein Teil des Einzugsgebietes im Kompetenzbereich der Wildbachverbauung. Der Bereich umfasste das Gemeindegebiet der Wildschönau einschließlich der dortigen Seitengräben und hatte eine Größe von zirka 73 km². Das Gebiet von der Innmündung bis zum oberen Ende Kundler Klamm befand sich Kompetenzbereich der im der Bundeswasserbauverwaltung. Durch die Kompetenzbereinigung ist nun der Bereich von der Innmündung bis zum Ende der Kundler Klamm in den Wirkungsbereich der Wildbachund Lawinenverbauung übergegangen. Dadurch wurde es notwendig für die Kundler Ache einen neuen Gefahrenzonenplan für das Ortsgebiet von Kundl zu erstellen. Außerdem ist der Gefahrenzonenplan von der Kundler Ache in der Wildschönau auch aus dem Jahr 1973 und somit recht in die Jahre gekommen.

Das Ziel dieser Arbeit ist es nun, die Grundlagen für diese Gefahrenzonenplanung zu erheben. Vorrangig geht es um die Ermittlung eines Bemessungserwartungswertes für ein HQ₁₀₀ beziehungsweise HQ₁₅₀ für die Kundler Ache in Kundl. Das Ergebnis kann des Weiteren als Datengrundlage zur Erstellung eines Gefahrenzonenplanes dienen. Dazu müssen als Erstes alle nötigen Gebietsparameter/-charakteristika ermittelt werden. Da im Einzugsgebiet keine Pegelmessungen stattfinden, wird die Bestimmung des Hochwasserabfluss unter anderem durch eine Niederschlag-Abfluss-Modellierung mit zwei unterschiedlichen Modellen durchgeführt. Die Wahl fiel dabei auf die Programme ZEMOKOST und HEC-HMS. Der Input für die Modelle wird ebenfalls im Zuge der Arbeit erhoben. Um weitere Vergleichswerte zu erhalten, werden auch Berechnungen mit den gängigen hydrologischen "Faustformeln" gemacht. Alle Ergebnisse werden anschließend mit bereits vorliegenden Hochwasserwerten (HOWATI, Hydrographischer Dienst) für die Kundler Ache verglichen. Außerdem wird die höchste zu erwartende Geschiebefracht mit der Hilfe von gängigen Formelberechnungen abgeschätzt. Dabei geht es nur um eine grobe Bestimmung des zu erwartenden oberen Grenzwertes der Geschiebefracht.

In Kapitel 2 wird eine Beschreibung des Einzugsgebietes angeboten. Es werden dabei die Lage, die Geologie, die Boden- und Vegetationsverhältnisse, das Klima und die Landnutzung des Einzugsgebietes behandelt. Im folgenden Kapitel 3 Datenerfassung, geht es um die Erhebung der nötigen Daten beziehungsweise Inputs für die Niederschlag-Abfluss-Modellierung. Ein wichtiger Input ist der Niederschlag. In Kapitel 3.1 wird darauf eingegangen, welche Niederschlagsdaten verwendet werden und wie diese für die Modellierung aufbereitet werden müssen. In Kapitel 3.2 wird als nächstes die Durchführung der Linienzahlanalyse im Feld und deren Auswertung beschrieben.

Im Kapitel 4 Niederschlag-Abfluss-Modellierung wird auf die Berechnung mit ZEMOKOST und HEC-HMS eingegangen. Die Programme werden kurz beschrieben und auf ihre Rechenweise eingegangen. Des weiteren wird die Eingabe der Parameter beschrieben und wie, beziehungsweise aus welchen Daten man diese ermittelt. Um für die Ergebnisse aus der Niederschlag-Abfluss-Modellierung Vergleichswerte zu erhalten, werden im anschließenden Kapitel 6 wie bereits erwähnt Formelberechnungen durchgeführt. Dies geschieht nach Wundt, Müller, Bergthaler, Kürsteiner, Hoffmann und Hofbauer. Einen weiteren Vergleichswert bietet die Studie Hochwasser Tirol (HOWATI), die in Kapitel 5 beschrieben wird. Außerdem wird in Kapitel 7 noch die höchste zu erwartende Geschiebefracht der Kundler Ache abgeschätzt. Dies geschieht mit Formelberechnungen nach Kronfellner-Kraus, D'Agostino & Marchi, Zedlacher, Zeller, Takei und Haas. Am Ende der Arbeit findet sich noch eine Diskussion der Ergebnisse.

2 Beschreibung des Einzugsgebietes

2.1 Lage des Einzugsgebietes

Das Einzugsgebiet befindet sich im westlichen Österreich, in Tirol. Dort ist es im östlichen Unterinntal gelegen. Das Gebiet gehört dem Bezirk Kufstein an. Die Wildschönauer/Kundler Ache entspringt im hinteren Wildschönau-Tal und mündet in Kundl in den Inn (siehe Abb. 1 und Abb. 2).



edia und eigene Grafik)



Abb. 2 Lage des Einzugsgebietes (Quelle: Eigene Grafik über einer ÖK 50 der WLV-GBL Wörgl)

2.2 Betroffene Gemeinden

2.2.1 Wildschönau

Die Gemeinde Wildschönau befindet sich in Tirol im Bezirk Kufstein und dehnt sich auf eine Fläche von 97,4 km² aus. Die Wildschönau befindet sich innerhalb eines 24 km langen Hochtals in den Kitzbühler Alpen und setzt sich aus den Dörfern Niederau, Oberau/Mühltal, Auffach und Thierbach zusammen. Sie hat laut Stand vom 4. März 2011 4150 Einwohner und gehört zum Bezirk Kufstein (http://www.wildschoenau-.tirol.gv.at/system/web/fakten.aspx?menuonr=218980827).



Abb. 3: Wappen der Gemeinde Wildschönau (Quelle: http://tirolatlas-.uibk.ac.at)

2.2.2 Kundl

Die zweite vom Einzugsgebiet betroffene Gemeinde Kundl, befindet sich ebenfalls im Bezirk Kufstein. Kundl grenzt nördlich an die Wildschönau und befindet sich somit im unteren Inntal. Sie hat eine Fläche von 21.9 km² und liegt auf einer Höhe von 526 m (http://oeaabkundl.at/gemeinde%20statistik.htm). Die Gemeinde liegt auf dem Schuttkegel der Kundler Ache. Laut der Volkszählung 2001 hat Kundl 3.719 Einwohner (www.kundl.gv.at).



Abb. 4 Wappen der Gemeinde Kundl (Quelle: http://tirolatlas.uibk.ac.at)

2.3 Geologie

Das Einzugsgebiet der Wildschönauer Ache gehört, wie bereits erwähnt, zum Großteil zu den Kitzbühler Alpen, die sich von Zell am See bis ins Zillertal erstrecken (Mayr 1993). Sie sind Teil der Nordtiroler Grauwackenzone, die sich zwischen den nördlichen Kalkalpen und den Zentralalpen befindet. Im Norden bildet das Inntal die geologische Grenze. Im Süden die Linie vom Oberpinzgau bis Gerlos. Gegen Süden steigen die Gipfelhöhen im Einzugsgebiet stetig an. In West-Ostrichtung sinken die Höhen der Gipfel ab (Jung, 1939).

2.3.1 Die Schieferzone

Der sogenannte "Wildschönauer Schiefer" (der Name stammt von Dr. Adolf Pichler), eine spezielle weiche Unterart des Schiefers, bildet den Hauptanteil am Gestein im Einzugsgebiet (Mayr, 1993). Dieser Schiefer hat seine größte Mächtigkeit in der Wildschönau. Diese Schiefer treten vor allem im Süden auf beiden Seiten des Tales auf. Auf der orographisch linken Talseite reichen sie bis zum Weißenbach und zum Teil in den Kessel von Thierbach. Dort werden sie aber meistens von anderen Materialien überlagert. Auf der orographisch rechten Talseite ziehen sich die "Wildschönauer Schiefer" bis Oberau und treten in kleineren Vorkommen auch am Hang gegen das Kragenjoch auf (Jung, 1939). Die Farbe des Gesteins ist meist graugrünblau. Das Material ist wasserundurchlässiger Tonschiefer, der vielfach interessant gefältelt und geblättert ist (Mayr, 1993). Die Weichheit des Gesteins bestimmt das Landschaftsbild. Dadurch dass das

Gestein leicht verwittert, gibt es an den Hängen nur wenige scharfe Formen und sie sind in einen Schuttmantel gehüllt (Jung, 1939). Die Schieferzone schließt sich im Süden an die Kalk- und Sandsteinzone an und vermischt sich teilweise auch an den Grenzen mit diesen (Mayr, 1993).

2.3.2 Die Kalkgesteinszone

Entlang der orographisch rechten Inntalseite und der nördlichen Gemeindegrenze der Wildschönau, bzw. der südlichen Gemeindegrenze von Kundl, erstreckt sich von Brixlegg bis Wörgl die erwähnte Kalkbarriere. Sie besteht vorwiegend aus Wettersteinkalk oder Ramsaudolomit (Jung, 1939). Ramsaudolomit ist ein stark brüchiges Gestein und verwittert sehr leicht. Somit haben die Bäche entlang der Kalkbarriere bereits tiefe Runsen in den Körper der waldigen Bergrücken eingeschnitten. Ein Beispiel dafür wäre die Kundler Klamm. Diese Einschnitte führten zu einem mächtigen Vorbau von Schwemmkegeln in das Inntal. Durch die leichte Erodierbarkeit des Gesteines befinden sich generell große und mächtige Hangschuttkörper am Fuß der Berge. An einigen Orten kann unter dem Ramsaudolomit alpiner Muschelkalk gefunden werden. Solche Orte wären zum Beispiel das obere Ende der Kundler Klamm und die Wildschönau (Bachmann, 1968).

Einer Sage zufolge (diese findet sich im Anhang unter K) gab es nach der letzten Eiszeit im hinteren Talbereich einen See. Als sich der Bach allmählich durch die Kalksteinbarriere gefressen hatte, entstand die Kundler Klamm und der See fing an, sich Richtung Kundl zu entleeren. Die daraus resultierenden Talbodenterassen kann man noch heute gut in der Geologie erkennen (Bachmann, 1968). Beispiele für solche Terrassen finden sich bei Salcher, Bernau, Schrattenthal, Roggenboden und Bichling (Reitner, 2006/2007).

Das hellgraue Kalkgestein lässt schroffe, zerrissene Formen entstehen, an denen sich nur spärliche Vegetation hält. Der Kalkstein ist wie bereits erwähnt sehr brüchig und kann deshalb auch riesige Bergstürze bilden. Aus den fast senkrechten Wänden lösen sich durch Risse oder Unterwaschungen leicht große Felstrümmer ab. Die Gipfel und Abhänge im Norden des Einzugsgebietes zeigen wegen ihrer relativ geringen Höhen (1100-1400 m) keine dieser scharfen Formen und zeigen sich aus dem Inntal gesehen als sanftere Hänge.

Der Boden ist jedoch unfruchtbar. Dadurch gibt es in diesem Gebiet fast keine Siedlungen (Jung, 1939).

2.3.3 Die Sandstein-Zone

Der Rote Sandstein oder auch Buntsandstein ist die dritthäufigste Gesteinsart im Einzugsgebiet (Jung, 1939). Die Sandsteinzone befindet sich zwischen dem Kalkgestein, das sich vorwiegend im Norden befindet und dem "Wildschönauer Schiefer", der im Süden vorherrscht. Oftmals wird der Sandstein auch von diesem über- oder untergelagert (Mayr, 1993). Der Sandstein reicht vom Osthang des Gratlspitz über Kienzenstatt bis zur Ache hinunter und auf der anderen Talseite über den Südhang des Kragenjochs in Richtung Osten (Jung, 1939). Besonders gut erkennen kann man die Zone auf der Wildschönauer Seite der Kundler Klamm, wo es in der Nähe der Niederacherhöfe an der Straße Anrisse gibt. Die Gesteine dieser Zone haben Farben von rot bis violett und eine sehr unterschiedliche Härte und Bankung (Mayr, 1993). Durch die stellenweise starke Toneinlagerung gibt es in dieser Zone einen sehr fruchtbaren Boden und an manchen Stellen wird durch den Sandstein die Sumpfbildung gefördert (Jung, 1939).

2.3.4 Quarzphyllit

Im Süden des Einzugsgebietes herrscht der Quarzphyllit vor. Er bildet den Zug vom Siedeljoch bis Sonnjoch bis hin zum Großen Beil und auf der östlichen Talseite findet er sich an einigen Stellen in der Nähe des Turmkogels (Jung, 1939). Die höheren Berge südlich von Auffach bestehen zum größten Teil aus Quarzphyllit mit Augengneis (Mayr, 1993). Dennoch ist der Quarzphyllit nicht scharf gegen die im Norden angrenzenden "Wildschönauer Schiefer" abzugrenzen (Jung, 1939).

2.3.5 Gletschermoränen und Findlingssteine

Überall in der Wildschönau sind noch Moränenhügel und Moränenwälle erhalten geblieben. Diese sind mittlerweile bewachsen. Sie verleihen der Wildschönau ihr "sanftes"

Aussehen. An einigen Stellen kann man die großen Schotteransammlungen in Form von Rutschungen, Abschwemmungen oder aufgrund von Schotterentnahme erkennen. Es gibt zum Beispiel einen gewaltigen Schotterabbruch oberhalb des Sauluegerweges in Thierbach, die "Lehenlahn" (Jung, 1939). Im Bereich Saulueg lagern auch auf dem Ramsau-Dolomit Moränen (GZP, 1973).

2.3.6 Das Unterinntal

Auf der Talsohle des Unterinntales im Bereich von Kundl befinden sich viele Ablagerungen. Dabei handelt es sich vor allem um eiszeitliche und nacheiszeitliche Schuttbildungen verschiedener Art (Bachmann, 1968). Die Inntalsohle ist dabei vor allem mit rißwürm-interglazialen Terrassenschottern aufgefüllt, auf denen die geringmächtigen Flussalluvionen des Inn liegen. Im Umland münden sechs klammartig eingeschnittene Wildbäche von Süden in das Inntal. Diesen Wildbächen sind rezente Schuttbildungen, beziehungsweise Schwemmkegel vorgelagert. Diese reichen aber in keinem Fall bis zum Inn. Die Schwemmkegel enthalten jeweils das erodierte Material der zugehörigen Einzugsgebiete. Am weitesten vorgedrungen ist dabei der Schwemmkegel der Kundler Ache, der bis zur Bahnlinie reicht. Er weist ein Maximalgefälle von 3 % auf und hat eine Fläche von ungefähr 3 km² (GZP, 1973).

Folgend zeigt Abb. 5 eine Karte der Geologie im Einzugsgebiet. Da die Legende zur Karte sehr umfangreich ist, findet sich diese im Anhang unter C.



Abb. 5 Geologische Karte des Einzugsgebietes der Kundler Ache (Quelle: bearbeitet nach GBA Online, http://www.geologie.ac.at/)
2.4 Boden und Vegetation

Die Vegetationsbedeckung kann durch den geologischen Untergrund eingeteilt werden. Die typische Vegetation in der Kalkgesteinszone besteht aus Föhren mit Erika-Unterwuchs, Buchen, Eiben, Mehlbeerbaum, behaarter Alpenrose, Tollkirschen, Einbeeren, Felsenbirne, Felsenlilie, gelber Fingerhut, Türkenbundlilie, Leberblümchen und es gibt auch ein größeres Vorkommen von Enzianarten und Alpenorchideen. Die meisten dieser Pflanzen wachsen auch auf Schieferböden. In der roten Sandsteinzone gibt es nur sehr wenig Baumbewuchs, da die roterdigen Böden nicht sehr fruchtbar sind und leicht austrocknen. Die Schieferzone ist gekennzeichnet durch ihre "Grasberge". Es gibt dort einen bis auf den Gipfel geschlossenen Bewuchs. Außerdem weist die Zone einen dichten Bewuchs mit Fichtenwald mit einzelnen Lärchen auf. Die Waldgrenze verläuft dort etwa auf 1750 m. Es gibt in der Schieferzone ein massenhaftes Vorkommen der Alpenrose über der Waldregion. Auch Arnika und die bärtige Glockenblume kommen vor. Auch die die Heidelbeere und die Alpenazalee sind sehr verbreitet. Des Weiteren findet man die glockige Rosmarinheide, Silberwurz, Bärlapp, Strauß- und Adlerfarn (Mayr, 1993).

Informationen über den Boden im Einzugsgebiet sind für hydrologische Modelle sehr relevant. Eigenschaften wie die Körnung, die Struktur, das Porenvolumen, die Horizonte und die Hydromorphie bestimmen nämlich wie viel Niederschlag infiltriert wird, bzw. wie viel oberflächlich abfließt oder gespeichert wird. Früher wurde die Bodenart oft vernachlässigt. Durch die heutige Vielseitigkeit der GIS-Anwendungen kann die Bodenart nun viel einfacher in Modelle integriert werden (Löhmannsröben, 2000). Die Bodeninformationen für das Einzugsgebiet wurden von der WLV-GBL Wörgl in Form einer digitalen Bodenkarte aus dem Internetportal e_{BOD} zur Verfügung gestellt. Insgesamt ist die Datenlage in Österreich sehr gut im Vergleich zum restlichen Europa. Alle intensiv genutzten landwirtschaftlichen Flächen sind nahezu vollständig erfasst. Das Einzugsgebietes ab. Ein interessantes Projekt namens "Alpenbodeninformationssystem" wurde zur Erfassung der Bodendaten des alpinen Teils von Österreich geplant. Die Realisierung des Projektes ist jedoch ungewiss. Dadurch könnten auch Flächen außerhalb des

bewirtschafteten Dauersiedlungsbereichs, die bisher kaum kartiert wurden, erfasst werden (Schwarz et al. 2001).

Die im Einzugsgebiet vorkommenden Bodentypen sind im e_{BOD} (BFW, 2013, S 20-28) folgendermaßen definiert:

Farb-Ortsboden (FU) gehört zu den Ortsböden. Diese sind untypische Böden. Das heißt, deren Erscheinungsbild weicht von den beschriebenen Böden stark ab. Im Falle von Ortsböden bedeutet dies, dass sie abhängig von besonderen örtlichen Voraussetzungen gebildet worden sind. Farb-Ortsboden weist durch das Ausgangsmaterial eine extreme Farbe auf.

Felsbraunerde (**FB**) entsteht aus Silikat oder silikatisch-karbonatischen Gestein. Der Boden enthält grobe Gemengteile, die mit der Tiefe mehr werden. Der Bv-Horizont (Verwitterungshorizont) ist oftmals intensiv braun gefärbt. Mit der Tiefe wird der Boden blasser.

Grauer Auboden (GA) hat eine deutliche Humusschicht, unter der sich meist sehr feines hell- bis dunkelgraues Schwemmaterial befindet. Dieses Material zeigt keine oder nur wenige Anzeichen von Verbraunung. Der Boden hat keine ausgeprägte Struktur und ist meist sehr tiefgründig.

Hanggley (**HG**) Ein Gley ist ein Mineralboden, in dem es durch stehendes oder stagnierendes Wasser zu chemisch-physikalischen Veränderungen kommt. Gley kann man vor allem an den charakteristischen Flecken und Verfärbungen erkennen. Diese Verfärbungen entstehen in der wassergesättigten Zone des Bodens durch Sauerstoffentzug (hellgrau über bläulich bis grünlich) und in Zonen wo das Wasser absinkt und das Material wieder Kontakt zu Sauerstoff hat, durch Oxidation (rostbraune Flecken). **Hanggley** entsteht, wenn eine andauernde Vernässung durch an einem Hang austretendes Wasser auftritt. Das Wasser ist zwar hangabwärts in Bewegung, dennoch zeigen die Böden oft beträchtliche Eisenverarmung.

Als Lockersediment-Braunerde (LB) wird ein Boden bezeichnet, wenn er einen Verwitterungshorizont aufweist, aber aus Lockermaterial entstanden ist.

Rendsina (ER), Pararendsina (PR) und Ranker (RR) sind Böden mit mehr oder weniger mächtigem, aber deutlich ausgeprägtem Humushorizont, der auf einem festen oder grobklastischen (aus groben Trümmern bestehenden) Ausgangsmaterial sitzt. Je nach chemischer Zusammensetzung des Ausgangsmaterials spricht man von Pararendsinen, Eurendsinen oder Rankern. Eurendsina entsteht aus Kalkmaterial mit wenig Silikat-Anteil. Es sind in der Regel seicht- bis mittelgründige Böden und die A-Horizonte enthalten oft sehr viel Humus und sind dadurch sehr dunkel gefärbt. Wenn der Boden neben Kalk auch einen beträchtlichen Anteil an Silikaten enthält, nennt man ihn Pararendsina. Ist das Ausgangsmaterial rein silikatisch, bzw. wenn es keinen Kalk enthält, wird der Boden Ranker genannt.

In der folgenden Grafik (Abb. 6) sind die vorhandenen Bodeninformationen aus e_{BOD} eingezeichnet. Wie bereits erwähnt, decken die Daten nicht das Gesamteinzugsgebiet ab.



Abb. 6 Bodenkarte des Einzugsgebietes (e_{BOD}) (Quelle: WLV-GBL Wörgl)

2.5 Klima

Das Klima des Einzugsgebietes wird vor allem durch die Lage zwischen den Kalk- und Zentralalpen geprägt. Im Süden bilden die hohen Tauerngipfel eine Art Mauer gegen die Winde aus dieser Richtung. Die Kalkalpen im Norden erreichen im Bereich des Einzugsgebietes nicht mehr so große Höhen wie weiter im Westen und verlieren auch ihren Kettencharakter. So können durch kleine Täler oder Lücken zwischen den Erhebungen Winde vordringen, was klimatischen Einfluss auf die betroffenen Gebiete hat (Jung, 1939). So können durch den stärkeren Nordstau recht hohe Niederschlagswerte entstehen. Diese liegen im Dauersiedlungsraum bei durchschnittlich ca. 1300 mm/Jahr. Föhnfreiheit und Wintertemperaturen, die etwa dem Tiroler Durchschnitt entsprechen, bewirken recht große Schneesicherheit (Tiroler Landesregierung, 1985). Die Temperatur schwankt zwischen Sommer und Winter sehr stark (Jung, 1939). Im Winter herrscht ein eigenständiger inneralpiner Klimatyp vor. Es gibt viel Schönwetter und stark geländebedingte Differenzierung. Der Winter ist in Tirol eher niederschlagsarm und strahlungsreich (Fliri, 1962). Innerhalb der Kitzbühler Alpen hat die Wildschönau eine der mildesten Temperaturen, da das Tal dem Inntal am nächsten ist und es somit leichter für wärmere Winde aus dem Westen zugänglich ist (Jung, 1939). Im Frühling kommt es in Tirol zu meridionaler Zirkulation. Dann gibt es im Süden viel Niederschlag und im Norden oft Südföhn (Fliri, 1962). Im Gebiet der Wildschönau verschwinden die "Kälteseen" langsam und es gibt wieder eine normale Temperaturabnahme mit der Höhe. Die Talregionen werden langsam wärmer. In höheren Lagen nehmen die Temperaturen nur langsam zu (Jung 1939). Im Sommer steht Tirol zur Gänze im Einfluss der monsunal verstärkten West-Strömung. Besonders im Zentralalpenbereich gibt es dann viel Niederschlag (Fliri, 1962). Durch die Geschlossenheit des Einzugsgebietes ist im Sommer in der Wildschönau eine größere Wärme zu finden. Dieser Zustand hält bis in den Spätherbst an (Jung, 1939). Im Herbst herrscht in Tirol autochtones Klima vor und im Norden gibt es Südföhn (Fliri, 1962). Hauptsächlich im Tal sammeln sich die kalten Luftmassen an, während in den höher gelegenen Teilen die Luft wärmer ist (Inversion). Dann beginnt der Zyklus der Jahreszeiten wieder von vorne. Dadurch, dass sich wie bereits erwähnt, nördlich und südlich des Tales größere beziehungsweise höhere Gebirge befinden, ist die Wildschönau vor allzu großen Niederschlägen geschützt. Die Erhebungen innerhalb des Einzugsgebietes sind zu gering, um selbst Niederschlag zu begünstigen. Die Niederschlags-Jahressummen liegen zwischen 928 und 1530 mm. Die Niederschläge sind somit geringer, wie im östlichen Nachbartal, der Kelchsau, aber deutlich höher wie im nördlich gelegenen Inntal. Die wenigsten Niederschläge sind im Februar und März zu erwarten (durchschnittlich 20 bis 60 mm). Das Maximum weisen sie, wie in Österreich üblich, im Sommer auf (durchschnittlich 208 mm). Im Herbst folgt wieder ein Abfall der Niederschläge und von November bis Jänner steigen sie wieder leicht an (Jung, 1939).

- Durchschnittliche Jahrestemperatur: 8,9 °C
- Durchschnittlicher jährlicher Niederschlag: 1301,1 mm
- Höchster Niederschlag: Juli, 181,3 mm
- Niedrigster Niederschlag: Jänner, 60,8 mm

(http://www.wildschoenau.tirol.gv.at/system/web/fakten.aspx?menuonr=218980827).

Franz Fliri 1962 gibt eine Darstellung der vorherrschenden Wetterlagen in Tirol mit Hilfe von Wetterlagen-Klimatologischen Methoden. Klima wird dabei nicht nach der üblichen Definition als "*mittlerer Zustand der Atmosphäre an einer Stelle der Erdoberfläche" (von Hann, 1883)* angenommen, sondern definiert Klima als Gesamtheit der Witterungen oder Aufeinanderfolge, Häufigkeit und örtliche Ausdehnung der kennzeichnenden Witterungen, kurz gesagt als die Auswirkung der Gesamtheit der Wettererscheinungen an einem Ort (Lauscher, 1958). In Gebirgsregionen sind vor allem Großwetterlagen zur Bestimmung des Klimas geeignet. Zu beachten ist dabei, dass bei bestimmten Wetterlagen in den jeweiligen Gebieten unterschiedliche Witterungen auftreten. Die Arbeit von Fliri beruht auf Beobachtungen von 1948 bis 1957/60. Dabei wurden dynamische Mittelwerte verwendet. Diese Methode ist sehr subjektiv, dennoch sind die Eigenschaften der Wetterlagen sehr stabil und man kann somit gut unterscheiden. Das von Fliri bearbeitete Gebiet erstreckte sich von München/Augsburg im Norden, bis Verona/Venedig im Süden, bis St. Gallen und Chur im Westen und bis zum Sonnblick und nach Lienz im Osten. Innerhalb dieses Gebietes wurden Niederschlagsmessungen an 202 Orten gemacht (Fliri, 1962).

Generell ist anzumerken, dass die Haupt-Gewitterlagen TR (= Tiefdruckrinnenlage) oder TB (=Tiefdruck über den Britische Inseln) Lagen sind. Diese Luftmassen sind besonders feuchtlabil geschichtet und werden vor allem durch Kaltluft labilisiert. Im Unterinntal sind typische Föhnerscheinungen wie Temperaturanstieg und Trockenheit besser ausgeprägt als im nahegelegenen Innsbruck. Generell ist noch anzumerken, dass eine thermische Begünstigung der inneralpinen Höhen durch Strahlung und der inneralpinen Täler durch Nord- und Südföhn besteht (Fliri, 1962).

Das Unterinntal hat viel mit dem Alpennordrand gemeinsam, da es nach Norden hin nicht sehr geschützt liegt. Das Unterinntal steht auch im Süd- und Südwest Einfluss, der von Innsbruck und aus der Brennergegend her kommt. Im Winter gibt es eine hohe Niederschlagsdichte bei Nord-West beziehungsweise West-Lagen. Im Sommer ist ergiebiger Regen zu erwarten, wenn TK, Vb, W, NW, oder N-Lagen vorherrschen. Im Herbst dagegen befindet sich das Unterinntal meist im Föhngebiet (Fliri, 1962). Mehr Details über die einzelnen Wetterlagen finden sich in Kapitel II von Fliri (1962).

Da die Gebiete der östlichen Zentralalpen (vor allem Kitzbühler und Zillertaler Alpen) nicht so gut durch die Nord-Alpen abgeschirmt sind, kommt es, wie bereits erwähnt, zum Nord-Stau. Vor allem die östliche Lage spielt dabei eine Rolle. Im Osten haben die Nord-Alpen aufgrund ihrer geringeren Höhen und anderen Formen nicht den gleichen Stau-Effekt wie im Westen. Deshalb wird die östliche Zentralalpenzone unmittelbar in die zusammenhängende Nord-Stauzone einbezogen. Im Winter kommt es durch eine Nord-West-Lage zu Niederschlagsspitzen. Dabei gibt es mehr Niederschlagstage, aber nicht mehr Niederschlagsmenge als im Unterinntal. Im Frühling ist im Vergleich zum Unterinntal ebenfalls eine starke Niederschlagstätigkeit. Im Sommer sind ebenfalls 10 % mehr Niederschlag als im Unteren Inntal zu erwarten. Diese Bereitschaft für ergiebige Regenfälle besteht hauptsächlich bei Nord-Stau-Lagen, Vb-, TK- und TR-Wetterlagen. Im Herbst sind die zentralalpinen Täler südlich des Unterinntales ebenfalls um 11 % niederschlagsreicher als das Haupttal (Fliri, 1962).

2.6 Landnutzung

Die Landnutzung und Landbedeckung eines Gebietes trägt elementar zur Steuerung von hydrologischen Abläufen bei und ist deshalb sehr wichtig für die Bestimmung eines Bemessungshochwassers. Beeinflusst werden dabei vor allem die Interzeption, die Evapotranspiration und das Infiltrationsvermögen in den Untergrund. Außerdem können aus der Landnutzung Oberflächenrauigkeiten abgeschätzt werden. Landnutzung ist nicht zu verwechseln mit Landbedeckung (Sortier et al. 2010).

Landbedeckung: "ist die Art und Ausstattung der Geländeoberfläche und dem biophysikalischen Ist-Zustand der Geländeoberfläche. Sie definiert sich zum einen aus der Vegetationsdecke. Zum anderen gehören dazu auch andere Objekte der Geländeoberfläche (zum Beispiel Gebäude, Verkehrsfläche oder Gewässer)" (Schneider, 2004, S 1).

Landnutzung: "ist die Funktion der Geländeoberfläche in wirtschaftlicher, sozialer oder kultureller Nutzung. Beispiele dafür wären Siedlungsraum und Industriegebiet. Wald wäre demnach sowohl Landbedeckung als auch Landnutzung" (Schneider, 2004, S 1).

In der Praxis werden die beiden Begriffe oftmals mit fließendem Übergang verwendet und sind nicht sehr scharf voneinander zu trennen (Schneider, 2004).

Die Landnutzung in der Wildschönau ist sehr umfangreich (siehe Abb. 7). Es wird viel Agrar- bzw. Almwirtschaft betrieben und daher existieren viele Grünflächen. Zudem gibt es auch sehr viel Waldgebiete. Da das Einzugsgebiet bis in eine Höhe von 2300 m reicht, findet man auch subalpine Gebiete. In den Talbereichen befinden sich die Siedlungsgebiete und Verkehrsflächen. Durch den bereits erwähnten Tourismus in der Wildschönau gibt es auch vereinzelt Skipisten im Gelände.



Abb. 7 Landnutzung im Einzugsgebiet der Kundler Ache (Quelle: Seger-Daten – WLV-GBL Wörgl)

3 Datenerfassung

3.1 Niederschläge

Der Hydrographische Dienst stellt österreichweit drei Arten von Niederschlagsdaten zur Verfügung. Sie sind in Dauerstufen von fünf Minuten bis zu sechs Tagen und Jährlichkeiten bis 100 verfügbar. Es wird empfohlen, diese bereitgestellten Daten für Bemessungsniederschläge zu verwenden (Weilguni, 2013). Die drei Arten der Daten sind:

- Maximierte Modellniederschläge (MaxModN)
- Interpretierte ÖKOSTRA-Messstellenauswertungen (Österreichweit koordinierte Starkniederschlagsregionalisierung und -Auswertung)
- Bemessungsniederschläge (Kombination der beiden anderen Auswertungen)

"Die MaxMod-Werte sind wahrscheinlich "zu hoch" und die ÖKOSTRA-Werte wahrscheinlich "zu niedrig" angenommen. Dadurch kann jedoch die mögliche Bandbreite der Bemessungsniederschläge abgegrenzt werden" (Weilguni, 2013, S 1) (siehe Abb. 8).



Abb. 8 Modelldaten an einem diskreten Gitterpunkt für die Dauerstufe 2h (Quelle: Weilguni 2013)

Um Starkniederschläge zu regionalisieren, wurde im Zuge des Projektes Bemessungsniederschläge in der Siedlungswasserwirtschaft vom BMLFU ein Bemessungsniederschlag entwickelt. Begonnen wurde dabei mit dem ÖKOSTRA-Verfahren. Dafür wurden alle zu dieser Zeit verfügbaren und überprüften digitalen Starkregenniederschlagsdatensätze mit mehr als zehn Jahren Beobachtungsdauer (221 Messstellen) und mit mehr als 20 Jahren Beobachtungsdauer (80 Messstellen) als Funktion von Jährlichkeit und Dauer ausgewertet. Da ÖKOSTRA wie bereits erwähnt, den Niederschlag tendentiell unterschätzt, wurde zusätzlich mit dem meteorologischen Modell OKM von Lorenz und Skoda gerechnet. Dieses wiederum neigt dazu, die Niederschläge zu überschätzen. Deshalb wurden nun aus diesen beiden Datensätzen die Bemessungsniederschläge als gewichteter Mittelwert abgeleitet (Kainz et al. 2007).

3.1.1 Die maximierten Modellniederschläge

Die MaxMod-Daten stammen für Dauerstufen bis zu 12 Stunden aus einem konvektiven Niederschlagsmodell (OKM) und für längere Dauerstufen aus dem numerischen Vorhersagemodell ALADIN. Sie werden aus dem Ergebnis von Niederschlagsmodellrechnungen unter maximierten Rand- und Anfangsbedingungen abgeleitet. Im Übergangsbereich zwischen sechs Stunden und 48 Stunden wurden die Daten der beiden Modelltypen dauerstufenabhängig gewichtet. Die Ergebnisse liegen dann in einem Gitternetz von 6 x 6 km vor (Weilguni, 2013).

3.1.2 ÖKOSTRA

Die ÖKOSTRA Daten basieren grundsätzlich auf interpolierten, extremwertstatistischen Niederschlagsauswertungen (Kainz et al. 2007). Ausgangsdaten für die ÖKOSTRA-Daten sind hochaufgelöste Niederschlagsdaten von 141 Messstellen. Für Dauerstufen von einem Tag bis zu sechs Tagen werden die Daten durch extremwertstatistische Auswertungen von Ombrometerdaten (853 Messstellen) ergänzt. Anschließend werden die Daten durch einen Interpolationsalgorithmus ebenfalls auf ein österreichweites Gitternetz von 6 x 6 km Größe ausgeweitet (Weilguni, 2013).

3.1.3 Die Bemessungsniederschläge

Die Bemessungsniederschläge wurden im Zuge des Projektes des BMLFU entwickelt. Sie wurden an jedem Gitterpunkt für jede Dauerstufe und Jährlichkeit durch dauerstufenabhängige Gewichtung der maximierten Modellniederschläge und der interpolierten ÖKOSTRA-Daten gebildet (Weilguni, 2013). Die Niederschlagshöhe ist bei den Bemessungsniederschlägen folgendermaßen definiert (Kainz et al. 2007):

$$h_N(D, T_n) = u(D) + w(D) * \ln T_n$$
 (1)

Wobei T_n die Wiederkehrzeit ist, u(D) und w(D) sind Variablen. Sie sind Funktionen der Dauerstufe (D). Für lokale Ereignisse einer bestimmten Regendauer werden sie aus einer Ausgleichsgerade bestimmt. Dabei ist u(D) die Niederschlagshöhe bei einem einjährlichem Ereignis (ln $T_n = 0$). und w(D) die Steigung der Ausgleichsgeraden (siehe Abb. 9) (Kainz et al. 2007).



Abb. 9 Ermittlung der ortsabhängigen Parameter u(D) und w(D) (Quelle: Kainz et al 2007)

Es wurde darauf geachtet, widerspruchsfreie Ergebnisse zu erhalten, in denen der Bemessungsniederschlag mit länger werdender Dauer und/oder größerer Jährlichkeit zunimmt (siehe Abb. 10) (Weilguni, 2013).



Abb. 10 BemessungsNS für die Jährlichkeit 5, 50 und 100 an einem diskreten Gitterpunkt (Quelle: Weilguni 2013)

Die Niederschlagswerte aller drei Datenarten sind Punktwerte, die an jedem beliebigen Ort des 6 x 6 km Rasters auftreten können. Durch räumliche Abminderung des Punktniederschlages erhält man einen mittleren Niederschlag, der gleichzeitig an jedem Punkt des Gitternetzes auftritt. Die Abminderungsfunktion ist abhängig von Niederschlagshöhe, Niederschlagsdauer und Gebietsfläche (Weilguni, 2013).

Um starke Niederschläge zu charakterisieren, sind Ertrag, Dauer, Häufigkeit und räumliche Struktur entscheidend. Am schwierigsten zu bestimmen ist dabei die räumliche Struktur der Niederschlagszellen. Die Häufigkeit und Dauer und auch der Ertrag, kann durch statistische Methoden erhalten werden (BMLFUW, 2013). Um ein Niederschlagsszenario zu erstellen ist es jedoch nötig, eine räumliche Ausdehnung der Niederschlagszelle zu definieren. Weiteres dazu im Kapitel 4.1.4.

Für die Gefahrenzonenplanung wird nicht nur der 100-jährliche Niederschlag benötigt. Zur Berechnung des HQ₁₅₀ muss der 150-jährliche Niederschlag berechnet werden. T_n>100 kann laut Weilguni (2007) mit Hilfe folgender Extremwertabschätzung errechnet werden.

$$h_N(D, T_n > 100) = \frac{h_N(D, T_n = 100)}{1.48} * T_n^{0.085}$$
 (2)

3.2 Linienzahlanalysen

Um die Geschiebetransportvorgänge im Bach abzuschätzen ist die Kornzusammensetzung des Grundmaterials entscheidend - also die Korngrößenverteilung. Das Grundmaterial ist das ursprüngliche Material des transportierten Geschiebes, der Unterschicht und der Deckschicht. Korngrößenverteilung des Grundmaterials Mit der kann die Deckschichtbildung fraktionsweise berechnet werden. Aus dieser kann anschließend mit Hilfe von d₉₀ die maßgebende Kornrauigkeit im Gerinne bestimmt werden (Anastasi, 1984). wird mit einer relativ einfach durchzuführenden Die Korngrößenverteilung Linienzahlanalyse festgestellt. Dabei werden die Grobkomponenten der Deckschicht im Feld gemessen und die Feinanteile anschließend rechnerisch ergänzt.

Dafür wurde der Ansatz von Fehr (1987) verwendet. Dieser basiert auf Formeln, die mit Hilfe von Laborversuchen entwickelt wurden. Als erstes wird im Feld an ausgewählten, geeigneten Standorten die Zusammensetzung der Deckschicht bestimmt. Die Linienzahlanalysen werden im Normalfall bei Niedrigwasser im Gerinne auf einer Bank am Rand des fließenden Wassers durchgeführt. Bei Bedarf kann die Analyse auch im knöcheltiefen Wasser durchgeführt werden. Dann müssen jedoch die Steine aus dem Wasser gehoben werden und es kann dazu kommen, dass die feineren Fraktionen schlechter erfasst werden. Um die Analyse auszuführen wird im gewählten Bachabschnitt eine Schnur in Fließrichtung gespannt. Anschließend werden alle Steine entlang der Linie gemessen, die einen Durchmesser größer als 1 bis 2 cm haben (Fehr, 1987a). Gemessen wird dabei die leicht zu erkennende b-Achse der Steine (siehe Abb. 11). Die Steine werden je nach Durchmesser in einzelne Fraktionen eingeteilt und gezählt (Fehr, 1987a). Ein Auswertungsformular erleichtert diese Arbeit. Im Anhang unter F findet sich ein solches Beispielformular.





eines Steines (Quelle: a)

gemessen werden und wenigstens 30 dieser Steine sollten sich in den mittleren Durchmesser-Fraktionen befinden. Nach der Auswertung erhält man als Resultat eine partielle Korngrößenverteilungskurve, welche aber nur die Grobkomponenten berücksichtigt. Die Feinanteile mit Durchmessern kleiner als 1 bis 2 cm müssen dann anschließend, wie bereits erwähnt, rechnerisch ergänzt werden (Fehr, 1987a).

Alle Formeln, die zur Berechnung von hydraulischen Problemen verwendet werden, gehen von der Korngrößenverteilung der Unterschicht aus. Deshalb muss nach der Durchführung der Linienzahlanalysen und der anfänglichen Auswertung, die Probe der Deckschicht umgerechnet werden. Die Linienzahlanalyse wird somit fraktionsweise mit der folgenden Formel umgerechnet (Fehr, 1987a).

$$\Delta p_{i} = \frac{\Delta q_{i} * d_{mi}^{0.80}}{\sum_{1}^{n} \Delta q_{i} * d_{mi}^{0.80}}$$
(3)

Dabei werden, wie bereits erwähnt, die feinsten Fraktionen unterschätzt. Deshalb muss die Korngrößenverteilung nach der Umrechnung nochmals mit folgender Beziehung korrigiert werden (Fehr, 1987a).

$$p_i c = 0.25 + 0.75 * \sum_{1}^{i} \Delta p_i \tag{4}$$

Die daraus erhaltene Korngrößenverteilung muss nun nur noch durch die Feinkomponenten ergänzt werden (Fehr, 1987a).

In Flüssen des Alpenraumes kann davon ausgegangen werden, dass die Verteilung der Feinanteile des Sohlen- und Geschiebematerials aufgrund ihrer Packungsdichte einer Fuller-Verteilung folgen (Fehr, 1987a).

$$p(d) = \sqrt{d/d_{max}} \tag{5}$$

Als nächstes muss für die bereits in eine Volumengewichtsanalyse der Unterschicht umgerechnete Linienzahlanalyse der Deckschicht ein Bereich gefunden werden, in dem die Steigung der Tangente der Fullerkurve folgt (Fehr, 1987a).



Abb. 12 Vorhersage des Anteils an Feinmaterial durch starre Zusammenlegung der umgerechneten Linienzahlanalyse mit einer Fullerkurve (Quelle: Fehr 1987)

Es wird nun angenommen, dass die Feinanteile der Korngrößenverteilung bis zum Übergangsbereich der Fullerkurve folgen. Die Grobanteile sind nach der umgerechneten und korrigierten Linienzahlanalyse verteilt (siehe Abb. 12). Dadurch wird eine sehr gute Übereinstimmung erreicht. So kann mit relativ geringem Aufwand eine gute Aussage über die Korngrößenverteilung der Unterschicht in einem Fließgewässer unter dem Einfluss der Grobkomponenten getroffen werden (Fehr, 1987). Es wurden insgesamt im Einzugsgebiet 12 Linienzahlanalysen entlang des Hauptgerinnes vorgenommen (siehe Abb. 13). Die tabellarische Auswertung findet sich im Anhang unter F.



Abb. 13 Orte der Linienzahlanalysen im Einzugsgebiet entlang des Hauptgerinnes (Quelle: eigene Grafik auf Basis einer ÖK50 von der WLV-GBL Wörgl)

3.3 Abgrenzung des Einzugsgebietes

Die Wasserscheiden des Einzugsgebietes befinden sich hauptsächlich an den östlichen und westlichen Gebirgskämmen. Sie werden gebildet von Gratlspitz-Schatzberg-Sonnenjoch-Siedeljoch und Hengstkogel-Feldalphorn-Prentenjoch. Eine weitere Wasserscheide befindet sich am Sattel von Oberau, eine am Sattel von Esbaum und eine dritte am Sattel von Weichsölln. Die Kundler Ache entspringt in dem Kar von Sonnenjoch und Gressenstein im südlichen Kessel der Wildschönau. Nach dem kleinen Wasserfall kommen einige kürzere Äste noch talauswärts vom Großen Farnkaser und Siedeljoch hinzu. Auf dem Weg von dort bis zum Inntal überwindet die Ache 850 Höhenmeter. Im folgenden Stück bis nach Mühltal gibt es ein relativ gleichmäßiges Gefälle. Erst weiter nördlich, wenn die Ache zwischen die Felsen der Klamm eintritt, erreicht sie ein größeres Gefälle. Alle größeren Seitenbäche wie zum Beispiel der Steinertalbach oder der Weißenbach, haben große Schuttkegel in das Tal geschoben (Jung, 1939).

Um dieses Einzugsgebiet nun auch digital abzugrenzen und Teileinzugsgebiete daraus zu erstellen, wird mit dem Programm ArcGIS 9.3 gearbeitet. Dabei werden vor allem die Extensions ArcHydroTools und GeoHMS verwendet. Das Ergebnis dieser Bearbeitung kann dann auch als Input für das Modell ZEMOKOST, bzw. mit weiterer Bearbeitung auch für das Programm HEC-HMS verwendet werden. Als Ausgangsmaterial werden dafür *.asc-Dateien verwendet, die von der WLV-GBL Wörgl bereitgestellt werden. Aus diesen Dateien kann mit Hilfe des Programmes ArcGis ein Digitales Höhenmodell des Einzugsgebietes erstellt werden. Da ein Digitales Höhenmodell eine digitale Repräsentation der Topographie der natürlichen Landschaft darstellt, eignet es sich hervorragend zur Abgrenzung eines Einzugsgebietes.

Die Exaktheit des Ergebnisses ist dabei von der Qualität des DHM und der verwendeten Algorithmen abhängig (ESRI, 2000). Die Rasterdaten wurden mit einer sehr guten Auflösung von 1 x 1 m zur Verfügung gestellt. Zur Abdeckung des Einzugsgebietes werden 25 dieser 2,5 x 2,5 km großen Rasterteile benötigt. Laut Zhang und Montgommery 1994 reicht für viele DHM-basierte Applikationen des hydrologischen Modellierens eine Zellgröße von 10 x 10 m aus. Da die ursprüngliche Auflösung von einem Meter aufgrund der sehr hohen Genauigkeit viele Probleme bei der Berechnung verursacht, wurde der Originaldatensatz schließlich von Zellgröße ein Meter auf Zellgröße fünf Meter vergrößert.

Die einzelnen Rasterstücke werden anschließend mit der Funktion *Mosaic* zu einem Raster zusammengefügt und ergeben so einen einzelnen Rasterdatensatz. Um die NoData Werte, die sich als weiße Punkte darstellten, zu eliminieren, wird der Rasterdatensatz mit der Hilfe der Extension 3D-Analyst in ein TIN konvertiert. TINs sind vektorbasierte, digitale geographische Daten, die durch die Dreiecksvermaschung mehrerer Stützpunkte erstellt werden Diese Stützpunkte sind mit Linien verbunden, die ein Netz aus Dreiecken bilden (ArcGis 9.3 Desktop Help). Somit werden alle dazwischen befindlichen NoData Values interpoliert und haben von diesem Zeitpunkt einen passenden Wert zugewiesen. Wird das TIN nun anschließend wieder in einen Raster konvertiert, sind die NoData-Werte aufgefüllt und das Digitale Höhenmodell steht zur weiteren Verwendung bereit.

Der erste Schritt mit der Extension ArcHydroTools ist, das Flusssystem in das Digitale Höhenmodell zu integrieren. Dazu wurde die Methode Agree ausgewählt. Mit dieser Methode wird das Flusssystem als Vektor in das Digitale Höhenmodell integriert und der gesamte Datensatz wird etwas ausgeglichen. Anschließend wird der Befehl Fill Sinks ausgeführt. Dabei werden Senken und Depressionen des DHM aufgefüllt. Dieser Ansatz geht davon aus, dass die im DHM enthaltenen Senken durch über- oder unterschätzte Höhenangaben oder Hindernisse im Gelände zustande kommen und deshalb besser behoben werden sollten. Danach schließt sich die Bestimmung der Oberflächenentwässerung an. Man geht hierbei davon aus, dass sich das Wasser von höher gelegenem in tiefer gelegenes Gebiet bewegt. Dadurch erhält man die Fließrichtung. Der Befehl für diesen Schritt lautet Flow Direction. Anschließend wird mit dem Befehl Flow Accumulation ein Ablagerungsraster aus dem Fdr-Grid (Flow Direction Grid) erstellt. definiert Danach wird das Flussnetzwerk (Str-Raster). Es entsteht ein Entwässerungssystem. Dann werden die einzelnen Flüsse segmentiert und miteinander verbunden (StrLnk-Raster). Daraus werden anschließend mit dem Befehl Catchment die Teileinzugsgebiete erstellt. Da das Programm das Gesamteinzugsgebiet in zu viele Teileinzugsgebiete teilt, werden diese Teileinzugsgebiete anschließend noch mit der Extension GeoHMS bearbeitet. Die Extension beinhaltet ein Tool namens Basin Merge, in dem Teileinzugsgebiete zusammengefügt werden können. Mit der Hilfe des Tools wurden kleinere Abgrenzungen eliminiert und somit wurden es um einige Teileinzugsgebiete weniger (ESRI, 2000).

Das Ergebnis dieser Berechnung sind 35 Teileinzugsgebiete. In Tabelle 1 sind sie aufgelistet mit ihrem jeweiligen Flächenanteil am Gesamteinzugsgebiet.

TEZG	Bezeichnung/Name	Fläche[km ²]
1	Kundler Ache	0,55
2	Wildschönauer Ache Klammeingang	1,26
3	Ramsbach	1,38
4	Wildschönauer Ache Kundler Klamm Mitte	0,61
5	Taxentalbach	1,97
6	Stainer-Tal-Bach	2,71
7	Thalmühlbach, Unterkirchgraben, Steingaßbachl, Schonergraben, Riedlgraben, Griesbach	3,27
8	Wildschönauer Ache Klammausgang	4,27
9	Schönberggraben	1,15
10	Aiglstättgraben, Ebersleitenbach, Scheibengraben, Ebersleitenbach	2,32
11	Schwarzenbach	1,80
12	Tiefentalerbach	1,99
13	Stainer-Tal-Bach, Hösljochbach	3,23
14	Weitentalbach	2,83
15	Fertingbach	0,74
16	Wildschönauer Ache	0,33
17	Weißenbach	4,24
18	Holzergraben	2,45
19	Aschbach	2,49
20	Hackeltalbach	2,59
21	Äußerer Wiesenbach, Salchergraben, Mühlangerbach, Innerer Wiesenbach,	1,46
22	Hönigbach	3,95
23	Außerer Kobergraben, Stollhäuslgraben, Stallgraben,	4,96
24	Gissübelbach	2,06
25	Aschbach	0,80
26	Talsner Bach	1,62
27	Aschbach	2,93
28	Innerer Kobergraben	1,75
29	Baumgartalmbach, Trettalmbach,	9,83
30	Farmkaserbach	1,70
31	Wildschönauer Ache	3,81
32	Quellgebiet Wilschönauer Ache	2,37
33	Wildschönauer Ache	0,60
34	Schrattlbach	3,40
35	Mühlangerbach, Holzbach, Hinterriesbach, Griesbach, Berschwentbach, Bernaubach	3,25

Tabelle 1 Auflistung der Teileinzugsgebiete mit Größe in km² (Quelle: eigene Tabelle)

In der folgenden Abb. 14 sind die jeweiligen Teileinzugsgebiete nummeriert und man sieht das Gewässernetz.



Abb. 14 Berechnete Teileinzugsgebiete aus ArcGIS (Quelle: eigene Grafik)

Seite 57 von 193

Für das Programm ZEMOKOST können die Teileinzugsgebiete zu diesem Zeitpunkt bereits als Input verwendet werden. Um sie jedoch auch als Input für das Programm HEC-HMS zu verwenden, muss aus den bereits in ArcGIS erstellten Dateien eine *.basin-Datei generiert werden. Dies wird mit Hilfe der ArcGIS Extension GeoHMS gemacht. Die dabei benötigten Schritte im Programm ArcGIS finden sich im Anhang unter H.

3.4 Die Seger-Daten

Eine der wichtigsten Fragen in der Niederschlag-Abfluss-Modellierung ist, wie viel Wasser oder Niederschlag kann der Boden aufnehmen, beziehungsweise wie viel davon rinnt oberflächlich ab (Markart et al. 2004). Da bereits im Kapitel 2.6 erwähnt wurde, dass hydrologische Prozesse hauptsächlich von Landnutzung und Landbedeckung abhängig sind, wurden die sogenannten Seger-Daten in diesem Zusammenhang als guter Input empfunden. Die Daten wurden von der WLV-GBL Wörgl zur Verfügung gestellt.

Die Seger-Daten basieren auf einer Realraumanalyse des gesamten Staatsgebietes von Österreich. Diese wurde von einer Arbeitsgruppe um Professor Martin Seger im Rahmen des FWF Forschungsschwerpunktes "Österreich Raum und Gesellschaft" am Institut für Geographie und Regionalforschung der Universität Klagenfurt durchgeführt. Dabei wurde der "Realraum" von Österreich thematisch analysiert und es wurden Landnutzungs- bzw. Landoberflächenklassen daraus entwickelt (Seger, 2001). Diese sind in digitaler Form als räumlich-thematisches Datenset des gesamten österreichischen Staatsgebietes vorhanden (Seger, 2000). Sie können als Shapefiles in GIS-Anwendungen weiter verwendet werden. Der vorliegende Datensatz wurde im "mittleren Maßstab" erstellt. Dadurch ergibt sich eine gewisse Generalisierung. Diese Generalisierung findet erstens durch Zusammenfassung der Landnutzungsklassen in definierte Klassen statt. Als Hauptkategorien wurden von Seger für die Landnutzung folgende fünf Klassen definiert:

- Siedlungsraum
- Agrarischer Hauptarbeitsraum
- Waldflächen
- Subalpin-alpines Höhenstockwerk
- Sonstige ausgewiesene Flächenkategorien

Es wurde auch eine kartographische Generalisierung durchgeführt. Das Ziel dabei war, ein ansprechendes Kartenbild zu erstellen (Seger, 2001). Grundsätzlich erstellt wurde der Datensatz auf Basis einer ÖK 50 (Seger, 2000). Die Daten zur Bestimmung der Landnutzung und Landoberflächenbedeckung wurden auf Basis folgender Grundlagen erstellt (Seger, 2001).

- Landsat TM (Thematic Mapper) und KFA1000 Daten (Satellitenkamera) und Satellitenbilder
- Topographische Karten und Stadtpläne
- Kartierungen vor Ort
- Flächenwidmungsinformationen und Luftbilder

Es handelt sich dabei um einen Multi-Input-Ansatz. So ist gewährleistet, dass die Klassen angemessen ausgewiesen werden (Seger, 2001). Insgesamt gibt es dann 60 Flächenkategorien (Seger, 2000). Diese Einteilung ist sehr umfangreich und findet sich im Anhang unter G.

Durch eine Geländeanleitung von Markart et al 2004 können aus den Seger-Daten die beiden für das Programm ZEMOKOST benötigten Eingangsgrößen Abflussbeiwert und die Oberflächenrauigkeit erfasst werden. Ebenfalls daraus abgelesen werden kann die Initialabstraktion. Das ist die Abflussverzögerung nach Beginn eines Niederschlagsereignisses. Um dies zu ermöglichen, wurden durch das Institut für Lawinenund Wildbachforschung (AIATR), das Bundesamtes und Forschungszentrums für Wald (BFW) in Innsbruck und Wien, sowie vom Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft (LfW) in München seit über 20 Jahren Starkregensimulationen mit Großregenanlagen auf verschiedenen alpinen Boden-/Vegetationseinheiten durchgeführt. Somit wurden aus ca. 700 Einzelexperimenten abflussrelevante Kennwerte abgeleitet. Die Versuchsflächen hatten eine Größe von 50 bis 100 m² und es wurde mit Intensitäten zwischen 75 und 100 mm/h gerechnet. Um nun für das Einzugsgebiet die relevanten Abflussbeiwerte und Oberflächenrauigkeiten (siehe Kapitel 4.1.2, bzw. 4.1.3) aus den Seger-Daten zu extrahieren, wurde eine von Kerschbaumer (WLV Schwaz) und Hesse (WLV Zell am See) erstellte Excel-Tabelle der WLV Wörgl zur Hilfe genommen. Diese erleichterte die Auswertung etwas, da es bei der Größe des Einzugsgebietes von 86,7 km² als zu zeitaufwendig erscheint detaillierte Geländeaufnahmen im gesamten Gebiet auszuführen.

4 Niederschlag-Abfluss-Modellierung

Für kleine Einzugsgebiete und Wildbäche im Gebirgsbereich sind selten Pegelmessdaten vorhanden, deshalb ist es nötig, Hochwasserabflüsse mit Hilfe von hydrologischen Modellen zu berechnen. Diese basieren dann meist auf messbaren Einzugsgebietscharakteristika (NRCS, 1986).

Grundsätzlich funktionieren Niederschlag-Abfluss-Modelle so, dass ein bestimmter Niederschlag als Input gegeben wird. Dieser wird anschließend transformiert und als Output bekommt man eine aus dem Niederschlag resultierende Hochwasserwelle. Das Ergebnis abhängig ist somit stark von dem Input und den gewählten Übertragungseigenschaften des Modells. Ein wichtiger Anwendungsbereich von Niederschlag-Abfluss-Modellen ist die Berechnung von Hochwasserabflussganglinien für und auch in diesem Fall, wird Bemessungszwecke. Oftmals, bei der Hochwasserberechnung der Basisabfluss nicht berücksichtigt. Somit wird der Beginn der Ganglinie einfach dort angesetzt, an der es zu einer deutlichen Zunahme des Abflusses kommt. Als Haupteingangsgrößen dienen die Größe und der zeitliche Verlauf des Niederschlages, der als direkter Abfluss abfließt (abflusswirksamer Niederschlag) (Maniak, 1993).

Die Jährlichkeit des Niederschlages wird in diesem Fall mit der Jährlichkeit des Abflusses gleichgesetzt. Für die Modellierung werden die im Vorfeld für das Einzugsgebiet flächenmäßig gewichteten Bemessungsniederschläge verwendet und die Modellparameter werden aus Gebietskenngrößen ermittelt. Der Abflussscheitel, die Wellenform und ein zugehöriger Abflussbeiwert ergeben sich als Resultat der Niederschlag-Abfluss-Modellierung (Hübl et al. 2013).

Es wurden für diese Arbeit die zwei Niederschlag-Abfluss-Modelle ZEMOKOST und HEC-HMS ausgewählt.

4.1 Das Modell ZEMOKOST

Die Wahl für die Niederschlag-Abfluss-Modellierung fiel unter anderem auf das Modell ZEMOKOST (= ZEller MOdifiziert nach KOhl und STepanek). Es wurde auf der Basis der Arbeit von Zeller entwickelt. Das Ziel war, verbesserte und nachvollziehbarere Felddaten einzubeziehen und somit eine einfachere praktische Anwendung zu ermöglichen (Kohl, 2011). Auf Anfrage bei Bernhard Kohl kann die jeweils aktuelle Version des Programmes ZEMOKOST als Excel-Datei angefordert werden.

4.1.1 Theoretische Grundlagen

Das ursprüngliche Modell auf das ZEMOKOST aufbaut, ist ein hydrologisches Modell das von Jürg Zeller 1974 das erste Mal veröffentlicht worden ist wurde. Es wurde zur Abschätzung der Hochwasserabflüsse in kleinen Einzugsgebieten verwendet. 1981 gab es eine weitere Auflage. Das Verfahren arbeitet mit der "Laufzeitmethode" (siehe Abb. 15). Sie besagt, dass ein Einzugsgebiet dann die maximale Abflussspitze einer bestimmten Jährlichkeit erreicht, wenn die Niederschlagsdauer der totalen Laufzeit entspricht und die in dieser Zeit maximal mögliche Intensität auf das Einzugsgebiet auftrifft (Kohl 2011). "Unter totaler Laufzeit wird dabei die Zeit verstanden, die ein imaginärer Wassertropfen vom entferntesten Punkt der Wasserscheide bis zur Beobachtungsstelle benötigt. Diese Laufzeit des Tropfens ("Laufzeitmethode") setzt sich aus der Oberflächenlaufzeit und der Gerinnelaufzeit zusammen" (Kohl, 2011, S 94).

ZEMOKOST wurde in Zusammenarbeit des Instituts für Naturgefahren und Waldgrenzregionen und Praktikern der Wildbach- und Lawinenverbauung entwickelt. Das Programm wurde in eine Microsoft Excel Arbeitsmappe programmiert und weist verschiedene Arbeitsblätter zur Dateneingabe, Berechnung und Datenanalyse auf (Kohl, 2011). Im Vergleich zu Zeller wurden folgende Punkte modifiziert (Kohl, 2011, S 94):

- "Der Niederschlags-Input (partielle Serien von Bemessungsniederschlägen, Flächenabminderung),
- Die Verwendung des Linearspeichers zur naturgetreuen Verformung der Trapezganglinien,
- Die Gerinnetranslation (Ansatz nach Rickenmann statt Strickler, Wegfall der ersten Iterationsschleife zur Ermittlung der Normalabflusstiefe h),
- Die automatisierte Berechnung der kritischen Regendauer (Wegfall der zweiten Iterationsschleife),
- Die Implementierung von optionaler Berücksichtigung von Zwischenabfluss, Zuund Ableitungen, Basisabfluss und Schneeschmelze,
- Und schließlich die Programmierung des modifizierten Laufzeitverfahrens in einer anwenderfreundlichen Computerumgebung (Microsoft Excel)."

Zeller modifiziert die Formel von Izzard (1946) (zitiert in Kohl, 2011). Dabei berechnet er getrennt die Konzentrationszeit nach Oberflächenabfluss (gerinnelosem Abfluss) und Gerinneabfluss. Er berücksichtigt den effektiven Niederschlag in Form des Koeffizienten a (Hagen et al. 2007). Dazu setzt er folgende Grundgleichung an (Zeller, 1981).

$$t_{tot} = t_{OB} + t_G \tag{6}$$

Die Oberflächenlaufzeit t_{OB} (Konzentrationszeit für den Oberflächenabfluss) ist die Zeit vom Einsetzen des Abflusses bis zum Erreichen der Abflussspitze. Sie wird im Modell ZEMOKOST nach Izzard (1946) (zitiert in Kohl, 2011) berechnet.

$$t_{OB} = \frac{527 * c * L_{OB}^{\frac{1}{3}}}{J_{OB}^{\frac{1}{3}} * (\omega * i_T)^{\frac{2}{3}}}$$
(7)

Die Fließzeit an der Geländeoberfläche ist abhängig von der Geländetopologie (L_{OB} und J_{OB}), der Oberflächenrauigkeit, dem Abflussbeiwert und dem Niederschlag. Diese Oberflächenlaufzeit beschreibt die reine Anstiegszeit (siehe Abb. 15).

Die Gerinnelaufzeit t_G wird im ZEMOKOST für längere Gerinne mit Seitenzubringern folgendermaßen berechnet (Kohl 2011, Zeller 1981).

$$t_{G} = \sum_{1}^{n} t_{Gi} = \sum_{1}^{n} \frac{L_{Gi}}{v_{Gi}}$$
(8)

In Kleineinzugsgebieten kann auch mit einfachsten Randbedingungen gerechnet werden (Kohl 2011, Zeller 1981).

$$t_G = \frac{L_G}{\nu_G} \tag{9}$$

"Die Fließgeschwindigkeit im Gerinne v_G wird in ZEMOKOST nach Rickenmann 1996 (zitiert in Kohl 2011) berechnet. Sie wird durch die Gerinneneigung, den Korndurchmesser d_{90} , den Spitzenabfluss Q und die Erdbeschleunigung g definiert" (Kohl, 2011, S 96). Die folgende Formel ist für einen Neigungsbereich von $J_G > 0,6$ % gültig (Kohl, 2011).

$$v_G = \frac{0,37*g^{0,33}*Q^{0,34}*J_G^{0,20}}{d_{90}^{0,35}} \tag{10}$$

Die Abstraktionszeit t_0 ist die Zeit, die vom Beginn des Niederschlags verstreicht, bis der erste Oberflächenabfluss gebildet wird. Dabei entspricht der Anfangsverlust der Niederschlagsmenge, die nötig ist, um einen direkten Abfluss zu erzeugen. Der Anstieg der Abflusswelle ist neben dem Effektivregen und der Geländetopologie auch vom Fließwiderstand abhängig (Kohl, 2011).



Abb. 15 Bausteine der Laufzeitmethode im Modell ZEMOKOST (Quelle: Kohl 2011)

Grundsätzlich erzeugt jede hydrologische Reaktionseinheit (Teileinzugsgebiet) eine Abflussspitze als Produkt aus Fläche und Effektivregen. Der Effektivregen wird über den Abflussbeiwert und den Niederschlags-Input definiert. zunehmender Mit Niederschlagsdauer trägt eine immer größere Fläche des Einzugsgebietes zum Abfluss bei. Wenn die Niederschlagsdauer größer als die längste Fließzeit ist, trägt die gesamte Einzugsgebietsfläche zum Abfluss bei. Ab diesem Zeitpunkt ist bei Verwendung von Blockregen der maximale Abfluss erreicht. Es entsteht dabei eine annähernd trapezförmige Abflussganglinie. Der maximale Abfluss wird in ZEMOKOST über die Rational-Methode von Kuichling (1889) (zitiert in Kohl, 2011) berechnet. In der Rationalformel gibt es eine empirische Beziehung zwischen der Niederschlagsintensität i_T und dem Hochwasserabfluss *HQ* (Kohl, 2011).

$$HQ = 0,278 * A_E * \omega * i_T \tag{11}$$

Für jedes Teileinzugsgebiet wird so eine Hochwasserganglinie ermittelt und durch die Konzentrations- bzw. Laufzeiten zu einer Gebietsabflussganglinie summiert (Hagen et al. 2007).

4.1.2 Abflussbeiwertklassen in ZEMOKOST

Markart et al. (2004) teilen den Abflussbeiwert in sieben Klassen ein (siehe Abb. 16). Die Klasse 0 sind Flächen, die keinen Oberflächenabfluss liefern. Das wären zum Beispiel blockige Schutthalden mit größerer Ausdehnung. Bei AK 1 (=Abflussbeiwertklasse 1) gibt es eine geringe Bereitschaft zur flächigen Abflussbildung. Hier fließen maximal 10 % des Niederschlages an der Oberfläche ab. Die weitere Abgrenzung der Klassen ist nicht mehr so deutlich. Ein Beispiel für AK 2 wäre eine nicht belastete und sehr behutsam bewirtschaftete Mähwiese. Bereits bei geringen Zusatzbelastungen von dieser durch zum Beispiel mechanische Beanspruchung (Weide oder Befahren) kommt es zu einem Anstieg des Abflusspotentials auf AK 3. In AK 4-5 sind Standorte einzuordnen, die einen zunehmenden Nutzungsgrad aufweisen. Beispiele wären Skipisten, Planien oder Weiden. Außerdem sind bindige Böden in diese Klasse einzuordnen. Es kommt zu einer Zunahme der Abflussdisposition. Wenn der Niederschlag annähernd vollständig an der Oberfläche abfließt, so spricht man von AK 6. Beispiele wären stehende Gewässer, vorverfüllte Flächen wie Moore und versiegelte, dichte Standorte (Markart et al. 2004).

Abfluss- beiwertklasse (AKI)	Oberflächenabfluss in % des Niederschlages
0	0
1	> 0 - 10
2	11 - 30
3	31 - 50
4	51 - 75
5	>75
6	1,0 (vernässte, versiegelte Flächen)

Abb. 16 Abflussbeiwertklassen (Quelle: Markart et al. 2004)

Initial- abstraktion (in min)	Abfluss- beiwertklasse (AKI)
00	0
28	1
20	2
15	3
11	4
7	5
5	6

Abb. 17 Mittlerer Wert der Initialabstraktion nach Abb. 18 für die jeweilige AK (Quelle: Markart et al. 2004)

Die jeweiligen Flächenanteile dieser Abflussbeiwertklassen an jedem Teileinzugsgebiet werden mit Hilfe dieser Einteilung (siehe Abb. 16) bestimmt und anschließend in das Programm ZEMOKOST eingefügt. Aus den zur Verfügung stehenden Werten rechnet ZEMOKOST anschließend einen flächengewichteten durchschnittlichen Abflussbeiwert für jedes Teileinzugsgebiet (Kohl, 2011). Auch die Initialabstraktion wird im Modell ZEMOKOST auf Basis dieser Abflussbeiwertklassen berechnet (siehe Abb. 17). Für jede Abflussbeiwertklasse lässt sich ein mittlerer Wert für die Initialabstraktion berechnen (siehe Abb. 18). Interessant ist dabei, dass Flächen der AK 5 und 6, die stark Abfluss liefern, durchschnittlich noch eine Verzögerung des Abflusses von 7 bzw. 5 min aufweisen. (Markart et al. 2004).



Abb. 18 Zusammenhang zwischen Abstraktionszeit und Abflussbeiwert bei Abflusskonstanz (Ψconst) mit einem Vertrauensbereich von ± 95 % (Quelle: Markart et al. 2004)

Im Anhang unter M findet sich eine Grafik mit der Einteilung des Einzugsgebietes in die Abflussbeiwertklassen.

4.1.3 Oberflächenrauigkeit

Neben der Abflussmenge ist auch die Abflussgeschwindigkeit entscheidend. Durch die unterschiedlichen Rauigkeiten der Oberfläche wird der Abfluss verzögert. Zeller 1981 verwendet hierfür den dimensionslosen Parameter c, den Wasserabflusskoeffizienten. Dieser Beiwert wirkt der Hangneigung und Fließtiefe entgegen und erhöht somit die Abflussgeschwindigkeit an der Bodenoberfläche. Kohl (2011) bezeichnet den Parameter als Fließwiderstand. Um auch hier eine Einteilung in Klassen zu ermöglichen, wurden Salzund Farbtracerexperimente durchgeführt. Daraus konnten die Fließgeschwindigkeiten an der Bodenoberfläche während Starkregensimulationen gemessen werden. Die Ergebnisse (Fließgeschwindigkeiten) wurden mit Hilfe der Fließlänge und der Anlaufzeit dem Beregnungsexperiment nachgerechnet. So wurden über 200 Niederschlagssimulationen (128 Standorte) des Institutes für Lawinen- und Wildbachforschung beim BFW nachgerechnet und über die Fließformel nach Izzard (1946) (zitiert in Kohl, 2011) der Wasserabflusskoeffizient überprüft. Wird die Formel umgeformt, können aus der Fließlänge an der Oberfläche (L_{OB}), der Neigung (J_{OB}), und dem Effektivniederschlag, der das Produkt aus Abflussbeiwert (Ψ) und der Niederschlagsintensität (i_T) ist, die Fließwiderstände c zurückgerechnet werden.

$$c = \frac{L_{OB}^{\frac{2}{3}} J_{OB}^{\frac{1}{3}} (\omega * i_T)^{\frac{2}{3}}}{527 * v_{OB}}$$
(12)

Aus dieser Rückrechnung der Fließgeschwindigkeiten und der Überprüfung der mittleren Fließwiderstände wurde eine Einteilung für die praktische Anwendung zur Abschätzung der Oberflächenrauigkeit erstellt. Anhand der vorherrschenden Oberflächen- und Vegetationstypen gibt es sechs Rauigkeitsklassen (siehe Abb. 19) (Kohl, 2011). RKL 1 wären demnach extrem glatte Oberflächen, wie zum Beispiel Asphalt, Beton, Fels und Eis. Es herrschen hohe Geschwindigkeiten vor. RKL 2 wird als ziemlich glatt bezeichnet. Man kann diese Klasse unter anderem durch den Deckungsgrad der Vegetation definieren. Liegt er über 10 % auf zum Beispiel Rohböden und offenen Brachflächen, ist er der Klasse 2 zuzuordnen. Rasenstandorte sind schwierig zu bewerten. Sie können in RKL 1 gehören

(ein Beispiel wären Skipisten) oder aber durch intensive Betreuung und Pflege in die RKL 3 fallen (etwas glatt). Die Klasse 4 wird als etwas rau bezeichnet. Darunter fallen zum Beispiel Feuchtflächen mit einem hohen Anteil an Moosen und hochstehenden Gräsern. Als ziemlich rau (RKL 5) bezeichnet man Flächen mit Vaccinien (Heidelbeeren, Preiselbeeren und Rauschbeeren). Flächige Alpenrosenbestände setzen dem fließenden Wasser den meisten Widerstand entgegen und sind in RKL 6 einzuordnen (sehr rau) (Martkart et al 2004).



Abb. 19 Rauigkeitsklassen nach unterschiedlichen Oberflächen- und Vegetationstypen (Quelle: Markart et al. 2004)

Auf Basis dieser Klassen (Abb. 19) wurde jedes Teileinzugsgebiet unterteilt und als Input für das Programm ZEMOKOST verwendet. Das Modell rechnet dann wiederum einen flächengewichteten durchschnittlichen Fließwiderstand c für jedes Teileinzugsgebiet aus (Kohl, 2011).

Im Anhang unter N findet sich eine Grafik mit der Einteilung des Einzugsgebietes in die Rauigkeitsklassen.

4.1.4 Niederschlagsinput

Für Niederschlag-Abfluss-Modelle werden Niederschläge als Punkt- und Flächenwerte benötigt. Die Methode der Berechnung des Gebietsniederschlags eines Einzugsgebietes hängt von dessen Größe und Morphologie ab. Auch die Niederschlagsverteilung und die Zahl der Messstationen sind entscheidend (Maniak, 1993). Im Einzugsgebiet gibt es nur eine Niederschlag-Messstation, was nicht ausreichend ist. Deshalb wurde entschieden, die von Kohl und dem Hydrographischen Dienst für Bemessungsaufgaben empfohlenen Bemessungsniederschläge aus dem Portal e_{hyd} zu verwenden.

Die empfohlenen Niederschlagsdaten werden vom BMLFUW im Internetportal e_{hyd} zur Verfügung gestellt. Die Daten sind frei zugänglich auf der Seite "http://ehyd.gv.at/". Es stehen wie in Kapitel 3.1 bereits erläutert, drei verschiedene Niederschlagstypen zur Verfügung. Sie liegen, wie bereits erwähnt, in Jährlichkeiten bis 100 vor und in Dauerstufen von fünf Minuten bis sechs Tage. Das Einzugsgebiet der Kundler Ache ist dabei von sieben solcher 6 x 6 km Rasterflächen betroffen (siehe Abb. 20). In jedem dieser Rasterstücke gelten an jedem Punkt die jeweiligen Punktniederschlagswerte des Rasters. Die Daten jedes Rasters können aus dem Portal e_{hyd} als *.pdf- oder *.ascii-Datei heruntergeladen werden (Kohl, 2011).

Aus diesen Gitterpunkten wurde nun für das Gesamteinzugsgebiet ein flächengewichteter Mittelwert berechnet. Dieser hat dann als Punktwert Gültigkeit an jedem Ort des Einzugsgebietes (Kohl, 2011). Dieser flächengewichtete Mittelwert des Bemessungsniederschlags im Einzugsgebiet findet sich im Anhang unter I. Um daraus einen repräsentativen Gebietsniederschlag zu erlangen, sollten die Punktniederschläge abgemindert werden. Der Abminderungsfaktor ist vor allem von der Gebietsfläche, der Niederschlagsdauer und der Niederschlagshöhe abhängig (Weilguni, 2013).



Abb. 20 benötigte Gitterpunkte des Bemessungsniederschlages aus e_{hyd} zur Abdeckung des Einzugsgebietes (Quelle: eigene Grafik)

Der Niederschlagsinput erfolgt im Modell ZEMOKOST als sogenannter Blockregen (siehe Abb. 21) (Kohl, 2011).

"Blockregen – als Sonderfall des Modellregens – wird im Wesentlichen nur im Rahmen des Fließzeitverfahrens verwendet. Dabei wird die Regenbelastung anhand einer mittleren Regenspende – abhängig von Dauer und Häufigkeit des Ereignisses – gewählt" (Kainz et al. 2007, S 18).



Abb. 21 Blockregen (Quelle: DVWK 1984)

Der nächste Schritt ist die Festlegung von Niederschlagsszenarios. Im Sommer führen laut Maniak (1993) in Einzugsgebieten bis zu zirka 100 km² meist kurzandauernde konvektive Niederschläge mit Intensitäten um 50- 90 mm/h und eng begrenzten Niederschlagsgebieten zu sehr hohen Scheitelabflüssen (Maniak, 1993). Auch Hofbauer (1916) geht davon aus, dass das Abflussmaximum in Gebieten mit geringer Ausdehnung ausschließlich durch Gewitter- oder Starkregen verursacht wird, die eine kurze Dauer und eine hohe Intensität aufweisen (Hofbauer, 1916). In großen Einzugsgebieten sind es meist eher advektive, tagelange Regen mit fast gleichmäßiger zeitlicher und räumlicher Verteilung (<20 mm/h), die extreme Regenhochwässer verursachen (Maniak, 1993). Auch Hofbauer 1916 geht davon aus, dass die maximalen Anschwellungen in großen Einzugsgebieten zumeist von länger andauernden, sogenannten Landregen mit geringer Intensität hervorgerufen werden (Hofbauer, 1916).

Der Entschluss fiel also auf 3 Niederschlagsszenarios. Das erste Szenario wurde so gewählt, dass das gesamte Einzugsgebiet homogen überregnet wird. Der Grund dafür war, dass das EZG kleiner als 100 km² ist und somit die Aussage von Maniak (1993) zutrifft. Außerdem erwähnt Fliri (1962) Großwetterlagen in Tirol, in denen dies der Fall ist. Es stellt sich hier dennoch die Frage, ob konvektive Gewitterzellen die Größe des Gesamteinzugsgebietes erreichen können und somit das gesamte Gebiet überregnet wird.

Im Projekt BUWELA wird beweisen, dass dies prinzipiell möglich ist (Hübl et al. 2009). Auch wenn das Projekt grundsätzlich für die Region Buckelige Welt erstellt wurde, bestärken die Ergebnisse des Projektes die Wahl des Niederschlagsszenarios 1.

Kohl 2011 empfiehlt bei Annahme einer homogenen Überregnung des gesamten Einzugsgebietes unter Verwendung des Bemessungsniederschlages, die "sanfte Abminderung" nach Lorenz und Skoda (2001) (siehe Gleichung 23 und 24) zu verwenden.

Dieser Empfehlung wurde jedoch letztendlich nicht nachgekommen, denn nach einem Versuch, in dem der Niederschlag "sanft abgemindert" wurde, kam es zu unrealistisch hohen Ergebnissen. Aus diesem Grund wurde auch bei homogener Gesamtüberregnung des Einzugsgebietes "stark abgemindert" nach Blöschl (2009). Für hoch mesoskalige Einzugsgebiete im Bereich bis 100 km² empfiehlt Kohl (2011) eine räumliche Differenzierung des Niederschlages auf Basis der Bemessungsniederschläge. Dafür wird die "starke Abminderung" nach Blöschl (2009) (Gleichung 25) empfohlen. Dies wurde im Zuge von Szenario 3 ausgeführt.

Das zweite Szenario geht von einem kleinräumigen Niederschlag aus, der nicht das gesamte Einzugsgebiet überregnet. Dies basiert auf der Feststellung, dass reale Starkniederschläge im Allgemeinen nur eine begrenzte räumliche Ausdehnung aufweisen, so dass dann die Niederschlagsintensität bis zum Rand der Niederschlagszelle hin abnimmt, bis hin zu Null (Mattern, 1996). Für dieses Szenario ist also eine räumliche Abminderung des Niederschlages notwendig.

Der Niederschlag wird in Szenario 2 als konvektiver Starkniederschlag mit hoher Intensität und Heftigkeit angenommen. Die Dauer ist kurz und häufig gehen Wärmegewitter mit einher. Diese Hochwasserereignisse haben extreme Spitzenabflüsse. Es gibt steile Anstiege, aber ein relativ geringes Abflussvolumen mit meist kleinen Abflussbeiwerten (Sackl, 1994).

Es wird angenommen, dass sich eine Gewitterzelle vom Kessel im Talinneren von Nordosten kommend in Richtung Südwest fortbewegt. Das heißt, es wird eine Niederschlagszelle im hinteren Talbereich angenommen und nur die Teileinzugsgebiete, die sich innerhalb des Zellbereichs befinden werden überregnet (siehe Abb. 22). Im
Allgemeinen ist es sehr schwierig vorher zu sehen, wie ein Regenzentrum örtlich und zeitlich gelagert ist. Diese Faktoren hängen einzig von meteorologischen Gegebenheiten ab und sind mathematisch nicht, oder nur sehr erschwert, zu erfassen (Hofbauer, 1916).



Abb. 22 Definierte Niederschlagszelle für Szenario 2 (Quelle: eigene Grafik auf einer ÖK50 der WLV-GBL Wörgl)

In einem weiteren Szenario 3 wird das Niederschlagszentrum ebenfalls im hinteren Talkessel angenommen. Es wird jedoch angenommen, dass das gesamte Einzugsgebiet überregnet wird. Dieses Szenario wird nur mit dem Programm ZEMOKOST ausgeführt. Im Programm ist es möglich ein bestimmtes Regenzentrum zu definieren. Es wird dann vom jeweiligen Einzugsgebiet die Distanz in Kilometern zum Regenzentrum berechnet (siehe Abb. 23). Dies gestaltet sich im Programm ZEMOKOST als sehr einfach. Mit dem Modell HEC-HMS wird dieses Szenario 3 nicht berechnet, da es zu aufwändig wäre, die Niederschläge manuell räumlich abzumindern. Deshalb wird in diesem Fall auf eine zweite Berechnung verzichtet. Für Szenario 2 und 3 wird nur ein HQ₁₀₀ berechnet.



Abb. 23 Flächenabminderung – Entfernung vom Niederschlagszentrum für Szenario 3 (Quelle: eigene Grafik)

4.1.5 Ausführung

Der erste Input, der für das Modell benötigt wird, ist der Niederschlag. Dabei wird die Niederschlagsmenge h_N als Funktion der Dauerstufe D und der Wiederkehrzeit T durch die Ausgleichsparameter u und w angegeben. Diese werden mit Hilfe des Programmes aus den eingegebenen Dauerstufen und dazugehörigen Niederschlagssummen der Jährlichkeiten 1 und 100 berechnet. Als nächster Schritt muss festgelegt werden, ob eine Abminderung des Niederschlages vorgenommen wird. Eine Abminderung kann entweder homogen über das gesamte Einzugsgebiet, oder räumlich differenziert auf Teileinzugsgebiete, vorgenommen werden (Kohl, 2011). Für Szenario 1 und 2 wird eine homogene Abminderung über das Gesamteinzugsgebiet verwendet. Szenario 3 wird mit Hilfe der räumlich differenzierten Variante der Abminderung berechnet. Für die Arbeit wurde wie bereits erwähnt die "starke Abminderung" nach Blöschl (2009) bevorzugt. Für Szenario 2 wurde die "schwache Abminderung" nach Lorenz und Skoda (2001) gewählt, da das überregnete Gebiet in diesem Fall nur 25 km² beträgt. Ein weiterer wesentlicher Input für die Laufzeitmethode ist, neben dem Niederschlag, die Gliederung des Gesamteinzugsgebietes in Teileinzugsgebiete (siehe Kapitel 3.3). Dadurch können die Abflussganglinien dieser Teileinzugsgebiete mit Berücksichtigung der dazugehörenden Laufzeit zu einer Summenganglinie überlagert werden. Für diese jeweiligen Teileinzugsgebiete ist als nächstes die Eingabe der Parameter für den gerinnelosen Abfluss notwendig (Abb. 24) (Kohl, 2011).

			1	dia dia dia dia		Gerinnelos	
TEZG	Gerinn	eknoten	Fläche	kum.Fläche	Länge	Neig-abs	Neig
Nr.	K.o.	K.u.	[km²]	[km²]	[m]	[]	[°]
6	0	3	4,00	4,00	100	0.50	27
5	0	3	4,00	4,00	100	0,50	27
4	0	3	4,00	4,00	100	0,50	27
3	0	2	3,00	3,00	100	0,50	27
2	3	2	2,00	14,00	100	0,50	27
1	2	1	1,00	18,00	100	0,50	27

P	arameter f	ür d	len ge	rinnelosen,	oberflächlichen	Abfluss
				Centre Calification and		

Abb. 24 Auszug aus ZEMOKOST - Berechnung des gerinnelosen, oberflächlichen Abfluss (Quelle: Kohl 2011)

Zur Ermittlung des Gerinnesystems ist eine Einteilung mit Hilfe von Gerinneknoten (Quellen und Mündungen) nötig (Abb. 25). Dies kann auf der Basis der Teileinzugsgebietsabgrenzung gemacht werden.



Abb. 25 Einteilung der Teileinzugsgebiete durch die Ordnung der Gerinneknoten, Quellen und Mündungen (Quelle: eigene Grafik)

Auch die Fläche kann daraus entnommen werden. Der Fließweg an der Oberfläche (L_{OB}) und die Neigung der Oberfläche (J_{OB}) für den gerinnelosen Abfluss müssen extra ermittelt werden. Für die Berechnung der beiden Parameter empfiehlt Kohl 2011 die Verwendung von ArcGIS. Die genaue Berechnung findet sich im Anhang unter L.

Auch die Parameter für den Abfluss innerhalb des Gerinnes (Abb. 26) müssen eingegeben werden. Dafür ist ein weiteres Tabellenblatt eingerichtet. Das Modell errechnet daraus die Fließgeschwindigkeit im Gerinne in Abhängigkeit von Gerinneneigung, Kornrauigkeit und Abfluss (Kohl, 2011). In diesem Tabellenblatt wird das durch die Linienzahlanalysen (Kapitel 3.2) ermittelte d_{90} verwendet. Die anderen Parameter können wiederum den Vorarbeiten in ArcGIS entnommen werden (Kapitel 3.3).

			Gerinne			
TEZG	Länge	kum.Länge	Neig-abs	Neig°	d ₉₀	Gerinnenam
Nr.	[m]	[m]	[]	[°]	[m]	
6	1000	3000	0,50	27	0,30	
5	1000	3000	0,50	27	0,30	
4	1000	3000	0,50	27	0,30	
3	1000	2000	0,50	27	0,30	
2	1000	2000	0,50	27	0,30	
1	1000	1000	0,50	27	0,30	

Abb. 26 Auszug aus dem Modell ZEMOKOST – Berechnung des Abfluss im Gerinne (Quelle: Kohl 2011)

Im nächsten Tabellenblatt "Fläche AK" werden die Abflussbeiwertklassen (Kapitel 4.1.2) mit dem jeweiligen Flächenanteil pro Teileinzugsgebiet eingegeben. Ebenso wird in das nächste Tabellenblatt "Fläche c" der Flächenanteil der Oberflächenrauigkeit (Kapitel 4.1.3) für jedes der Teileinzugsgebiete eingegeben.

Nach der Eingabe all dieser Informationen, können mit ZEMOKOST an jedem Knotenpunkt der Teileinzugsgebietsgliederung einzelne Niederschlagsereignisse simuliert werden. Vor der Berechnung kann noch die gewünschte Jährlichkeit eingestellt werden. Als Resultat erhält man Abflussganglinien, Spitzendurchflüsse und Frachten für alle Teileinzugsgebiete und die gewählten Hauptknoten.

4.1.6 Plausibilitätsprüfung

Da das Niederschlag-Abfluss-Modell ZEMOKOST keine Kalibrier-Parameter verwendet, kann es auch zur Bestimmung von Abflüssen in unbeobachteten Einzugsgebieten ohne Abflusspegel verwendet werden. Die Schlüsselparameter zur Ermittlung des Abflusses sind dabei der Abflussbeiwert und die Oberflächenrauigkeit (Kapitel 4.1.2 und 4.1.3). Wenn die dominanten Abflussprozesse quantitativ und qualitativ angemessen erfasst wurden, sollte das Modell ZEMOKOST plausible Ergebnisse liefern. In unbeobachteten Einzugsgebieten hat man keine Abflussdaten zur Verfügung und es ist somit nicht möglich die Modellergebnisse eindeutig zu bestätigen bzw. zu falsifizieren. Umso wichtiger ist es in diesem Fall die Ergebnisse zu plausibilisieren. Kohl 2011 warnt jedoch, dass bei der Bemessungsmodellierung im Auge behalten werden muss, dass die erreichbare Genauigkeit generell begrenzt ist (alleine schon durch die direkte Übertragung der Niederschlagsjährlichkeit auf die Auftretenswahrscheinlichkeit der Hochwasserabflüsse) (Kohl, 2011).

Die Plausibilitätsprüfung stützt sich laut Kohl, 2011, S 123 normalerweise auf vier Säulen:

- "Die Wildbachchronik,
- Empirische Abflussansätze,
- Gemessene/beobachtete aktuelle sowie geschätzte maximale Durchflüsse an maßgeblichen Profilen,
- Der Vergleich mit benachbarten beobachteten Einzugsgebieten; "

Im Einzugsgebiet gibt es wie bereits mehrmals erwähnt, keine Pegelmessungen, das heißt es existieren keine gemessenen Durchflüsse und auch sonstige beobachtete Werte liegen nicht vor. Auch in der Wildbachchronik findet sich keine konkrete Angabe über zu erwartende Hochwassermengen. Diese Werte können also in diesem Fall nicht für eine Plausibilitätsprüfung herangezogen werden. Um Vergleichswerte zu erhalten wird in Kapitel 6 das Ergebnis mit Hilfe von empirischen Abflussformeln überprüft. Einen weiteren Vergleichswert bietet das HOWATI-Projekt. In Kapitel 5 werden die im HOWATI-Projekt ermittelten Daten bereitgestellt. Außerdem ist ein geschätzter Erwartungswert (auf Basis des Projektes HOWATI) des Hydrographischen Dienstes Tirol für die Kundler Ache bekannt. Dieser beträgt für die Kundler Ache für ein HQ₁₀₀ 125-145 m³/s und für ein HQ₁₅₀ 133-160 m³/s.

Weiters kann der Abfluss auch mit dem des Nachbareinzugsgebietes Alpbach verglichen werden. Hesse (2012) kommt in seiner Arbeit für den Alpbach zu einem HQ₁₀₀ von 170-175 m³/s. Das Einzugsgebiet des Alpbaches ist um zirka 4 km² kleiner als das der Kundler Ache.

Um noch einen weiteren Vergleichswert zu haben, wurde ein zweites Niederschlag-Abfluss-Modell, HEC-HMS, eingesetzt. Im nächsten Kapitel (4.2) wird die Vorgehensweise und Berechnung dargestellt. Letztendlich ist aber eine konkrete Plausibilisierung der Ergebnisse nicht möglich, da wie bereits erwähnt keine Pegelmessungen stattfinden und keine Daten von vergangenen Ereignissen verfügbar sind. Eine Plausibilisierung der Ergebnisse findet im Zuge dieser Arbeit also nur anhand von Vergleichswerten (HOWATI, Hydrographischer Dienst, Formelberechnungen) statt.

4.2 Das Modell HEC-HMS

Für eine weitere Plausibilisierung der Ergebnisse fiel die Wahl fiel auf das Modell HEC-HMS. Da das Programm gratis, für alle offen zugänglich und flexibel ist, wird HEC-HMS sehr gerne in der Niederschlag-Abfluss Modellierung verwendet (Cate, 2000).

Die jeweils aktuelle Version des Programmes kann von der Homepage des U.S. Army Corps of Engineers – Institute of Water Resources - Hydrologic Engineering Center (USA) gratis heruntergeladen werden (http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/downloads.aspx). In diesem Fall wird die Version 3.5 verwendet.

Das Programm HEC (= Hydrologic Engineering Center) HMS (=Hydrologic Modeling System) wurde erstellt, um Niederschlag-Abfluss-Prozesse in Einzugsgebieten zu simulieren. Als Output liefert das Modell Abflussganglinien, die zum Vergleich und zur anschließenden Bestimmung des Bemessungsabflusses verwendet werden können. Der grundlegende Berechnungsweg geht auf eine über 30-jährige Erfahrung mit hydrologischer Simulationssoftware zurück. Viele Algorithmen wurden dabei modernisiert oder mit anderen kombiniert. Es wird auch weiterhin an einer ständigen Modernisierung des Programms gearbeitet. Das Modell bietet eine breite Palette an Funktionen für die hydrologische Simulation an. Die meisten der gebräuchlichen Methoden sind im Programm sehr einfach zu verwenden (Scharffenberg & Fleming, 2010).

Das Einzugsgebiet wird im Modell grundsätzlich durch ein sogenanntes "basin model" repräsentiert. Dabei werden die hydrologischen Elemente des Einzugsgebietes und all ihre Verzweigungen miteinander verbunden zu einem einzelnen hydrologischen Netzwerk. So kann der Abfluss simuliert werden. Beispiele für die Elemente wären Teileinzugsgebiete, Quellen, Kreuzungen bzw. Knotenpunkte oder Zuflüsse.

Um die Infiltrationsverluste beziehungsweise die Versickerung in die Simulation mit einzubeziehen, gibt es verschiedene Möglichkeiten. Zur Auswahl stehen (*Scharffenberg & Fleming, 2010, S 33*):

- *"Deficite and constant rate (also gridded)*
- Exponential
- Green and Ampt (also gridded)
- Initial and constant rate
- SCS Curve Number (also gridded)
- Smith Parlange
- Soil moisture accounting (also gridded);"

Oft schafft es Probleme, Längen und Zeiten von lokalen Gegebenheiten oder aus Messungen auf regionale Ebenen anzupassen. Die Abschätzung von regionalen Durchschnittswerten aus lokalen Beobachtungen war schon immer "*das Herz der Hydrologie" (Blöschl, 1996).* Da im Falle des betrachteten Einzugsgebietes alle benötigten Input-Parameter für das SCS Curve Number Verfahren ermittelbar, bzw. bereits vorhanden sind, ist diese Methode ausgewählt worden. Es scheint wie bereits erwähnt, eine gute Lösung zu sein, aus lokalen Einzugsgebietsparametern auf regionale Gegebenheiten oder Eigenschaften zu schließen. Außerdem sind die wichtigsten Bestandteile eines Ereignisses der Regensturm oder Regenfall und die daraus resultierende Hochwasserganglinie (Blöschl, 1996). Das SCS Curve Number Verfahren wird im noch folgenden Kapitel 4.2.2 näher beschrieben.

Für die Simulation musste auch eine Transformationsmethode ausgewählt werden (Scharffenberg & Fleming, 2010, S 33):

- "*Clark*'s unit hydrograph
- Kinematic wave
- ModClark
- SCS unit hydrograph
- Snyder's unit hydrograph
- User-specified s-graph
- User-specified unit hydrograph;"

Dabei fiel die Wahl auf die SCS Unit Hydrograph Methode. Diese ist in Kapitel 4.2.3 näher beschrieben.

Als nächstes musste noch die Routing-Methode gewählt werden (*Scharffenberg & Fleming*, 2010, S 33):

• *"Kinematic wave*

• Lag

- Modified Puls
- Muskingum
- Muskingum-Cunge
- Straddle stagger
- Constant
- Percolation;"

Es wurde die Lag-Methode ausgewählt. Auf diese wird ebenfalls im Kapitel 4.2.3 eingegangen.

Auch für die Simulation des Niederschlags stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung, je nachdem welche Niederschlagsdaten zur Verfügung stehen bzw. verwendet werden. Dafür muss aus folgenden Möglichkeiten ein passendes meteorologisches Modell ausgewählt werden (*Scharffenberg & Fleming, 2010, S 34*):

- "Frequency storm
- Gage weights
- Gridded precipitation
- Inverse distance
- SCS Storm
- Specified Hyetograph
- Standard Project Storm; "

Für die Simulation des Niederschlages im Einzugsgebiet wurde die Methode "Specified Hyetograph" gewählt, da diese Methode es ermöglicht, für Niederschlagsdaten die außerhalb des Programmes HEC-HMS verarbeitet wurden, eine synthetische Ganglinie der Niederschlagsintensität (Hyetograph) im Modell HEC-HMS zu erstellen (Scharffenberg & Fleming, 2010).

4.2.1 Vorarbeiten

Um für das Modell HEC-HMS die Input-Datei, eine *.basin-Datei, zu erstellen, wurde ArcGIS 9.3 verwendet. Dabei wurden die bereits für das Modell ZEMOKOST ermittelten Einzugsgebietsparameter weiterverarbeitet. Dafür wurde die Extension GeoHMS verwendet. Die genaue Berechnung findet sich im Anhang unter H.

Die somit erhaltenen Daten können in Form einer *.basin-Datei nun direkt mit dem Programm HEC-HMS geöffnet werden.

4.2.2 SCS Curve Number

Das SCS-Verfahren stammt aus den USA. Es wurde in den 1950er Jahren auf der Grundlage von gemessenen Niederschlag-Abfluss-Ereignissen in kleinen Einzugsgebieten entwickelt (DVWK, 1991). Es wurde vor allem zur Abschätzung von Durchflüssen bei Abflussereignissen in kleinen Einzugsgebieten verwendet (Blöschl, 1996). Außerdem ist diese Methode sehr gut geeignet für Einzugsgebiete mit sehr wenigen oder keinen Abflussund Niederschlagsmessungen. So kann mit dem SCS-Verfahren aus Niederschlagsdaten und gebietsspezifischen Abflussbeiwerten der Abfluss berechnet werden. Das Prinzip dabei ist, den abflusswirksamen Anteil des Niederschlages in Abhängigkeit von der Niederschlagshöhe und einiger gebietsspezifischer Parameter für Boden und Vegetation (CN-Wert) unter Berücksichtigung des Bodenfeuchtezustandes bestimmen zu (Maniak 1993). Der **CN-Wert** beinhaltet Informationen über das maximale Speichervermögen des Bodens, welches vor allem von der Bodenart, der Bodennutzung und dem Vorregen abhängig ist. Dieser CN-Wert kann zwischen 0 und 100 liegen. Je niedriger der CN-Wert, desto weniger Direktabfluss entsteht nach Niederschlägen. Das heißt, ein CN-Wert von 100 würde bedeuten, dass der gesamte Niederschlag abfließt (siehe Abb. 27) (DVWK, 1991). Mit Hilfe des CN-Wertes wird es möglich, aus einem Niederschlagsereignis eine Hydrographische Abflusskurve zu transformieren. Dies geschieht in Form der "Unit Hydrograph Theorie", die im noch folgenden Kapitel 4.2.3. näher beschrieben wird (NRCS, 1986).

Die Grundgleichung des SCS-Verfahrens lautet

$$N_{eff} = \frac{(N_D - I_a)^2}{(N_D - I_a) + S}$$
(13)

Die Initialabstraktion bzw. der Anfangsverlust I_a umfasst alle Verluste, bevor der Abfluss beginnt. Beispiele dafür wären Interzeption durch Vegetation, Evaporation, Infiltration oder zurückgehaltenes Wasser in Senken. Der Parameter I_a ist stark variabel. Er kann aber generell aus Boden- und Oberflächenparametern bestimmt werden. Nach dem Ergebnis von Studien in vielen kleinen landwirtschaftlichen Einzugsgebieten kann I_a folgendermaßen angenommen werden (NRCS, 1986).

$$I_a = 0.2 * S \tag{14}$$

Nach umfangreichen Untersuchungen wird der Anfangsverlust mit diesem ursprünglichen SCS-Verfahren für mitteleuropäische Verhältnisse oft zu hoch angesetzt. Laut Maniak (1993) werden bessere Ergebnisse erzielt, wenn folgende Formel zur Anwendung kommt.

$$I_a = 0.05 * S$$
 (15)

In dieser Arbeit wurde dennoch Gleichung (14) zur Berechnung von I_a verwendet, da durch den starken Bewuchs und die Unebenheit des Einzugsgebietes von einer höheren Initialabstraktion ausgegangen werden kann und aus Gleichung (15) schätzungsweise unrealistisch hohe Abflussergebnisse resultieren würden.

Der Parameter *S* in der Formel entspricht dem maximalen Gebietsrückhalt jedes einzelnen Teileinzugsgebietes (Ostrowski, 2011). Dieser definiert sich über den CN-Wert und ist demnach unter anderem abhängig von Boden- und Landnutzung (NRCS, 1986).

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \tag{16}$$

Zu beachten ist dabei, dass bei Niederschlägen unter 100 mm und CN-Werten unter 45 durch die Beziehung zwischen *CN* und *S* kein Abfluss stattfinden kann (Maniak, 1993). Zu dieser Art von Problem kommt es jedoch in keinem der Teileinzugsgebiete. Daher ist dieser Hinweis in diesem Fall zu vernachlässigen.

Um das SCS-Verfahren anzuwenden, muss als erstes der CN-Wert für jedes einzelne Teileinzugsgebiet berechnet werden. Die Hauptfaktoren, die diesen definieren sind (NRCS, 1986):

- die Hydrologische Bodenfeuchteklasse
- die Vegetationsbedeckung
- die Landnutzung
- die hydrologischen Eigenschaften (Durchlässigkeit)
- frühere Abflusseigenschaften (ARC = antecedent runoff conditions)



Abb. 27 $N_{eff} = f(N,CN)$ für $I_a = 0.2*S_{max}$ nach dem SCS-Verfahren (Quelle: Ostrowski 2011)

Über die Bestimmung der Bodenfeuchteklasse des Teileinzugsgebietes fließt der Einfluss des Vorregens in den Gebietskennwert CN ein. Dafür wird die Niederschlagssumme der fünf dem Ereignis vorangehenden Tage verwendet (siehe Tabelle 2) (DVWK, 1984).

Bodenfeuchteklasse	Niederschlagshöhe in den vorangegangenen 5 Tagen in mm					
	Vegetationsperiode	Übrige Zeit				
I	< 30	< 15				
II	30-50	15-30				
III	> 50	> 30				

 Tabelle 2 Bodenfeuchteklassen SCS-Methode (Quelle: erstellt nach DVWK 1984)

Für Bemessungszwecke wird vom DVWK (1991) empfohlen, generell von Bodenfeuchteklasse II auszugehen. "Sie entspricht einer fünftägigen Niederschlagssumme (Vorregen) zwischen 30 und 50 mm während der Vegetationszeit und 15 bis 30 mm außerhalb der Wachstumszeit, das heißt eine mehr als durchschnittliche, wenn auch nicht extrem hohe Bodenfeuchte" (Maniak, 2010, S 303).

Der Faktor Bodenart wird mit Hilfe von vier Bodentypen in den CN-Wert integriert. Man unterscheidet dabei vier sogenannte "Hydrologic Soil Groups" A bis D. Sie unterscheiden sich vor allem im Versickerungsvermögen und der Abflussbereitschaft (DVWK, 1991). Vom SCS wird eine umfangreiche Liste aller in den USA vorkommenden Bodenarten mit der jeweiligen Zuordnung zu den Bodentypen angeboten (NRCS, 1986). Im Heft des *DVWK*, 1984, *S* 6-7 wird eine vereinfachte Version angeboten, die auf mitteleuropäische Verhältnisse angepasst ist und deshalb für diese Arbeit als besser geeignet erscheint.

"Bodentyp A	Böden mit großem Versickerungsvermögen, auch nach starker				
	Vorbefeuchtung (z.B.: tiefe Sand- und Kiesböden)				
Bodentyp B	Böden mit mittlerem Versickerungsvermögen, tiefe bis mäßig tiefe				
	Böden mit mäßig feiner bis mäßig grober Textur (z.B.: mitteltiefe				
	Sandböden, Löss, (schwach) lehmiger Sand)				
Bodentyp C	Böden mit geringem Versickerungsvermögen, Böden mit feiner bis				
	mäßig feiner Textur oder mit wasserstauender Schicht (z.B.: flache				
	Sandböden, sandiger Lehm)				

Bodentyp D Böden mit sehr geringem Versickerungsvermögen, Tonböden, sehr flache Böden über nahezu undurchlässigem Material, Böden mit dauernd sehr hohem Grundwasserspiegel."

Für die Ermittlung der Bodentypen im Einzugsgebiet wären auf den ersten Blick die Daten aus dem Portal e_{BOD} geeignet gewesen. Da jedoch, wie in Kapitel 2.4 bereits erwähnt, eine gewisse Problematik mit der Gesamtabdeckung des Einzugsgebietes besteht, musste eine Alternative gewählt werden. Das Problem wurde folgendermaßen gelöst. Die Bereiche des Einzugsgebietes, die durch e_{BOD} abgedeckt sind, wurden mit Hilfe der vorhandenen Daten bearbeitet (siehe Abb. 6). Für die fehlenden Bereiche wurde die Geologie des Gebietes herangezogen (Hesse, 2012). Alle Geologischen Bereiche des Einzugsgebietes können über ihre verschiedenen Durchlässigkeiten in Klassen eingeteilt werden. Diese Einteilung der Durchlässigkeitsklassen (Abb. 28) wurden Hesse (2012) entnommen, da die beiden benachbarten Täler (Wildschönau und Alpbachtal) annähernd dieselben geologischen Eigenschaften aufweisen. In Abb. 29 sieht man die Durchlässigkeitsklassen im Einzugsgebiet.

	Gestein		
	Serizitschiefer und Metasubgrauwacken Quazzphyllit Wildschönauer Schiefer Schwarzer Augengneis Sandstein, Silt- und Tonstein Tonschiefer Schiefertone/Mergel Metadiabase, Metabasite, Metatuffe und -tuffite	Zeichenerklärung	
Ш	Schwarzer Dolomit Wettersteindolomit Alpiner Buntsandstein Rauhwacke/Breccien Reiflinger Kalke Hauptdolomit Virgloriadolomit	I tendenziell undurchl. Festgesteine III undurchlässige Lockergesteine	II tendenziell durchl. Festgesteine IV, durchlässige Lockergesteine
Ш	Moräne (undifferenziert) Rutschmasse, Sackung, instabiler Hang Tone		
IV	Klese Blockmoräne (aus ortsnahem Material) Blockwerk Bergsturzblockwerk/Grobblockwerk		

Abb. 28 eindeutig bezüglich relativer Durchlässigkeit klassifizierbare Gesteine im EZG des Alpbaches mit Flächenanteilen (Quelle: Hesse, 2012)



Abb. 29 Durchlässigkeiten der Gesteine im Einzugsgebiet (Quelle: eigene Grafik bearbeitet nach Hesse 2012)

Durch eine Verschneidung mit dem Programm ArcGIS von dieser Karte mit der Karte aus e_{BOD} konnten die Hydrologic Soil Groups für das Einzugsgebiet ermittelt werden.

Auch die Landnutzung fließt in den CN-Wert mit ein. Der DVWK bietet auch in diesem Fall eine vereinfachte Darstellung der Nutzungsarten an, die extra auf mitteleuropäische Verhältnisse abgestimmt ist (siehe Abb. 30) (DVWK, 1991).

Bodennutzung	CN für Bodentyp				
	Α	В	С	D	
Ödland (ohne nennenswer- ten Bewuchs)	77	86	91	94	
Hackfrüchte, Wein	70	80	87	90	
Wein (Terrassen)	64	73	79	82	
Getreide, Futterpflanzen	64	76	84	88	
Weide (normal)	49	69	79	-84	
(karg)	68	79	86	89	
Dauerwiese	30	58	71	78	
Wald (stark aufgelockert)	45	66	77	83	
(mittel)	36	60	73	79	
(dicht)	25	55	70	77	
Undurchlässige Flächen	100	100	100	100	
versiegelter Anteil von Ort-		1.			
schaften, Straßen usw.)		· .			
		1. K			

Abb. 30 CN-Werte in Abhängigkeit von Bodentyp und Bodennutzung für Bodenfeuchteklasse II (Quelle: DVWK 1984)

Um auch die zahlreichen lose bebauten Gebiete mit einzubeziehen, wurde die Kategorie "Wirtschaftshöfe" aus der von Maniak (2010) bereitgestellten CN-Tabelle hinzugefügt (siehe Tabelle 3).

Bodennutzung	CN für Bodengruppe				
	A	В	С	D	
Wirtschaftshöfe	59	74	82	86	

Tabelle 3 Ausschnitt aus der CN-Tabelle, Kategorie "Wirtschaftshöfe" (Quelle: erstellt nach Maniak 2010)

Um nun zur Berechnung des CN-Wertes die Landnutzungsklassen im Einzugsgebiet zu bestimmen, wurden die in Kapitel 3.4 beschriebenen Seger-Daten herangezogen. Die Daten mussten jedoch noch an die von der DVWK und Maniak vorgeschlagene Einteilung in Landnutzungsklassen angepasst beziehungsweise vereinfacht werden. Das Ergebnis ist Abb. 31.



Abb. 31 Bodennutzungsklassen im Einzugsgebiet auf Basis der Seger-Daten (Quelle: eigene Grafik)

Diese Karte wurde nun wiederum im ArcGIS mit den Hydrologic Soil Groups verschnitten. Da in jedem Teileinzugsgebiet natürlich zahlreiche unterschiedliche Bodentypen und Nutzungsarten vorliegen, wurden die CN-Werte für jedes der Teileinzugsgebiete gewichtet ermittelt. Das Ergebnis daraus ist Abb. 32.



Abb. 32 gemittelte CN-Werte der Teileinzugsgebiete (Quelle: eigene Grafik)

4.2.3 SCS Unit Hydrograph – Das Einheitsganglinienverfahren

Da es sich bei der "Unit Hydrograph"-Methode um ein altbewehrtes, bekanntes, vielseitig eingesetztes Modell zur Beschreibung der Abflusskonzentration eines Einzugsgebietes handelt, wurde es für diese Arbeit ausgewählt. Grundsätzlich ermöglicht es, eine Beziehung zwischen einem Niederschlag und einem direkt daraus resultierendem Abfluss herzustellen (Feldman, 2000). Außerdem ist diese Methode gut mit dem SCS-Verfahren kompatibel. Maniak (2010) definiert den Unit Hydrograph (siehe Abb. 33) folgendermaßen:

"Die Einheitsganglinie (Unit Hydrograph) ist die aus 1 mm abflusswirksamen Niederschlag pro gewähltem Zeitintervall ($I_w = 1 \text{ mm}/\Delta t$) resultierende Ganglinie des direkten Abflusses" (Maniak, 2010, S 307).



Abb. 33 Beziehung von t_c und t_{lag} zu einer dimensionslosen Einheitsganglinie (Quelle: NRCS 2007)

Das Konzept des Einheitsganglinienverfahrens wurde im Jahr 1932 von L. K. Sherman entwickelt. Die Methode wurde für kleine bis mittelgroße Einzugsgebiete ausgearbeitet, um Abflussganglinien für jeden beliebigen Regenfall zu erstellen (Mishra & Singh, 2003). Es ermöglicht, den abflusswirksamen Niederschlag in eine Hochwasserabflussganglinie zu transformieren (Nachtnebel 2007/08). Um das Einheitsganglinienverfahren erfolgreich anzuwenden, wird empfohlen, dass das Einzugsgebiet annähernd gleichförmig überregnet wird und es sollte sich um ein Einzugsgebiet mit homogenem Abflussverhalten handeln (Feldman, 2000).

Das Konzept des Einheitsganglinienverfahrens basiert auf den entscheidenden Annahmen von Linearität, Zeitinvarianz und Superposition (Mishra & Singh, 2003). Gerade auch deshalb ist der Unit Hydrograph ein sehr flexibles Tool zur Erstellung von Abflussganglinien (NRCS, 2007a). Im Prinzip wird angenommen, dass ein Effektivniederschlag der Dauer Δt immer die gleiche Abflussganglinie erzeugt – die Einheitsganglinie (Zeitinvarianz). Niederschläge mit einer größeren Höhe berücksichtigt man durch proportionale Erhöhung der Abflussordinaten. Das bedeutet, dass doppelter Effektivniederschlag im selben Zeitraum einen doppelten Abfluss in allen Zeiträumen auslöst (Linearität) (Nachtnebel 2007/08). Das macht es möglich, den UH für verschiedene Niederschlagskombinationen umzuformen. Zeitintervalle und Man erhält die Gesamtganglinie für den direkten Abfluss durch Überlagerung (Superposition) von Einzelwellen. Diese Einzelwellen entstehen je aus einem Intervall des effektiven Niederschlags. Jedes Niederschlagsereignis wiederum setzt sich aus einer gewissen Anzahl an solchen Intervallen mit der Dauer D und einer bestimmten Intensität zusammen (siehe Abb. 34). Am einfachsten ist eine Einheitsganglinie zu erhalten, wenn der abflusswirksame Niederschlag nur aus einem Zeitintervall besteht. Dies ist der Fall bei Blockregen (Maniak, 2010) (siehe Abb. 21).



Abb. 34 Überlagerung dreier einzelner Abflussganglinien zu einer Gesamtganglinie (Quelle: Nachtnebel 2007/08)

Aus Abb. 34 lässt sich für beliebige Werte m (Anzahl der Ordinaten mit Niederschlag) und n (Anzahl der Einheitsganglinien-Ordinaten) folgendes Gleichungssystem ableiten (Nachtnebel 2007/08, S 212).

$$HQ = \sum_{k=1}^{m} \left[(U_{i-k+1}) * N_{effk} \right]$$
(17)
für 0 < i-k+1 > n

Den Kern der Unit-Hydrograph-Methode im Modell HEC-HMS bildet eine dimensionslose Einheitsganglinie mit einer Abflussspitze (siehe Abb. 33). Die Abflussspitze der Einheitsganglinie U_p und die t_p , die Zeit bis zum Erreichen der Abflussspitze stehen dabei in folgender Beziehung (Feldman, 2000).

$$U_p = C * \frac{A_E}{t_p} \tag{18}$$

 t_p berechnet sich dabei wie folgt

$$t_P = \frac{\Delta t}{2} + t_{lag} \tag{19}$$

Die für die Formel benötigte Einzugsgebietsverzögerung t_{lag} , ist die Zeit, die vergeht zwischen dem Auftreten einer bestimmten Regenmenge und der daraus resultierenden Abflussmenge. In der Praxis wird t_{lag} aus Einzugsgebietscharakteristika berechnet (Mishra & Singh, 2003).

Von der SCS wird für Einzugsgebiete ohne Pegelmessungen, wie es in diesem Fall vorliegt, folgende Formel vorgeschlagen.

$$t_{lag} = 0.6 * t_c \tag{20}$$

Da jedoch t_c im Einzugsgebiet nicht als eindeutiger Wert bekannt ist, wird in diesem Fall zur Berechnung von t_{lag} die Formel von Mishra & Singh (2003) herangezogen, bei der alle Parameter bekannt sind.

Die Formel ist limitiert auf Gebiete mit einer Größe bis zu 16 km² (Mishra & Singh, 2003). Da die SCS-Methode in diesem Fall mit der Hilfe von Teileinzugsgebieten ausgeführt wird, ist keines der Gebiete größer als 16 km² und die Formel kann verwendet werden.

$$t_{lag} = \frac{L_T^{0.8} (2540 - 22.86CN)^{0.7}}{14104CN^{0.7} * J_{OB}^{0.5}}$$
(21)

Ist nun die Lag-Time bestimmt, berechnet das Programm mit Hilfe von Gleichung (19) die Zeit bis zum Erreichen der Abflussspitze und schließlich mit Gleichung (18) die Spitze des UH. Sind dann t_p und U_p bekannt, kann die Einheitsganglinie über das in das Modell integrierte dimensionslose Schema durch Multiplikation ermittelt werden (siehe Gleichung 17) (Feldman, 2000).

Für die hydraulische Berechnung (Translation) in dieser Arbeit wurde im Zuge des SCS-Verfahrens die Lag-Methode gewählt, da diese am einfachsten auszuführen ist. Dabei ist die Abflussganglinie ganz einfach gleich dem Hydrographen des Zuflusses, nur in zeitlich verzögerter Form (siehe Abb. 35). Der Abfluss wird nicht abgeschwächt, also verändert sich die Form des Hydrographen nicht. Mathematisch bedeutet dies folgendes (Feldman, 2000).

$$O_t = \begin{cases} I_t, \ t < lag\\ I_{t-lag}, \ t \ge lag \end{cases}$$
(22)



Abb. 35 Beispiel für Translation (Quelle: Feldman 2000)

4.2.4 Niederschlagsinput

Der Niederschlagsinput für das Modell HEC-HMS basiert, wie schon beim Modell ZEMOKOST, auf den Bemessungsniederschlägen, die online vom Lebensministerium zur Verfügung gestellt werden. Die bereits für das Modell ZEMOKOST über das Einzugsgebiet flächenmäßig gewichteten und gemittelten Niederschläge müssen für das Modell HEC-HMS noch weiter bearbeitet werden. Sie müssen bereits im Vorfeld abgemindert werden. Für eine "sanfte Abminderung" wird dabei folgende Annäherung von Lorenz & Skoda vorgeschlagen (Lorenz & Skoda, 2000). Diese wird für Szenario 2 benötigt.

$$h_N = h_{N_{max}} * e^{-k * A^{0.5}}$$
(23)

$$k = 0.19 * D^{-0.56} \tag{24}$$

Im Fall von Szenario 1 wird jedoch die "starke Abminderung" nach Blöschl (2009) verwendet.

$$h_N = h_{N_{max}} * e^{\left(-0.48 * D^{-0.44}\right) * A_E^{0.41}}$$
(25)

Die bereits für das Modell ZEMOKOST aufbereiteten Bemessungsniederschläge aus dem Portal e_{hyd} wurden in einer Excel Tabelle abgemindert. Die dazugehörige Tabelle findet sich im Anhang unter J.

Auch die zeitliche Niederschlagsverteilung hat großen Einfluss auf die resultierende Abflussganglinie. Im Modell ZEMOKOST wurde Blockregen verwendet, der einen konstanten zeitlichen Intensitätsverlauf aufweist (siehe Abb. 21). In Wirklichkeit ist die Niederschlagsintensität jedoch ständigen zeitlichen Schwankungen unterworfen, die in einem Modell nur näherungsweise berücksichtigt werden können (DVWK, 1984).

Wenn die Niederschläge wie bei Blockregen gleichmäßig über die Zeit verteilt werden, kommt es dadurch im Allgemeinen zu kleineren Scheitelabflüssen als mit anderen Intensitätsverläufen. Durch Proberechnungen und Untersuchungen wurde festgestellt, dass ein Niederschlag, der das Intensitätsmaximum in der Mitte aufweist, qualitativ am ehesten einem ungünstigen Regenverlauf gleicht (siehe Abb. 36) (DVWK, 1984).



smaximum

Aus diesem Grund wird vom DVWK ein Niederschlagsverlauf mit drei unterschiedlichen Intensitäten empfohlen (siehe Abb. 36). "In den ersten 30% der Niederschlagsdauer D werden 20 % der Gesamtniederschlagshöhe N angesetzt, in den folgenden 20 % der Dauer 50 % des Gesamtniederschlages und in den restlichen 50 % die restlichen 30 % der Gesamtniederschlagshöhe"(DVWK, 1984, S 6).





Da im Vergleich zu ZEMOKOST, im Modell HEC-HMS ein solcher Niederschlagsverlauf möglich ist, wurde dieser Empfehlung nachgekommen. Mit Hilfe einer Tabelle wurde der stark abgeminderte Bemessungsniederschlag in einen DVWK-Regen umgewandelt.

Ein kritischer Parameter zur Ermittlung des abflusswirksamen Niederschlages ist die Konzentrationszeit, t_c . Da es einige unterschiedliche Definitionen der Konzentrationszeit gibt, werden folgend die für diese Arbeit herangezogenen definiert.

Die allgemeine hydrologische Definition lautet folgendermaßen:

"Die Konzentrationszeit entspricht der Fließzeit, die ein Wasserteilchen benötigt, um vom äußersten Punkt des Einzugsgebietes (Wasserscheide) bis zum Gebietsauslass zu gelangen. Sie entspricht der Zeitspanne vom Regenbeginn bis zu dem Zeitpunkt, zu welchem der gesamte effektive Niederschlag (=direkter Abfluss) den Gebietsauslass erreicht" (Maniak, 1993, S 319). Innerhalb des Programms HEC-HMS wird die Konzentrationszeit t_c jedoch folgendermaßen definiert: Sie ist die Zeit vom Ende des Starkniederschlags bis zum Wendepunkt (=point of inflection) des Hydrographen (NRCS 2007, Feldman 2000) (siehe Abb. 33).

Lorenz und Skoda, 2000, S 12 bezeichnen D_k , die kritische Dauerstufe, als Konzentrationszeit. Sie definieren sie als *"die Zeit, die nach Beginn des Niederschlages verstreicht, bis alle Punkte des Einzugsgebietes zum Abfluss an der tiefsten Stelle beitragen"*. Die Idee dahinter ist, dass der stärkste Abfluss am Endpegel erreicht wird, sobald auch Niederschlag vom am weitesten entfernten Geländepunkt die Messstelle erreicht.

"Die kritische Dauerstufe D_k entspricht für Bemessungsniederschläge der unteren Schranke von zu wählenden Andauerwerten D" (Lorenz & Skoda, 2000, S 14). Die Regendauer ist also laut Lorenz & Skoda (2000) für die Simulation größer oder gleich der kritischen Regendauer zu wählen. Das Modell ZEMOKOST sucht sich die Dauerstufe mit dem höchsten resultierenden Abfluss automatisch. Um jedoch für das Modell HEC-HMS einen ungefähren anfänglichen Einstiegswert für die Regendauer zu erhalten, wurde die kritische Dauerstufe von Lorenz und Skoda berechnet. In der Literatur finden sich zahlreiche Formeln zur einfachen Bestimmung dieser kritischen Dauerstufe. Die einfachste Beziehung beinhaltet nur die Fläche des Einzugsgebietes in Form einer Potenzfunktion (Lorenz & Skoda, 2000).

$$D_k = 8.55 * A_E^{0.63} \tag{26}$$

Lorenz und Skoda (2000) empfehlen jedoch, auf die Anwendung dieser vereinfachten Gleichung von Pilgrim (1987) (zitiert in Lorenz & Skoda, 2000) zu verzichten.

"Allgemein ist D_k als ein Verhältnis von L/v darstellbar, mit L [km] als Länge des Hauptabflusses im Einzugsgebiet und v [m/s] als einer charakteristischen Abflussgeschwindigkeit innerhalb des Einzugsgebietes mit der Fläche A_E " (Lorenz & Skoda, 2000, S 12). Da v in diesem Fall nicht bekannt ist, wurde die Berechnung umgangen. Auf der Suche nach einer einfachen und leicht nachvollziehbaren Lösung wurde folgende von Lorenz & Skoda (2000) empfohlene Vorgehensweise gewählt.

Die kritische Dauerstufe kann dabei als Funktion der maximalen Höhendifferenz ΔH und der Gebietsfläche A_E abgeschätzt werden. Die Gleichungen lauten

$$D_k = \frac{58*L}{A_E^{0.1}*1.34*S^{0.32}} \tag{27}$$

oder

$$D_{k} = 59.34 * A_{E}^{0.692} * (\Delta H)^{-0.32}$$
(28)

Der Parameter ΔH kann sehr einfach berechnet werden. Die höchste Seehöhendifferenz im Einzugsgebiet errechnet sich aus Seehöhe des höchstgelegenen Punktes des Einzugsgebietes minus der Seehöhe des tiefst gelegenen Punktes im Einzugsgebiet. Die Fläche des Einzugsgebietes ist bekannt. Der Bezug der Fläche zur Hangneigung wird über die Größe *L* hergestellt (Lorenz & Skoda, 2000). Man kann dazu die Näherung nach Rosso et al. (1991) verwenden.

$$L = 1.27 * A_E^{0.6} \tag{29}$$

Auch Blöschl (1996) schlägt eine sehr ähnliche Formel zur Berechnung von L vor

$$L = 1.40 * A_E^{0.6} \tag{30}$$

Der noch fehlende Parameter S [m km⁻¹] kann anschließend durch folgende Beziehung ersetzt werden (Lorenz & Skoda, 2000).

$$S = \Delta H/L \tag{31}$$

Die genaue Berechnung von D_k befindet sich im Kapitel D im Anhang. Sie führt für das Einzugsgebiet der Wilschönauer Ache zu einer D_k von 118 Minuten. Die Regendauer wurde deshalb im Programm HEC-HMS anfangs mit 120 Minuten festgesetzt.

4.3 Ergebnisse aus der Niederschlags-Abfluss-Modellierung

Mit Hilfe des Programmes **ZEMOKOST** wird bei starker Abminderung für **Szenario 1** (in dem das ganze Einzugsgebiet homogen überregnet wird) für ein HQ_{100} ein Wert von **152 m³/s** als Abflussspitze erreicht (siehe Abb. 38). Dabei wird eine Abflussfracht von ~1.600.000 m³ errechnet.



Abb. 38 Ganglinien der Teileinzugsgebietsknoten aus ZEMOKOST (Quelle: eigene Grafik)

Für ein HQ_{150} wird ein Wert von 179 m³/s erreicht, wobei die Abflussfracht ~1.750.000 m³ beträgt. Beiden Ergebnissen wird von ZEMOKOST automatisch eine Dauerstufe von 98 min (HQ₁₀₀) bzw. 100 min (HQ₁₅₀) unterstellt.

Für Szenario 2 bei schwacher Abminderung wird ein **HQ**₁₀₀-Wert von **82 m³/s** berechnet. Die Abflussfracht beträgt ~447.000 m³.

Für Szenario 3 erhält man mit starker Abminderung einen HQ₁₀₀-Wert von 205 m³/s mit einer Abflussfracht von ~1.400.000 m³.

Das Ergebnis für ein HQ₁₀₀ für **Szenario 1** mit dem Modell **HEC-HMS** ist mit Blockregen 205 m³/s mit einer Fracht von 1.782.000 m³ (bei einer kritischen Dauerstufe von 120 min). Da dieser Wert jedoch etwas zu hoch erscheint, wurde dem Modell, angepasst an das Modell ZEMOKOST eine Dauerstufe von 90 unterstellt. Dann kommt man mit Blockregen zu einem HQ₁₀₀ von 185 m³/s mit einer Abflussfracht von ~1.500.000 m³ (siehe Abb. 39).



Abb. 39 resultierende Ganglinie aus der Modellierung mit HEC-HMS für ein HQ₁₀₀ (D=90) (Quelle: eigene Grafik)

Es wird zwar empfohlen, für die Bemessung die höchsten Scheitelwerte aus dem Programm HEC-HMS zu verwenden, da diese jedoch eher unrealistisch hoch angesiedelt sind – bei einer Dauerstufe von 200 Minuten erreicht man den Höchstwert von 220 m³/s für ein HQ₁₀₀ bzw. 232 m³/s für ein HQ₁₅₀ (siehe Abb. 40) – wird für alle weiteren Berechnungen dennoch eine Dauerstufe von 90 min unterstellt.



Abb. 40 Abflussspitzen HEC-HMS für HQ₁₀₀ und HQ₁₅₀ mit zunehmender Regendauer D (Quelle: eigene Grafik)

Rechnet man für Szenario 1 das HQ₁₀₀ (D=90) mit DVWK-Regen-Input, kommt man zu einem Ergebnis von 197 m³/s mit einer Fracht von ~1.500.000 m³.

Für ein HQ₁₅₀ mit Blockregen beträgt das Ergebnis 196 m³/s mit einer Fracht von ~1.600.000 m³ (D=90). Ein HQ₁₅₀ mit DVWK-Regen beträgt 209 m³/s mit einer Fracht von ~1.600.000 m³.

Für Szenario 2 kommt man mit Blockregen zu einem Ergebnis von 75 m³/s mit einer Abflussfracht von 525.000 m³ und mit DVWK-Regen zu 86 m³/s mit einer Fracht von 525.000 m³.

		Н	HEC-HMS		ZEMOKOST		
		HQ	Vw	HQ	Vw		
Szenario 1	HQ ₁₀₀	184,7	1.497.700	152	1.606.400		
	HQ ₁₅₀	195,6	1.587.200	179	1.757.100		
Szenario 2	HQ ₁₀₀	74,8	525.300	82,2	446.500		
Szenario 3	HQ ₁₀₀	-	-	205,4	1.416.300		

Tabelle 4 Auflistung der Ergebnisse aus der N-A-Modellierung (Quelle: eigene Tabelle)

5 Die HOWATI-Studie

Die HOWATI (Hochwasser in Tirol) Studie wurde vom Hydrographischen Dienst Tirol und dem Forsttechnischen Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung Sektion Tirol durchgeführt. Ein Hauptgrund für die Entstehung des Projektes war, dass es in der Praxis sehr unterschiedliche Herangehensweisen an die Berechnung von Bemessungsgibt. Der Flussbaubereich arbeitet vorwiegend mit statistischen hochwässern Auswertungen langer Hochwasserbeobachtungsreihen, während die Wildbach- und Lawinenverbauung vor allem mit "Faustformeln", Geländebegehungen und Niederschlag-Abfluss-Modellen arbeitet. Diese beiden Arbeitsweisen bringen oft sehr unterschiedliche Ergebnisse hervor. Der statistische Ansatz hat den Vorteil, dass die Jährlichkeit des berechneten Hochwassers klar angegeben werden kann und die Prozesse im Einzugsgebiet werden integrativ berücksichtigt. Die Niederschlag-Abfluss-Modellierung hingegen hat den Vorteil, dass detaillierter auf die lokale hydrologische Situation eingegangen werden kann. Außerdem sind für eine Berechnung keine Abflussdaten notwendig. Dies ist vor allem in kleineren oder abgelegeneren Wildbacheinzugsgebieten ohne Pegeldaten von Vorteil. Wenn man diese beiden Vorgehensweisen auf dasselbe Einzugsgebiet anwendet, kommt man oft zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen. Um die Bemessungshochwässer in Österreich zu harmonisieren, wurde das HOWATI-Projekt entwickelt. Das Ziel dabei war, die Ursachen für die Unterschiede bei den angewendeten Methoden zu verstehen (Rogger et al. 2011).

Zu Beginn des Projektes wurden zehn Leiteinzugsgebiete in Tirol bestimmt (siehe Abb. 41).



Abb. 41 Leiteinzugsgebiete des HOWATI-Projektes (Quelle: Rogger et al. 2011)

In diesen zehn Einzugsgebieten wurden Feldbegehungen gemacht und dabei das oberflächliche Abflussverhalten sowie die hydrologische Situation genau aufgenommen. Anschließend wurden mit dem Niederschlag-Abfluss Modell ZEMOKOST und mit statistischer Langzeitsimulation (Monte Carlo) Bemessungshochwässer berechnet. Die abweichenden Ergebnisse lassen sich vor allem durch die unterschiedlichen Niederschlagsdateninputs erklären. Die durch diesen Vergleich gewonnenen Erkenntnisse in den zehn Leiteinzugsgebieten, wurden anschließend in eine flächendeckende Auswertung für ganz Tirol übernommen (siehe Abb. 42) (Rogger et al 2011). Als Grundlage für diese flächendeckenden Auswertungen dienten die Werte aus dem HORA-Projekt (siehe Merz et al. 2008).

Der im Zuge des Projektes errechnete HOWATI Wert für die Kundler Ache beträgt laut Rogger et al. (2011):

- 135 m³/s für ein HQ₁₀₀ und
- 148 m³/s für ein HQ₁₅₀



Abb. 42 HOWATI Abflussspenden HQ₁₀₀ (m³/s/km²) (Quelle: bearbeitet nach Rogger et al 2011)

6 Berechnung des HQ mit Hilfe von Abflussformeln

6.1 Abflussformel nach Wundt

$$HQ = 13,8 * A_E^{0,6} \tag{32}$$

Wundt verwendet zur Berechnung des Hochwasserabflusses ein Schätzverfahren auf Basis der Größe des Einzugsgebietes, da sie eine der am einfachsten zu ermittelnden Größen ist (Wundt 1953). "Da starke Niederschläge räumlich begrenzt sind, muss man laut Wundt

eine Zunahme der Abflussspende mit dem Kleinerwerden der Fläche erwarten" (Wundt, 1953, S 219). Die Formel kann für Einzugsgebiete von 1 bis 100 km² verwendet werden und basiert auf der Verwendung von Hüllkurven. Hüllkurven sind die oberen Begrenzungen der gemessenen und beobachteten Extremwerte von Hochwasserabflüssen. Damit die Hüllkurve nicht zu stark durch Ausreißer beeinflusst wird, werden Richtkurven verwendet (Hagen et al. 2007). Die 90 %-Richtkurve entspricht einer Hüllkurve, unter der 90 % der Hochwässer dieser Gebiete liegen und die somit in 10 % der Fälle überschritten werden. Die 100 %-Richtkurve umfasst die erreichten Spitzenwerte der Hochwässer (Wundt, 1965). Wundt erstellte diese Hüllkurven anhand der höchsten beobachteten Abflussspenden der letzten Jahrzehnte (hauptsächlich in Mitteleuropa). Die häufigsten Beobachtungen wurden in Einzugsgebieten mit einer Größe von 100 bis 1000 km² Größe im Bergland und in kontinentaler Lage gemacht (Hagen et al. 2007). Durch die zwei konstanten Werte sind die allgemeine Lage des Einzugsgebietes und die klimatischen Bedingungen in der Formel integriert (Wundt, 1953).

Die hierbei für die Berechnung verwendete 90 %-Richtkurve kann laut Kreps 1975 in Österreich überall wo keine besondere Retentionswirkung im Einzugsgebiet zu erwarten ist, einem HQ₁₀₀ gleichgesetzt werden. Kreps empfiehlt die Formel, wenn das Gelände so beschaffen ist, dass jeder Regentropfen, der auf das Gebiet auftrifft, die Chance hat, den Vorfluter zu erreichen. Von allen Hochwasserformel-Autoren hat Wundt die meisten Messdaten gesammelt und es kann innerhalb Deutschland und Österreich seinen Richtkurven am meisten Vertrauen geschenkt werden (Kreps, 1975).

Das Ergebnis ist ein Hochwasserabfluss ohne Jährlichkeit, beziehungsweise laut Kreps (1975) ein HQ_{100} . Man kommt mit der Formel für das Einzugsgebiet der Kundler Ache zu einem Ergebnis von 201 m³/s.

Die 90%-Richtkurve wird auch in der Praxis von der WLV verwendet (in Kombination mit dem SCS-Verfahren und anderen Formelberechnungen). Die Ergebnisse dienen unter anderem als Vergleichswerte für die Gefahrenzonenplanung. Dennoch kann es mit dieser Formel zu einer Überschätzung kommen, da keine Anpassung an die Gebietsgegebenheiten möglich ist (Hagen et al. 2007).

6.2 Abflussfomel nach Bergthaler

$$HQ = 0.185 * i * t_c^{-0.78} * \alpha * A_E$$
(33)

Der Parameter i, die Regenintensität, ist eine Funktion der Anlaufzeit. Sie wird aus Regenintensitätskurven ermittelt. Im Bereich der Gebietsbauleitung Unteres Inntal lassen sich laut Bergthaler 1991 zwei unterschiedliche Niederschlagsgebiete festlegen. Südlich der Linie Wörgl-Ellmau-St. Johann in Tirol befindet sich die Grauwackenzone mit 100jährlichen Tagesregenhöhen von 90-120 mm. Zwei Drittel der verbauten Bäche sind in diesem Bereich mit vorherrschender Gewittertätigkeit. Der nördliche Teil befindet sich in der Kalkzone mit 100-jährlichen Tagesniederschlagshöhen von 120 bis 175 mm. Im Tiroler Unterland/Unterinntal kann es schon nach kurzer Distanz recht unterschiedliche Regenintensitäten geben. Wenn der Regen solange dauert, wie die Anlaufzeit des Hochwassers, dann beteiligt sich auch der Regen am Abfluss, der am weitesten entfernten Punkt des Einzugsgebietes gefallen ist. Die Anlaufzeit eines Hochwassers ist also die Abflussdauer eines Regentropfens vom entferntesten Punkt bis zur Messstelle. Erst dann sind alle Regentropfen am Abfluss beteiligt und es kommt zu einem Maximum. Die Laufzeit t_c ist vor allem abhängig von der Größe und Form des Einzugsgebietes. Sie kann durch die Annahme einer rechteckigen Niederschlagsfläche sehr einfach ermittelt werden (siehe Gleichung 34 und 35) (Bergthaler, 1991).

Der Parameter *i* wird von der Wildbach und Lawinenverbauung GBL Wörgl mit 1219 angenommen, da in diesem Fall t_c größer als 18 min ist. Dieser Wert bestätigt sich durch eine eigene Berechnung von *i* nach Bergthaler 1991 (siehe Gleichung°36). Für die Gleichung wird i_{60} benötigt. Es handelt sich dabei um die Intensität eines Regens von 1°h Dauer. Der Wert von i_{60} für das Einzugsgebiet der Kundler Ache wurde aus Bergthaler 1991 entnommen. Er beträgt 50°mm/h.

Alpha ist in der Formel der Abflussbeiwert. Er wird in diesem Fall mit 0,4 angenommen (aus ZEMOKOST entnommener Wert). Die Fließgeschwindigkeit *v* wurde erst mit 2 m/s als gemittelter Wert dem Programm ZEMOKOST entnommen. Da dies aber als zu niedrig erschien, wurde der Wert schließlich bei 2,75 m/s angesetzt.
Bergthaler (1991) nimmt dazu folgende Gleichungen an.

$$t_c = \frac{50*A_E^{0.5}*K^{0.5}}{3*\nu} \tag{34}$$

wobei

$$K = \frac{L^2}{A_E} \tag{35}$$

$$i = 24,38 * i_{60} \tag{36}$$

Mit der Formel kommt man für das Einzugsgebiet zu einem Ergebnis von **158 m³/s**. Die Konzentrationzeit beträgt dabei 148 min.

Bergthaler (1991) berechnet ein HQ_{100} für die Kundler Ache. Er berechnet die Hochwassermenge jedoch für den Ort Mühltal in der Wildschönau. Das Einzugsgebiet ist dabei nur 51 km² groß. Er kommt dabei zu einem Höchstwert von 146 m³/s (je nach verwendeter Hochzahl). Man kann deshalb davon ausgehen, dass der zu erwartende HQ_{100} -Wert für die Kundler Ache in Kundl mit dem aus Gleichung 33 errechneten Wert durchaus plausibel ist.

6.3 Abflussformel nach Hofbauer

$$HQ = \alpha * 60 * \sqrt{A_E}$$
(37)

Hofbauer wendet ein Schätzverfahren mit einem Modellkoeffizienten an. Dabei wird, ähnlich wie bei Wundt, das *HQ* durch eine Hüllkurve berechnet. Auch diese Formel dient nur zur Abschätzung, da sie oftmals überschätzt (Hagen et al. 2007). Die Formel ist für Einzugsgebiete mit einer Größe von 10 km² bis 20.000 km² geeignet. Sie ergibt Höchstwerte des Abflusses in m³/s. Das Ergebnis ist nur dann als korrekt aufzufassen, wenn die maximale Abflussdauer (Konzentrationszeit) gleich oder kleiner ist, als die Regendauer. Ist die Regendauer kleiner als die Ablaufdauer, ergibt die Formel für Einzugsgebiete in Österreich zu große Abflussmengen (Hofbauer, 1916).

Hofbauer geht davon aus, dass ein bestimmter Teil des Niederschlages nicht zum Abfluss beiträgt und integriert daher den Parameter Alpha, den Abflussbeiwert, in die Formel. Außerdem wird eine mittlere, konstante Niederschlags-Intensität über dem gesamten Einzugsgebiet angenommen (Hagen et al. 2007).

Der Modellkoeffizient Alpha ist folgendermaßen definiert:

- 0,5 0,7 Bergland (kesselförmige Einzugsgebiete)
- 0,35 0,5 Hügelland und Mittelgebirge
- 0,25 0,35 Flachland (lang gestreckte und schmale Einzugsgebiete)

Für Alpha ist demnach im Einzugsgebiet ein Wert im Bergland- bzw. Mittelgebirgsbereich anzunehmen. Es wird empfohlen, den unteren der beiden Werte zu wählen, wenn der Abfluss im Einzugsgebiet leicht verzögert abläuft (Hofbauer, 1916). Da das Einzugsgebiet eher im Mittelgebirgsbereich angesiedelt ist, aber dennoch relativ hoch gelegen ist, wird ein Alpha von 0,4 für die Berechnung herangezogen.

Man kommt für das Einzugsgebiet der Kundler Ache zu einem Ergebnis von 223 m³/s.

In der Praxis erhält man durch die Formel von Hofbauer zu hohe Werte. Auch der Parameter Alpha ist relativ unscharf definiert und eine Schätzgröße (Hagen et al. 2007). Das Ergebnis ist somit "mit Vorsicht zu genießen".

6.4 Abflussformel von Hoffmann

$$HQ = \frac{(A_E * \alpha)}{\sqrt[3]{A_E}}$$
(38)

$$\boldsymbol{q} = \frac{\alpha}{\sqrt[3]{A_E}} \tag{39}$$

oder

$$HQ = \frac{A_E * \alpha}{\sqrt{A_E}} \tag{40}$$

$$\boldsymbol{q} = \frac{\alpha}{\sqrt{A_E}} \tag{41}$$

Laut Hoffmann 1970 kann nicht mit Sicherheit gesagt werden, ob das Ergebnis der Formel ein 50-jährliches oder ein 100-jährliches periodisch wiederkehrendes Hochwasser ist. Auf der Basis von Messungen kann jedoch auf die Grenzen in denen sich die Ergebnisse der Formel bewegen, geschlossen werden. Laut langjährigen Beobachtungen der Niederschläge, kennt man die möglichen Grenzen. In kleinen Einzugsgebieten ist die größte Regenmenge bei einem Regen von 15 bis 55 min Dauer zu erwarten. In größeren Einzugsgebieten bei einer Regendauer von 1 bis 1.5 h. Das Ergebnis der Formel ergibt vor allem für kleinere Einzugsgebiete sehr gute Mittelwerte (Hoffmann, 1970). Laut Strele 1950 kann außerdem davon ausgegangen werden, dass die spezifischen Abflussmengen für mitteleuropäische Ströme mit 0,10 bis 0,15 m³/s/km² und für Wildbäche bis zu 10 m³/s/km² annehmen können (Strele, 1950). Durch diese Erkenntnisse können auch die Grenzen des möglichen Abfluss festgelegt werden.

Die Formel enthält den Parameter Alpha. Er gibt die Abflussverhältnisse im Einzugsgebiet an. Je höher der Parameter Alpha, desto ungünstiger sind die Abflussverhältnisse (Hoffmann, 1970). Der Modellkoeffizient Alpha kann einen Wert zwischen 5 und 10,5 annehmen. Hoffmann bietet zwei verschiedene Gleichungen an, wobei man jedoch in der Literatur keine genauen Angaben findet, in welchem Größenbereich diese angewendet werden sollten (Hagen et al. 2007). Aus diesem Grund wird mit den beiden Formeln gerechnet. Je nachdem welche der beiden Formeln verwendet wird, muss Alpha angepasst werden. Für Gleichung 38 und 39 beträgt Alpha zwischen 5 und 8 und für Gleichung 40 und 41 kann Alpha Werte von 6,5 bis 10,5 annehmen (siehe Tabelle 5) (Hoffmann, 1971).

Modellkoeffizient a		Hydrologischer Charakter des Einzugsgebietes	
HQ = f(VAE)	HQ = f (³√AE)		
6,5	5,0	Flaches, hügeliges Gelände mit gut ausgebildeter	
		Vegetation und aufnahmefähigem Boden	
10,5	8,0	Steiles Gelände mit spärlicher Vegetation und	
		undurchlässigem Boden	

 Tabelle 5 Modellkoeffizient Alpha von Hoffmann 1971 (Quelle: erstellt nach Hagen et al 2007)

Da das Einzugsgebiet steile und flache Bereiche, sowie durchlässige und undurchlässige Flächen aufweist und es im Einzugsgebiet sowohl Gebiete mit viel Vegetation als auch Gebiete mit weniger Vegetationsbedeckung gibt, wurde der Modellkoeffizient im Mittelbereich gewählt.

Man kommt mit Gleichung 38 und 39 bei einem Alpha von 7 zu dem Ergebnis von **137 m³/s**. Mit Gleichung 40 und 41 kommt man bei einem Alpha von 9 zu dem Wert **84 m³/s**. Es kann deshalb davon ausgegangen werden, dass die Formel mit kubischer Funktion in diesem Fall besser geeignet ist.

Die Formel hat einen eher geringeren Aussagewert, da die Formelansätze und Erhebungsmethoden nicht ausreichend dokumentiert sind. Auch der Parameter Alpha ist unscharf definiert und subjektiv beeinflusst (Hagen et al. 2007). Außerdem ist nicht klar, ob es sich bei den Ergebnissen um ein HQ_{100} oder HQ_{50} handelt. Die Ergebnisse sind daher mit Vorsicht zu betrachten.

6.5 Abflussformel nach Müller

$$HHQ = \alpha * 43 * A_E^{\frac{2}{3}}$$
(42)

Das Ergebnis der Formel von Müller ist ein HHQ, der höchste Hochwasserabfluss. Die Formel kann laut Müller (1943) für überschlägige Berechnungen zur Dimensionierung von Gerinnen für den Hochwasserabfluss ohne Geschiebe eingesetzt werden. Für die Einzugsgebietsgröße gibt es keine Empfehlung. Er geht davon aus, dass der Hochwasserabfluss mit der Formel von Melli (1924) (zitiert in Müller, 1943) nur 1/5 der gemessenen Katastrophenabflüsse beträgt. Deshalb wird für Wildbachverbauungen die Formel mit fünf multipliziert, um die Höchstwassermenge zu erhalten. Der Abflusskoeffizient wird wie in Tabelle 6 dargestellt definiert.

Höhonlago	Charaktar	Neigung		
Honemage	Charakter		mittel	steil
oberhalb Waldgrenze	undurchlässige Weideböden, Fels	0.4	0.6	0.8
Waldgrenz-	Weiden in Waldgrenzenhöhe mit Sträuchern, einzelnen Bäumen	0.3	0.5	0.7
gebiet	lichter Wald ohne Schluss	0.2	0.4	0.6
	jüngerer Wald, Wies- und Ackerland	0.1	0.3	0.5
tiefere Lage	nur Wald, mittlerer	0.1	0.2	0.4
	alter Wald	0.05	0.15	0.3

 Tabelle 6
 Abflusskoeffizienten (Quelle: erstellt nach Müller 1943)

Der Abflusskoeffizient wird für das Einzugsgebiet aufgrund von Neigung, Höhenlage und Vegetation mit 0,3 angenommen. Man kommt dann mit der Formel von Müller für das Einzugsgebiet der Kundler Ache zu einem Ergebnis von **251 m³/s.**

Die Ergebnisse dieser Formel sind oft überschätzt. Ein Problem stellt auch dar, dass der Parameter Alpha sehr schwer anpassbar ist und es werden nicht alle Bereiche abgedeckt (Hagen et al. 2007). Aus diesem Grund wird ein weiterer Rechengang mit einem niedrigeren Abflusskoeffizient (0,2) durchgeführt. Im Einzugsgebiet findet sich auch sehr viel Wald, also ist dieser Wert durchaus auch realistisch. Man kommt somit zu dem Ergebnis von **168 m³/s**, welches als plausibler erscheint.

6.6 Abflussformel nach Kürsteiner

$$HQ = \alpha * A_E^{\frac{2}{3}} \tag{43}$$

$$\boldsymbol{q} = \frac{\alpha}{\sqrt[3]{A_E}} \tag{44}$$

Die Formel wurde empirisch abgeleitet aus einer großen Anzahl von beobachteten Hochwassermengen. Der Modellkoeffizient Alpha kann für ein HQ_{100} Werte von 9 bis 12 annehmen (siehe Abb. 43) (Kürsteiner, 1917). Kürsteiner erläutert diesen Modellkoeffizienten jedoch nicht weiter. Auch der Anwendungsbereich der Formel wird nicht näher beschrieben. Kürsteiner stellt die Formel auf der Basis eines Beispiels (Dimensionierung eines Wehrs für eine Wasserkraftanlage) vor, deshalb sind die einzelnen Parameter nur schwierig nachvollziehbar. Aus diesem Grund sollten die Ergebnisse kritisch betrachtet werden (Hagen et al. 2007).

Modellkoeffizient α		Hydrologischer Charakter des	
HQ ₁₀₀	HQ ₅₀	Einzugsgebietes	
9	5	flaches, hügeliges Gelände mit gut ausgebildeter Vegetation und aufnahmefähigem Boden	
12	8	steiles Gelände mit spärlicher Vegetation und undurchlässigem Boden	

Abb. 43 Modellkoeffizient Alpha (Quelle: Hagen et al 2007)

Der Koeffizient 12 erscheint zu hoch, da nicht das gesamte Einzugsgebiet steiles Gelände umfasst und auch die Vegetation teils gut ausgebildet ist. Da das Einzugsgebiet im Bergland liegt, kann auch der Koeffizient 9 ausgeschlossen werden. Letztendlich wurde der Koeffizient 10 gewählt. Man kommt mit einem Alpha von 10 zu einem Abfluss von **196 m³/s** beziehungsweise eine spezifische Abflussmenge von **2,26 m³/s/ km²**.

Auch diese Formel wird in der Praxis von der WLV verwendet (vor allem in Kombination mit dem SCS-Verfahren und der Formel von Wundt). Sie dient dabei hauptsächlich zur Ermittlung von Schätzgrößen (Richtwerten). Hervorzuheben ist, dass die Parameter auch ohne Spezialwissen sehr einfach ausgewählt werden können (Hagen et al. 2007).



Abb. 44 bietet eine Auflistung aller Formelergebnisse:

Abb. 44 Auflistung der Ergebnisse der Formelberechnungen (Quelle: eigene Grafik)

7 Geschiebe

Die Geschiebe- und Feststoffführung in Wildbächen ist nicht die gleiche wie in Flüssen. In den kleineren, steileren Wildbacheinzugsgebieten gibt es stärkere Schwankungen der Wasserführung. Im steilen Oberlauf dominiert das Erosions- und Transportvermögen des Wassers und die Bachläufe werden regelmäßig ausgeräumt. Die gröbsten Geschiebestücke bleiben dort liegen. Daraus entwickelt sich die sogenannte Deckschicht. Oftmals gibt es eine so kleine Wasserführung, dass das Material sehr lange liegen bleibt. Kommt es dann jedoch einmal zu einem starken Niederschlag, wird viel neues Material in den Bachlauf eingetragen (z.B. seitliche Hangrutschungen), das entweder sofort oder schubweise weiterverfrachtet wird. Durch die erhöhte Schleppkraft solcher Muren wird auch oft die Deckschicht, die lange stabil war, mitgerissen. Das heißt, hohe Niederschläge und Hochwasser können schlagartig große Feststofffrachten auslösen. Es geht also vorwiegend darum, diese extremen Feststofffrachten abzuschätzen (Kronfellner-Kraus, 1984).

Es ist sehr schwierig, den Geschiebetransport, der in der Natur stattfindet, zuverlässig und umfassend zu messen. Das Geschiebe bewegt sich dafür zu diskontinuierlich und immer schubweise fort. Messungen des Geschiebetriebs im Gelände sind sehr aufwendig und werden nur bei größeren Projekten oder in größeren Flüssen durchgeführt. Die Geschiebefrachten nehmen ab, je weiter der Fluss von seinem gebirgigen Quellgebiet entfernt ist. Die Geschiebefracht im Mittel- beziehungsweise Unterlauf von Flüssen macht oft nur einen kleinen Anteil der gesamten Feststofffracht aus. Am meisten Einfluss auf den Feststofftransport aus Einzugsgebieten haben die Größe und Länge des Einzugsgebietes, der Höhenunterschied zwischen Wasserscheide und Gebietsauslass und Hangneigung beziehungsweise Hanglänge (Maniak, 1993).

Aufwärts der Kundler Klamm befinden sich acht murfähige Seitenbäche, von denen der im Mühltal einmündende Weißenbach allein einen Murgang von etwa 0,1 Mio m³ erzeugen kann. Die Geschiebefracht der Kundler Ache wurde in den letzten Jahren durch die Errichtung von zwei Geschiebesperren (Weißenbach, Holzergraben) mit einer Staukapazität von zusammen 220.000 m³ reduziert (GZP, 1973).

Vor allem in den letzten Jahrzehnten wurden Formeln und Lösungsalgorithmen zur möglichst realitätsnahen Berechnung der Feststoffverlagerungsprozesse (Erosion,

Transport und Ablagerung) entwickelt. Zu berücksichtigen ist dabei, dass mit zunehmendem Detaillierungsgrad der Zeitaufwand für die Berechnungen enorm wächst. Übersteigt dieser einen der Aufgabenstellung angemessenen Rahmen, so ist es gerechtfertigt, auf einfachere Ansätze aus Erfahrung und Empirie zurückzugreifen (Bergmeister et al. 2009). Auf diesen Hinweis wurde Rücksicht genommen und es wurden daher in dieser Arbeit zur Berechnung der zu erwartenden Geschiebefracht regionale empirisch-statistische, auch von der WLV-GBL Wörgl verwendete Formelansätze herangezogen.

7.1 Formel von D'Agostino und Marchi

Die Formel wurde im Gebiet Bozen-Trentino entwickelt, um dort Murgänge, sowie morphologische und geologische Eigenschaften zu beschreiben. Sie basiert hauptsächlich auf historischen Analysen. Die Formel wird nicht direkt mit einer bestimmten Jährlichkeit in Verbindung gebracht. Die Analyse der historischen Aufzeichnungen hat es möglich gemacht, die größten Murgänge über einen langen Zeitraum (zirka 100 Jahre) zu bestimmen. Somit kann das Volumen der Murgänge, beziehungsweise das Ergebnis der Formel repräsentativ für ein 100-jährliches Ereignis angenommen werden. Die Gleichung basiert auf unabhängigen Variablen. Diese sind das Einzugsgebiet, die Bachneigung und der dimensionslose Geologische Index GI. Der Geologische Index wird aufgrund der Erosionsfähigkeit der Gesteinseinheiten im Bachlauf definiert (siehe Abb. 45) (D'Agostino & Marchi, 2001).

$$V_G = 45 * A_E^{0.9} * J^{1.5} * GI$$
(45)

Es wird empfohlen, die Formel vorsichtig bei der Gefahrenzonenplanung einzusetzen, da es eine gewisse Tendenz zur Überschätzung gibt.

2004 entwickeln D'Agostino und Marchi eine Abwandlung der Formel, um sie auf ein größeres geographisches Gebiet anwenden zu können.

$$V_G = \mathbf{18} * A_E^{1,16} * J^{1,3} * GI$$
 (46)

Abb. 45 Einteilung der Gesteine in den Geologischen Index (0-5) (Quelle: D'Agostiono & Marchi 2001)

Um den Geologischen Index zu berechnen, wurde der Bachlauf auf Basis der Geologischen Karte des Einzugsgebietes in Abschnitte mit denselben geologischen Eigenschaften eingeteilt (siehe Abb. 46). Anschließend wurden diese Abschnitte der jeweiligen GI-Klassen längenmäßig gewichtet auf die Gesamtlänge des Baches. So erhält man den gewichteten Geologischen Index, den man nun in der Formel verwenden kann.



Abb. 46 Einteilung des Einzugsgebietes in die Klassen des Geologischem Index (Quelle: eigene Grafik)

Tabelle 7 zeigt, wie die einzelnen geologischen Klassen entlang des Bachlaufs vertreten sind.

GI	Länge	% des Bachlaufs
0	0 km	0 %
1	4,32 km	19,6 %
2	0 km	0 %
3	0,74 km	3,4 %
4	4,34 km	19,6 %
5	12,70 km	57,4 %

Tabelle 7 Anteile der jeweiligen Geologischen Klasse des GI am Gesamtgerinne (Quelle: eigene Tabelle)

Der so berechnete Geologische Index beträgt 3,5. Somit beträgt die berechnete Geschiebefracht mit Formel (39) **162.800 m³** und mit Formel (40) **139.900 m³**.

7.2 Formel von Kronfellner-Kraus

Die Feststoffführung kann in Wildbächen kurzfristig (auch nach längerem Erliegen) das Hunderttausendfache betragen. In Wildbächen geht es also vor allem darum, diese Extreme abzuschätzen. Kronfellner-Kraus liefert deshalb eine Formel, um das maximale Transportund Erosionsvermögen eines Wildbaches im Falle der Mobilisierung des im Einzugsgebiet vorhandenen Geschiebepotentials abzuschätzen (Kronfellner-Kraus, 1987).

Dabei geht er davon aus, dass sich die Feststofffracht eines Wildbaches aus dem Faktor K (der "Wildheit" des Baches), der Einzugsgebietsgröße und dem Gefälle des Baches ergibt. Auf Basis dieser Annahme hat er eine Schätzformel entwickelt (Kronfellner-Kraus, 1987). Bei dieser Formel wird die Feststofffracht eines einzelnen Ereignisses aus dem Produkt der Fläche des Einzugsgebietes, dem Gefälle oberhalb des Bezugspunktes der Berechnung und dem Torrentialitätsfaktor K gewonnen. In den Faktor K fließen auch die Verbauung des Baches, Bodenschutz und Einzugsgebietsgröße des Baches ein (Kronfellner-Kraus, 1987). K ist ein Faktor für die torrentiell (wildbachlich) wirksame Abtragshöhe. Die Feststofffracht ist das Produkt aus Abtragshöhe und Abtragsfläche (Kronfellner-Kraus, 1984).

$$\boldsymbol{V}_{\boldsymbol{G}} = \boldsymbol{K} \ast \boldsymbol{A}_{\boldsymbol{E}} \ast \boldsymbol{100} \ast \boldsymbol{J} \tag{47}$$

Der Torrentialitätsfaktor K kann entweder berechnet werden (Gleichung 48) oder aber abgelesen aus folgenden Abb. 47 und Abb. 48.



Abb. 47 Torrentialitätsfaktoren (Quelle: Kronfellner-Kraus 1987)



Abb. 48 Wildbachzonen Österreichs (Quelle: Kronfellner-Kraus 1987)

Berechnung des Torrentialitätsfaktors K

$$K = \frac{k}{e^{a*A_E}} \tag{48}$$

Die Basis für die verschiedenen Wildbachzonen, bzw. die Gültigkeitsbereiche für die verschiedenen Torrentialitätsgrade, bilden 1420 innerhalb von 11 Jahren in West- und Zentralösterreich gesammelte Daten von Einzelereignissen (Kronfellner-Kraus, 1987). Die Torrentialitätsgrade sind für verschiedene Wildbachzonen gültig (siehe Abb. 48). Die Parameter a und k werden daraus wie in Tabelle 8 angegeben abgeleitet.

Zone	Gebirge	k	a
Ŧ	Tauernhauptkamm, Rhätikon, Verwall- und Silvrettagruppe, Ötztaler-, Stubaier- und Zillertaler Alpen, Hohe Tauern, Defreggen- und Kreuzegg Gruppe		10
1	Bäche mit großem Feststoffpotential (mächtige Altschuttherde, Talverfüllungen und aktive Talzuschübe)	1750	0,018
۱b	Im Normalfall	1150	0,014
II.	Kamische Alpen, Liesertal, vergletschert gewesener Bereich der Niederen Tauern und der Grauwackenzone des Ennstales		
ll a	Bäche mit sehr großem Feststoffpotential	1150	0,014
llb	Im Normalfall	540	0,008
ll c	Karawanken, Gurktaler-, Seetaler- Pack-, Glein-, Fischbacher-, Eisenerzer Alpen, Hochschwab, Niederösterreichisch-steirische Kalkalpen	254	0,008
Ш	Alpenvorland	254 (200)	0,0016

Tabelle 8 Empirische Parameter k und a zur Berechnung der Torrentialität (Quelle: Kronfellner-Kraus 1987)

Das Ergebnis der Geschiebeberechnung mit einem K von 342 beträgt 207.400 m³.

7.3 Formel von Zedlacher

Die Formel von Zedlacher wurde auf der Basis von der Formel von Kronfellner-Kraus (siehe Kapitel 7.2) und sorgfältig erhobenem, reichlichem Datenmaterial aus der Gefahrenzonenplanung erstellt. Es wird versucht einen Zusammenhang zwischen Einzugsgebietsgröße, Bachgefälle und Katastrophengeschiebe-Anfall herzustellen. Er ermittelt dabei eine Formel zur Ermittlung der 150-jährigen Geschiebefracht, die vor allem für die Steiermark Gültigkeit hat (Zedlacher, 1986).

$$V_{G_{150}} = 178 * A_E * J \tag{49}$$

Man kommt dabei für das Einzugsgebiet der Kundler Ache zu einem Ergebnis von 108.000 m³.

7.4 Formel von Zeller

Zeller geht von der Einzugsgebietsgröße aus. Daneben enthält das Modell nur einen Modellparameter. Dieser wurde auf Basis von Messdaten der Eidgenössischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen (EAFV) entwickelt. Das Einzugsgebiet an dem die hydrologischen Untersuchungen und Geschiebemessungen durchgeführt wurden, befindet sich in der Schweiz, ist ein Seitenbach der Alp und hat ein Einzugsgebiet von 0,75 km². Es ist somit möglich, in Abhängigkeit von der Einzugsgebietsgröße die Geschiebefracht formelmäßig zu berechnen. Auf Geologie, Relief, Klima, Bodenbedeckung und Bewirtschaftung wird mit dieser Formel keine Rücksicht genommen (Zeller, 1985). Für den Modellparameter gibt Zeller einen Einstellungsbereich zwischen 17.000 und 27.000 an (Bertschi et al. 2008). Wird der Paramter in dieser Höhe angesetzt (17.000), dann kommt man zu einer, im Vergleich zu allen anderen Formelergebnissen der Geschiebeberechnung, zu einem sehr hohen Ergebnis. (Das Ergebnis wäre 551.200 m³). Es wird deshalb davon ausgegangen, dass der Modellparameter K angepasst werden muss, um plausible Ergebnisse zu erhalten. Bertschi et al. (2008) mindern den Koeffizienten auch stark ab, um das Modell an regionale Gegebenheiten anzupassen. Es wurde nun mit einem Wert für K von 7.000 nochmals gerechnet. Dieser Wert wurde aus einer Grafik aus Zeller 1984 auf Basis der Einzugsgebietsgröße ermittelt und repräsentiert die spezifische Jahresgeschiebefracht. Aus der Literatur geht jedoch nicht hervor, wie genau der Modellkoeffizient ermittelt wird. Mit einem K von 7.000 kommt man zu einem Ergebnis von **227.000 m³**.

$$V_G = K * A_F^{0,78}$$
(50)

7.5 Formel von Takei

Die Formel basiert auf Beobachtungsdaten des "Ministry of Construction" in Japan. Es wurden dabei im Zeitraum zwischen 1972 und 1977 551 Ereignisse beobachtet. Die Formel kann für einen Bereich von 5 km² bis zu 500 km² Einzugsgebietsgröße verwendet werden (Takei, 1984). Man kommt mit der Formel zu einem Ergebnis von **206.600 m³**.

$$V_G = 13.600 * A_F^{0,61} \tag{51}$$

7.6 Haas I und Haas III

Diese beiden Formeln zur Abschätzung der Geschiebefracht wurden von DI Andreas Haas (WLV-GBL Wörgl) auf Basis von Erfahrungswerten erstellt und werden in der Praxis verwendet. In der Formel verwendet man den Geologischen Index von D'Agostino. Des Weiteren fließen das Schwemmkegelgefälle und die Hochwasserfracht in die Formel ein. Die für die Formeln benötigte Wasserfracht V_W wurde aus ZEMOKOST entnommen.

Haas I

$$\boldsymbol{V}_{\boldsymbol{G}} = \boldsymbol{V}_{\boldsymbol{w}} * \boldsymbol{I}\boldsymbol{G} * \boldsymbol{J}_{\boldsymbol{f}}$$
(52)

Man kommt zu einem Ergebnis von 157.500 m³.

Haas III

$$\boldsymbol{V}_{\boldsymbol{G}} = \boldsymbol{V}_{\boldsymbol{W}} * \boldsymbol{3} * \boldsymbol{J}_{\boldsymbol{f}} \tag{53}$$

Man kommt zu einem Ergebnis von 135.000 m³.

In steileren Gerinnen gibt es oft einen vergleichsweise geringen Geschiebetransport. Das liegt an der eingeschränkten Sedimentverfügbarkeit und den teilweise hohen Formverlusten beim Fließwiderstand wegen der unregelmäßigen Form des Gerinnes. Oftmals sind deshalb Ergebnisse von Formeln, die meist auf Basis von Laborversuchen entwickelt wurden, nicht mit Messungen in der Natur ident (Rickenmann et al. 2005). Die Ergebnisse der Geschiebeberechnung mit gängigen Formeln sind in diesem Fall sehr hoch angesetzt. Mit den Ergebnissen kann eventuell eine größte für die Kundler Ache zu erwartende Fracht abgeschätzt werden.



Abb. 49 bietet eine Auflistung der Ergebnisse der Geschiebefrachtabschätzung

Abb. 49 Ergebnisse der Geschiebefrachtberechnung (Quelle: eigene Grafik)

8 Diskussion der Ergebnisse

Wenn man ein Modell validieren will ist eine bewährte Strategie, dass die Eingangsgrößen wie Klimadaten, andere Daten und Ereignisgröße gleich oder ähnlich sind. Sind die Ergebnisse dann ähnlich, kann davon ausgegangen werden, dass das Modell zuverlässig im Vorhersagefall ist (Blöschl, 1996).

Aus diesem Grund wurden für die beiden N-A-Modelle HEC-HMS und ZEMOKOST soweit als möglich die Selben Input-Parameter gewählt. Mit dem Programm ArcGIS und den Extensions ArcHydroTools und HEC-GeoHMS wurden, wie in Kapitel 3.3 bereits genauer beschrieben, alle wichtigen Grundberechnungen für beide Modelle ausgeführt. Die Grund-Basis für beide Modelle ist also die gleiche. Trotzdem gibt es Abweichungen in den Input-Daten. Dies spiegelt sich auch in den etwas unterschiedlichen Ergebnissen der beiden Modelle wieder.

Abweichungen gab es vor allem auch beim Niederschlagsinput. Das Modell ZEMOKOST arbeitet nur mit Blockregen, im HEC-HMS ist der Niederschlag variabel einsetzbar. Niederschlagsszenario 1 wurde mit dem Modell HEC-HMS deshalb zweimal, mit jeweils unterschiedlichen Niederschlagsdaten, berechnet. Um den direkten Vergleich mit dem Ergebnis aus ZEMOKOST ziehen zu können, wurde einmal mit Blockregen gerechnet. Anschließend wurde noch ein zweiter Rechengang mit dem von der DVWK empfohlenen Regenverlauf durchgeführt, um festzustellen wie sehr das Ergebnis abweicht, wenn ein unterschiedlicher Niederschlagsinput verwendet wird. Mit einer DVWK-Verteilung wird ein höherer Abfluss erreicht. Dies liegt daran, wie erwartet. dass die Niederschlagsverteilung nach DVWK eine "ungünstigere Niederschlagsbedingung" darstellt, als der Blockregen.

Weitere entscheidende Parameter, die für beide N-A-Modelle ermittelt wurden sind die Gerinnelängen, die Gerinneneigung, die durchschnittliche Neigung jedes Teileinzugsgebietes, der längste Fließweg und der Schwerpunkt. Dies geschah für das Modell HEC-HMS mit der Extension GeoHMS (siehe Anhang H).

Einige Parameter wie Gerinnelängen und Neigungen konnten so auch für ZEMOKOST aus ArcGIS extrahiert werden. Zwei wichtige Faktoren, die für ZEMOKOST extra ermittelt werden mussten, sind L_{OB} und J_{OB} (siehe Anhang unter L). Ein Parameter, der für HEC-HMS zusätzlich berechnet werden muss, ist die lag-time (siehe Kapitel 4.2.3).

Für Szenario 1 kann ausgesagt werden, dass die N-A-Modelle, wenn mit Blockregen gerechnet wird, mit ihren Ergebnissen etwas auseinander liegen. So erhält man aus dem Modell ZEMOKOST einen HQ₁₀₀ Wert von 152 m³/s, bzw. einen HQ₁₅₀ Wert von 179 m³/s. Aus dem Modell HEC-HMS erhält man bei gleicher Dauerstufe einen Wert von 185 m³/s für ein HQ₁₀₀ bzw. einen Wert von 196 m³/s für ein HQ₁₅₀ (siehe Abb. 50). ZEMOKOST erreicht dabei eine Abflussfracht von 1.600.000 m³ (HQ₁₀₀) bzw. 1.750.000 m³ (HQ₁₅₀) und HEC-HMS eine Fracht von 1.500.000 m³ (HQ₁₀₀) bzw. 1.600.000 m³ (HQ₁₅₀). Interessant ist dabei, dass HEC-HMS zwar den höheren HQ₁₀₀ Wert liefert, die Abflussfracht in HEC-HMS aber etwas geringer ausfällt wie bei ZEMOKOST. Dies könnte damit zu erklären sein, dass das Modell eine steilere Kurve aufweist und somit schneller die Abflussspitze erreicht wird, bzw. die Anstiegszeit geringer ist. Wird mit HEC-HMS mit einer Dauerstufe gerechnet, die der kritischen Dauerstufe laut Lorenz und Skoda entspricht (120 Minuten), liefert HEC-HMS deutlich höhere Werte als ZEMOKOST (205 m³/s und 1.782.000 m³ Fracht). Es wird zwar empfohlen, für die Bemessung die höchsten Scheitelwerte zu verwenden. Da diese mit dem Programm HEC-HMS jedoch die 205 m³/s noch übersteigen (bei einer Dauerstufe von 200 min erreicht man den Höchstwert von 220 m³/s für ein HQ₁₀₀ bzw. 232 m³/s für ein HQ₁₅₀) (siehe Abb. 40) wird das Ergebnis der Berechnung mit Dauerstufe 90 im Vergleich zu den ZEMOKOST-Werten am plausibelsten angenommen. Bei der Ermittlung des HQ₁₅₀ ist dasselbe zu beobachten.



Abb. 50 Ergebnisse aus der N-A-Modellierung von ZEMOKOST und HEC-HMS für ein HQ₁₀₀ von Dauerstufe 90 (Quelle: eigene Grafik)

Für Szenario 2 decken sich die Ergebnisse aus beiden Modellen beinahe. Mit dem Modell HEC-HMS (Dauerstufe 90) erhält man einen HQ_{100} Wert von 75 m³/s mit einer Fracht von 525.000 m³. ZEMOKOST errechnet einen Wert von 82 m³/s und eine Fracht von 447.000 m³. Interessant ist dabei, dass die Frachten in diesem Fall bei der Berechnung mit HEC-HMS höher ausfallen, der höchste Abflusswert jedoch niedriger ist. Aus dem Ergebnis lässt sich schließen, dass eine kurze, kleinräumige Überregnung im hinteren Talkessel keine allzu großen Hochwässer verursacht und das Gerinne diese Niederschläge problemlos aufnehmen kann.

Szenario 3 ging von einer Überregnung des Gesamtgebietes mit einem Niederschlagszentrum im hinteren Talkessel aus. Das Ergebnis liegt deutlich über dem Wert von Szenario 1. Bei dieser Berechnung, die nur mittels ZEMOKOST durchführbar war, wird ein HQ₁₀₀ Abflusswert von 205 m³/s mit einer Fracht von 1.400.000 m³ erreicht. Interessant ist, dass in diesem Fall mit ZEMOKOST mit einer Dauerstufe um 70 min ein gleichhoher Wert erreicht wird, wie vom Modell HEC-HMS bei der Berechnung des HQ₁₀₀

von Szenario 1 mit einer Dauerstufe von 120 min. Die Frachten sind etwas niedriger als von HEC-HMS. Durch dieses Ergebnis scheint der Wert aus dem Modell HEC-HMS mit Dauerstufe 120 doch brauchbar zu sein. Es könnte sich hierbei um die oberen Grenzwerte des zu erwartenden HQ₁₀₀-Abflusses handeln.

Entscheidend für die verschiedenen Ergebnisse der Modelle ist wahrscheinlich auch der unterschiedliche Input für die Einzugsgebietscharakteristika. Im Modell ZEMOKOST geschieht dies auf der Basis von Abflussbeiwert- und Oberflächenrauigkeitsklassen, die aus den Seger-Daten ermittelt wurden. Die Eingangsgrößen sind klar definiert und es ist überschaubar, wie die Daten verarbeitet werden. Für das Programm HEC-HMS ist es notwendig, für jedes Teileinzugsgebiet einen CN-Wert zu bestimmen. In ihn fließen viele zusätzliche Einzugsgebietsinformationen ein (siehe Kapitel 4.2.2). Ein Problem bei der Ermittlung des CN-Wertes war, dass die Bodeninformation nicht das gesamte Einzugsgebiet abgedeckt hat und somit, wie von Hesse 2012 beschrieben, die Geologie des Gebietes zur Hilfe genommen wurde. Es ist fraglich, ob mit dieser Methode realistische Durchlässigkeiten für das Einzugsgebiet erreicht wurden. Die CN-Werte wurden dennoch nach bester Möglichkeit bestimmt. Es sei aber anzumerken, dass die Errechnung des CN-Wertes generell stark subjektiv beeinflusst ist und somit auch stark variabel. Auch in die Berechnung der Lag-Time, die sehr wichtig zur Bestimmung der Einheitsganglinie ist, fließt der CN-Wert mit ein. Dadurch könnte es sehr einfach zu starken Abweichungen des Outputs kommen. Dies könnte ein Grund sein, die Ergebnisse aus dem Modell in Frage zu stellen.

Dem N-A-Modell ZEMOKOST könnte vorgeworfen werden, dass es ungünstige Systemkombinationen verknüpft und kombiniert (extreme Niederschläge, zentrales Regenzentrum, hohe Vorfeuchte, realistisch ungünstiges Szenario der Abflussbeiwerte). Dem kann man jedoch entgegenhalten, dass ZEMOKOST zwar ungünstige, jedoch durchaus realistische Bedingungen hinsichtlich Niederschlag und Modellparameter kombiniert. Da nicht mit MaxMod-Werten, sondern mit gewichteten Bemessungsniederschlägen gerechnet wird, ist der Niederschlag relativ moderat. Auch die Verwendung von Blockregen stellt eine deutlich günstigere Bedingung dar als andere Niederschlagsverteilungen (siehe Abb. 36) und kann in gewissem Maß ungünstige Kombinationen kompensieren (Kohl 2011). Bestätigt werden diese Aussagen durch die Ergebnisse aus dem Modell HEC-HMS, wenn mit einer "ungünstigen" DVWK-Regenverteilung (siehe Abb. 37) gerechnet wird. Der Abfluss steigt dabei deutlich an. Die Vorfeuchte wird im Modell ZEMOKOST aus dem Durchschnitt von vielen Beregnungsversuchen abgeleitet. Man kann diese als durchschnittlich schlechtem Systemzustand interpretieren. Dem Abflussbeiwert liegt im ZEMOKOST ein realistisch ungünstiges Szenario zugrunde. Die Betonung liegt dabei jedoch auf realistisch, nicht auf ungünstig. Insgesamt ist durch diese Kombination von ungünstigen, aber dennoch plausiblen Bedingungen eine Übertragbarkeit der Jährlichkeit des Niederschlages auf ein Bemessungshochwasser stärker vertretbar (Kohl 2011).

Gerade weil die Ergebnisse aus den beiden N-A-Modellen etwas voneinander abweichen, ist ein weiterer Vergleich mit anderen Werten entscheidend. Der im Zuge des HOWATI-Projektes geschätzte HQ₁₀₀ Wert liegt mit 135 m³/s etwas niedriger als der mit ZEMOKOST errechnete Wert (11 %). Der HQ₁₅₀ Wert liegt ebenfalls etwas unter dem ZEMOKOST-Wert (18 %). HEC-HMS liegt deutlich höher als HOWATI (27 %). Interessant ist auch ein Vergleich mit dem Nachbar-Einzugsgebiet des Alpbaches. Hesse (2012) kommt mit seiner Berechnung auf einen Wert von 162 % des HOWATI-Wertes. Dieser Wert bestätigt, dass es als durchaus plausibel erscheint, dass die HOWATI-Werte eher als Untergrenze des zu erwartenden Abflusses anzusehen sind. Der ZEMOKOST-Wert ist im Fall der Kundler Ache nur etwas über dem HOWATI-Wert angesiedelt und erscheint somit plausibler als der mit HEC-HMS ermittelte Wert.

Weitere Vergleichswerte werden vom Hydrographischen Dienst Tirol zur Verfügung gestellt. Sie gehen für ein HQ₁₀₀ von einem Wert von 125-145 m³/s aus und für ein HQ₁₅₀ von einem Wert um 133-160 m³/s. Auch diese Werte unterstützen die ZEMOKOST-Ergebnisse in ihrer Plausibilität. Diese liegen für ein HQ₁₀₀ um nur zirka 5 % und für ein HQ₁₅₀ um zirka 11 % über dem höchsten erwarteten Wert des Hydrographischen Dienstes.

Die gängigen Abflussformeln, die außerdem zur Ermittlung des Hochwasserabfluss verwendet wurden, setzen auch in unterschiedlichen Höhen an (siehe Abb. 44). So kann der Ergebniswert von Wundt mit der 90%-Richtkurve (Kapitel 6.1), genau wie der Wert von HEC-HMS mit Dauerstufe 120, als oberer Grenzwert für ein HQ₁₀₀ angesehen werden. Auch Kürsteiner (Kapitel 6.6) siedelt sich in diesem oberen Grenzbereich an. Hofbauer (Kapitel 6.3) übersteigt die Abflüsse aus ZEMOKOST um 70 m³/s, liegt also noch deutlich

über den Ergebnissen von Wundt und Kürsteiner. Das Ergebnis von Hofbauer erscheint eher als zu hoch, um als realistisch angenommen zu werden. Mit der Formel von Hoffmann (Kapitel 6.4) erhält man einen recht niedrigen Wert, der noch niedriger ansetzt als der HOWATI-Wert. In diesem Fall ist jedoch fraglich, ob es sich bei der Berechnung tatsächlich um einen HQ₁₀₀-Wert handelt, da Hoffmann nicht näher definiert, ob es sich bei dem Ergebnis um ein HQ₁₀₀ oder HQ₅₀ handelt. Das Ergebnis aus der Formelberechnung von Bergthaler (Kapitel 6.2) deckt sich mit dem Ergebnis aus der Berechnung mit ZEMOKOST. HEC-HMS liegt um zirka 26 m³/s darüber. Da der Formelansatz von Bergthaler auch regional aus diesem Gebiet stammt, wird ihm die höchste Plausibilität unter den Formelberechnungen unterstellt. Müller (Kapitel 6.5) ergibt einen Wert, der genau zwischen den HQ₁₀₀ Ergebnissen mit Blockregen von ZEMOKOST und HEC-HMS liegt.

Die Ergebnisse teilen sich also in mehrere Bereiche. Es wird in dieser Arbeit ein Vergleich bereitgestellt, der die verschiedenen Ergebnisse aufzeigt und somit eine zu erwartende Bandbreite des Hochwasserabflusses festlegt. Die möglichen Werte für ein HQ_{100} bewegen sich zwischen dem HOWATI-Wert (als untere Grenze) und dem Ergebnis der Formelberechnung nach Wundt (als obere Grenze). Der Ergebniswert aus dem Modell ZEMOKOST (152 m³/s) stellt durch seine "Lage im Mittelfeld" einen durchaus plausiblen Bemessungserwartungswert für ein HQ_{100} dar. Für ein HQ_{150} gibt es nicht so viele Vergleichswerte. Die mögliche Bandbreite reicht hier vom HOWATI-Wert (als untere Grenze) bis zum mit HEC-HMS errechneten Wert (als Obergrenze).

Im Bezug auf die Geschiebefracht kommt man ebenfalls zu unterschiedlichen Ergebnissen. Außerdem sind die Geschiebefrachten insgesamt recht hoch angesetzt. Die Ergebnisse der Formelberechnungen können grundsätzlich eher als Obergrenze gesehen werden, da diese Formeln großteils zur Ermittlung der maximal zu erwartenden Geschiebefracht entwickelt wurden. Laut Aussage der Formeln bewegt sich die höchste zu erwartende Geschiebefracht für die Kundler Ache im Bereich von 100.000-200.000 m³.

9 Zusammenfassung

Die Arbeit befasst sich mit der Grundlagenerhebung für die Gefahrenzonenplanung der Kundler Ache in Kundl. Das Ziel der Arbeit ist es, die grundlegenden Informationen über das Einzugsgebiet sowie Einzugsgebietscharakteristika zu erheben und daraus schließlich einen Bemessungserwartungswert für ein HQ₁₀₀ bzw. ein HQ₁₅₀ für die Kundler Ache in Kundl abzuleiten. Außerdem wird im Zuge der Arbeit die maximal zu erwartende Geschiebefracht abgeschätzt. Das Ergebnis der Arbeit kann als Grundlage für die Gefahrenzonenplanung verwendet werden. Der erste Teil der Arbeit beschäftigt sich mit der Beschreibung des Einzugsgebietes. Das Einzugsgebiet der Kundler Ache hat eine Größe von 86,7 km² und liegt in Westösterreich, Tirol, im Bezirk Kufstein. Die Ache entspringt im hinteren Talkessel der Wildschönau und durchfließt diese. Schließlich durchquert sie die Kundler Klamm, um dann im Ortsgebiet von Kundl in den Inn zu entwässern. Der Hauptanteil des Einzugsgebietes befindet sich in den Kitzbühler Alpen.

Um das HQ₁₀₀ bzw. HQ₁₅₀ zu berechnen, wurde eine N-A-Modellierung mit den Programmen ZEMOKOST und HEC-HMS durchgeführt. Dazu mussten im Vorfeld die nötigen Input-Daten erhoben werden. Als erstes muss das Einzugsgebiet und seine Grenzen digital erfasst werden. Zu dieser Abgrenzung des Einzugsgebietes und schließlich auch der Festlegung von Teileinzugsgebieten werden die ArcGIS-Extensions ArcHydroTools und GeoHMS verwendet. Die Basis für diese Berechnung sind 25 *.asc-Dateien, die von der WLV-GBL Wörgl zur Verfügung gestellt werden. Mit der Hilfe von ArcGIS können diese Raster-Dateien zu einem Raster zusammengefügt werden. Die Daten waren ursprünglich in einer Auflösung von 1m x 1m zur Verfügung gestellt. Da es jedoch aufgrund dieser sehr hohen Genauigkeit Probleme bei der Berechnung gibt und eine so hohe Auflösung für die Abgrenzung von Einzugsgebieten nicht nötig ist, wird die Auflösung auf 5m x 5m herabgesetzt. Um die diversen NoData Werte im Raster zu eliminieren, wurde der Raster mit Hilfe der ArcGIS-Extension 3D-Analyst in ein TIN konvertiert und anschließend wieder Rück-Konvertiert. Dadurch werden die NoData-Werte durch angemessene Werte ersetzt und sind somit eliminiert. Das Ergebnis ist ein Digitales Höhenmodell. Nun kann daraus mit den ArcHydroTools das Einzugsgebiet bzw. die Teileinzugsgebiete abgegrenzt werden. Da das Programm anfangs zu viele Teileinzugsgebiete generierte, wurden einige Gebiete mit Hilfe der Extension GeoHMS

zusammengefügt. Das Ergebnis war nun eine digitale Abgrenzung des Einzugsgebietes mit insgesamt 35 Teileinzugsgebieten. Für das Modell ZEMOKOST können diese Ergebnisse bereits als Input verwendet werden. Für das Modell HEC-HMS muss mit der Extension GeoHMS eine sogenannte *.basin-Datei erstellt werden, damit das Programm die Daten direkt verarbeiten kann. Die Basin-Datei beinhaltet das hydrologische Netzwerk des Einzugsgebiets mit all seinen Quellen, Zusammenflüssen und Mündungen.

Für das Modell ZEMOKOST wird als Input ein d₉₀ Korndurchmesser benötigt. Um diesen zu erhalten, wurden Linienzahlanalysen durchgeführt. Diese Analysen wurden an 12 Orten entlang des Hauptgerinnes durchgeführt und schließlich auch den Zubringer-Teileinzugsgebieten zugeordnet. Für die Durchführung der Linienzahlanalyse wurde die Methode nach Fehr gewählt. Die Ergebnisse aus dem Feld repräsentieren den Anteil der groben Fraktionen. Die feineren Komponenten (unter 1 cm) müssen rechnerisch ergänzt werden. Dies geschieht in Form einer Zusammenlegung mit einer Fuller-Kurve.

Der wichtigste Input für die N-A-Modellierung ist der Niederschlag. Der hydrographische Dienst bietet in Österreich drei Arten von Niederschlagsdaten an. Die MaxMod-Niederschläge, die ÖKOSTRA-Niederschläge und die Bemessungsniederschläge. All diese Daten sind für ganz Österreich in einem 6 x 6 km Raster verfügbar. Weilguni 2013 geht davon aus, dass die MaxMod-Werte eher zu einer Überschätzung neigen und die ÖKOSTRA-Werte eher zu niedrig angesetzt sind. Die Bemessungsniederschläge liegen dazwischen. Aus diesem Grund werden von Weilguni 2013 die Bemessungsniederschläge für Bemessungszwecke empfohlen. Dieser Empfehlung wurde nachgekommen. Die Daten können aus dem Portal ehvd gratis heruntergeladen werden. Für das Einzugsgebiet wurden sieben dieser Flächen benötigt. Die Bemessungsniederschläge aus diesen Rasterflächen wurden flächenmäßig gewichtet gemittelt, damit sie für das gesamte Einzugsgebiet Gültigkeit haben. Diese Auswertung wurde für die Jährlichkeiten T1, T30, T100 und T150 gemacht. Die Werte für den 150-jährlichen Bemessungsniederschlag wurden mit Hilfe der Formel von Weilguni 2007 berechnet. Für das Modell ZEMOKOST kann diese Auswertung als Input für die Berechnung verwendet werden, da das Programm die Niederschläge bei Einstellung einer Abminderung automatisch abmindert. Für das Programm HEC-HMS muss diese Abminderung manuell im Vorfeld durchgeführt werden. Es wurde dafür die "starke Abminderung" nach Blöschl 2009 gewählt. Das Modell ZEMOKOST rechnet nur mit Blockregen. Im Modell HEC-HMS ist es jedoch möglich, auch andere Niederschlags-Verteilungen zu wählen. Der DVWK empfiehlt eine Verteilung, bei der in den ersten 30% der Niederschlagsdauer 20% des Regens fallen, in den folgenden 20% der Dauer nimmt man 50% des Gesamtniederschlags an und in den letzten 50% der Regendauer nimmt man 30% des Niederschlags an. Diese Niederschlags-Verteilung stellt eine hydrologisch "ungünstigere" Bedingung als der Blockregen dar und wird vom DVWK für Bemessungszwecke empfohlen. Um den Effekt von DVWK-Regen mit Blockregen zu vergleichen, wurde im Programm HEC-HMS einmal mit Blockregen und einmal mit DVWK-Verteilung gerechnet. ZEMOKOST berechnet die dazugehörige Dauerstufe des Regens automatisch. Für das Modell HEC-HMS muss man diese im Vorfeld festlegen. Um eine angemessene Regendauer anzusetzen, wurde der Ansatz von Lorenz & Skoda (2000) verwendet. Sie bieten eine Formel zur Bestimmung von D_k , der kritischen Dauerstufe. Sie empfehlen, die Regendauer entweder gleich oder größer der kritischen Dauerstufe anzunehmen. Die Regendauer wurde auf Grund dieser Empfehlung für das Programm HEC-HMS anfangs auf 120 min festgesetzt. Ein weiterer nötiger Punkt ist die Wahl von Niederschlagsszenarios. Die Wahl fiel dabei auf drei unterschiedliche Szenarios. In Szenario 1 wird geht man von einer homogenen Gesamtüberregnung des Einzugsgebietes aus. Der Grund für die Auswahl dieses Szenarios ist, dass es oft nach großräumigen Niederschlägen zu einem Hochwasser kommt. Es ist auch möglich, dass eine konvektive Gewitterzelle die Größe des gesamten Einzugsgebiets erreicht. In Szenario zwei geht man von einer kleinräumigen Gewitterzelle im hinteren Talkessel aus. Es werden nur einige Teileinzugsgebiete überregnet. Dieses Szenario stellt ein Wärmegewitter mit kurzer Dauer, aber hoher Intensität dar, welches in dieser Region im Sommer häufig vorkommt. In Szenario drei wird das Niederschlagszentrum im hinteren Talbereich angenommen, es wird jedoch das gesamte Einzugsgebiet überregnet. Das Programm ZEMOKOST ermöglicht eine räumliche Abminderung über die Entfernung des Niederschlagszentrums zu den jeweiligen Teileinzugsgebieten. Das ermöglicht die Berechnung von Szenario 3. Szenarios 1 und 2 sind mit beiden Programmen durchführbar. Szenario 3 wird aufgrund von zu hohem Rechenaufwand nur mit dem Programm ZEMOKOST berechnet.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist, welcher Anteil des Niederschlags direkt oberflächlich oder in den Boden abfließt. In das Modell ZEMOKOST fließt dieser Punkt in Form von Abflussbeiwert- und Oberflächenrauigkeitsklassen ein. Die Einteilung der AK wurde nach Markart et al 2004 vorgenommen. Sie unterscheiden sieben verschiedene AK. Auch für die Oberflächenrauigkeit bieten Markart et al. 2004 eine Einteilung in sechs Klassen an. Die Basis-Information zur Landnutzung im Einzugsgebiet nach Seger, die von der WLV-GBL Wörgl zur Verfügung gestellt wurde, dient als Input für die Bestimmung der Abflussbeiwertund Oberflächenrauigkeitsklassen. Der jeweilige Anteil der Landnutzungsklasse je Teileinzugsgebiet wurde mit Hilfe von ArcGIS bestimmt. Die Umwandlung der Seger-Klassen in die angemessenen Abflussbeiwert- beziehungsweise Oberflächenrauigkeitsklassen wurde durch eine von Matthias Kerschbaumer (WLV Schwaz) und Stefan Hesse (WLV Zell am See) erstellte Excel-Tabelle etwas erleichtert. Der Anteil der jeweiligen AK und RKL kann nun für das Programm ZEMOKOST verwendet werden. Im Modell HEC-HMS gibt es eine andere Herangehensweise. Die Infiltrations- und Landnutzungscharakeristika fließen in Form der SCS-CN-Methode in das Modell ein. Die Methode wurde gewählt, da sie besonders geeignet für unbeobachtete Einzugsgebiete ohne Pegel- bzw. Niederschlagsmessungen ist. Mit dieser Methode kann mit Hilfe eines im Vorfeld zu definierenden CN-Wertes und einem Niederschlagsinput ein Abfluss berechnet werden. Der CN-Wert beinhaltet Information über maximales Speichervermögen des Bodens, Bodenart (Hydrologic Soil Group), Landnutzung und Vorfeuchte. Er kann einen Wert von 0 bis 100 erreichen. Der CN-Wert wird für das Programm HEC-HMS für jedes Teileinzugsgebiet benötigt. Zur Bestimmung des CN-Wertes wurde nun folgendes ausgeführt. Als erstes musste die Vorfeuchte im Einzugsgebiet bestimmt werden. Man kann aus drei Bodenfeuchteklassen wählen. Da die DVWK für Bemessungsaufgaben die Annahme von Bodenfeuchteklasse II empfiehlt, wurde diese gewählt. Bodenfeuchteklasse II repräsentiert eine durchschnittliche, aber nicht zu hohe Vorfeuchte. Als nächstes müssen die sogenannten Hydrologic Soil Groups bestimmt werden (A-D). Sie repräsentieren unterschiedliche Infiltrationsund Abflusseigenschaften. Zu deren Bestimmung sind Bodendaten nötig. Da jedoch das Einzugsgebiet von der digitalen Bodenkarte e_{BOD} nur teilweise abgedeckt ist, musste ein anderer Weg gefunden werden. Für die Bereiche, die mit e_{BOD} abgedeckt waren, wurde eine Einteilung der hydrologischen Bodenklassen auf Basis dieser gemacht. Für den Rest des Einzugsgebietes wurde die Geologie herangezogen. Dazu wurde die Einteilung der Geologischen Einheiten in passende Hydrologic Soil Groups von Hesse 2012 übernommen, da das Einzugsgebiet der Kundler Ache annähernd dieselben geologischen Klassen

aufweist wie das Alpbachtal. Mit der Hilfe von ArcGIS wurden die Boden- und Geologieinformation miteinander verschnitten. Dieser Output repräsentiert somit die Hydrologic Soil Groups im Einzugsgebiet. Der DVWK bietet nun eine auf mitteleuropäische Verhältnisse angepasste Liste, mit deren Hilfe die CN-Werte im Einzugsgebiet bestimmt werden können. Um diese jedoch anwenden zu können ist neben den Hydrologic Soil Groups auch noch die Landnutzung entscheidend. Für die Einteilung der Landnutzungsklassen wurden wiederum die Seger-Daten herangezogen. Diese mussten vorher noch auf die DVWK-CN-Tabelle angepasst werden. Um auch die lose bebauten Gebiete zu beachten, wurde die DVWK-Tabelle um die Kategorie "Wirtschaftshöfe" von Maniak 2010 erweitert. Als nächstes teilt man nun mit Hilfe von ArcGIS das gesamte Einzugsgebiet in diese Landnutzungsklassen. Dieses Ergebnis kann dann wiederum mit ArcGIS mit den Hydrologic Soil Groups verschnitten werden und man erhält somit für jeden kleinen Einzelbereich des Einzugsgebietes unterschiedliche CN-Werte. Diese müssen noch für jedes Teileinzugsgebiet gewichtet gemittelt werden und können schließlich als Input für das Programm HEC-HMS verwendet werden.

Sind nun die gesamten Input-Parameter für die N-A-Modelle erhoben, kann zur Modellierung übergegangen werden. Wie bereits mehrmals erwähnt wurden dazu die Programme ZEMOKOST und HEC-HMS verwendet. ZEMOKOST wurde in Zusammenarbeit von BFW und WLV entwickelt. Es wurde die Laufzeitmethode von Zeller modifiziert und in ein Computermodell integriert. Die totale Laufzeit setzt sich dabei aus der Gerinnelaufzeit und der Oberflächenlaufzeit zusammen. Das Modell ist in ein Microsoft Excel Dokument programmiert und ist somit für jeden einfach zu bedienen. All die im Vorfeld berechneten oder erhobenen Inputs können nun in das Modell eingefüllt werden. Zusätzlich zu den erhobenen Daten müssen für das Programm ZEMOKOST noch zwei weitere Parameter berechnet werden. Dies sind der Fließweg an der Oberfläche LOB und die Neigung J_{OB} an der Oberfläche. Der Fließweg an der Oberfläche wird nach einer Anleitung von Kohl 2011 mit der Hilfe von ArcGIS bestimmt und JOB kann dann mit einer Formelberechnung daraus abgeleitet werden. Nachdem alle Parameter eingefüllt sind, kann man für jeden beliebigen Ort des hydrologischen Systems Niederschlagsereignisse simulieren. Das Ergebnis sind Ganglinien, Höchstabflüsse und Frachten für jedes Teileinzugsgebiet.

Das zweite Modell HEC-HMS wurde vom Hydrologic Engineering Center in den USA entwickelt. Das Programm wurde erstellt, um Niederschlag-Abfluss-Prozesse in Einzugsgebieten zu simulieren. Wie bereits erwähnt wurde die SCS-Methode gewählt. Für die Transformation der Ganglinie wurde die SCS-Unit Hydrograph-Methode gewählt und für das Routing wurde die Lag-Methode ausgewählt. Die im Vorfeld erstellte Basin-Datei kann im Modell HEC-HMS geöffnet werden. Nun kann der im Vorfeld ermittelte Niederschlag integriert werden. Auch die CN kann für jedes der Teileinzugsgebiete eingefügt werden. Der Parameter, der noch fehlt und für das Programm HEC-HMS zusätzlich ermittelt werden muss, ist die Lag-Time. Diese wird mit Hilfe einer Formelberechnung nach Mishra & Singh 2003 für jedes der Teileinzugsgebiete ermittelt und kann ebenfalls in das Modell eingefügt werden. Der Output des Modells sind Ganglinien und Frachten für jedes hydrologische Element des Einzugsgebietes (z.B. Zusammenflüsse oder Mündung).

Somit kommt man mit dem Modell ZEMOKOST mit Blockregen für Szenario 1 zu einem HQ₁₀₀ von 152 m³/s mit einer Abflussfracht von ~1.600.000 m³. Für ein HQ₁₅₀ errechnet das Programm 179 m³/s mit einer Fracht von ~1.750.000 m³. Das Modell ZEMOKOST ermittelt automatisch die Regendauer mit dem höchsten Abfluss. Sie liegt in diesem Fall bei 98 min. Für das Modell HEC-HMS wurde die im Vorfeld berechnete Dauerstufe von 120 min verwendet. Dann kommt man mit HEC-HMS für Szenario 1 (ebenfalls mit Blockregen) für ein HQ₁₀₀ zu einem Ergebnis von 205 m³/s mit einer Abflussfracht von 1.782.000 m³. Da dieser Wert sehr hoch erscheint, wird für einen direkten Vergleich mit dem Modell ZEMOKOST die Dauerstufe des Regeninputs für HEC-HMS auf 90 min herabgesetzt. Dann kommt man für ein HQ₁₀₀ zu einem Ergebnis von 185 m³/s mit einer Fracht von ~1.500.000 m³. Für ein HQ₁₅₀ kommt man zu einem Ergebnis von 196 m³/s mit einer Fracht von ~1.600.000 m³. Für die Berechnung von Szenario 1 kann ausgesagt werden, dass die N-A-Modelle, auch wenn bei beiden Modellen mit Blockregen gerechnet wird, mit ihren Ergebnissen etwas auseinander liegen. ZEMOKOST erreicht dabei eine etwas höhere Abflussfracht als HEC-HMS. Dies könnte damit zu erklären sein, dass das Modell eine steilere Kurve aufweist und somit schneller die Abflussspitze erreicht wird. Für die Bemessung wird grundsätzlich empfohlen, die höchsten Scheitelwerte zu verwenden. Da dies mit dem Programm HEC-HMS die 205 m3/s noch übersteigen würde (bei einer Dauerstufe von 200 min erreicht man den höchsten Wert von 220 m³/s) und diese Werte als eher unrealistisch hoch einzustufen sind, wird das Ergebnis aus HEC-HMS mit der Dauerstufe von 90 min für den weiteren Vergleich herangezogen, da sie im Vergleich zum ZEMOKOST-Ergebnis die plausibelsten Werte darstellen. Die Berechnung mit DVWK-Regenverteilung führte wie erwartet zu einem höheren Abfluss als mit Blockregen.

Für Szenario 2 decken sich die Ergebnisse aus beiden Modellen beinahe. So errechnet HEC-HMS einen Wert von 75 m³/s mit einer Fracht von 525.000 m³. ZEMOKOST errechnet einen Wert von 82 m³/s und eine Fracht von 447.000 m³. Aus dem Ergebnis kann man schließen, dass die angenommene kurze kleinräumige Überregnung im hinteren Talbereich keine großen Hochwässer verursacht und das Gerinne diese Niederschläge problemlos aufnehmen kann.

Der Vergleich von Szenario 1 und **Szenario 3** zeigt, dass das Ergebnis aus Szenario 3 deutlich über dem Wert von Szenario 1 liegt. Bei dieser Berechnung, die nur mittels **ZEMOKOST** durchführbar war, wird ein Abflusswert von **205 m³/s** mit einer Fracht von **1.400.000 m³** erreicht. Man erreicht dabei mit einer Dauerstufe von 70 min ungefähr den Wert, den das Modell HEC-HMS mit einer Dauerstufe von 120 min für Szenario 1 errechnet. Durch dieses Ergebnis scheint der Wert aus dem Modell HEC-HMS mit Dauerstufe 120 doch brauchbar zu sein. Es könnte sich hierbei um die oberen Grenzwerte des zu erwartenden HQ₁₀₀-Abflusses handeln.

Da es, um ein Modell zu validieren, eine bewährte Strategie ist die Einheitsgrößen gleich oder ähnlich zu halten, werden für die beiden N-A-Modelle soweit als möglich dieselben Input-Parameter verwendet. Dennoch gibt es auch Abweichungen in den Input-Daten. Diese spiegeln sich auch in den unterschiedlichen Ergebnissen wieder. Abweichungen gab es wie bereits erwähnt vor allem für den Niederschlagsinput und bei den Einzugsgebietscharakteristika. Es stellt sich die Frage, ob mit der Methode zur Bestimmung der Hydrologic Soil Groups realistische Durchlässigkeiten für das Einzugsgebiet erreicht wurden. Die CN-Werte wurden zwar nach bester Möglichkeit bestimmt, sind aber generell stark subjektiv beeinflussbar und somit sehr variabel. Der CN-Wert fließt auch in die Berechnung der lag-time mit ein. Durch eine Veränderung der lagtime kann es sehr einfach zu starken Abweichungen im Modell kommen. Nach Meinung des Autors können diese Punkte innerhalb des SCS-Verfahrens, und somit die Ergebnisse, durchaus in Frage gestellt werden.

ZEMOKOST im Vergleich dazu vereint "ungünstige", aber dennoch plausible bzw. realistische Zustände und Kombinationen. Eine Übertragbarkeit der Jährlichkeit des Niederschlages auf ein Bemessungshochwasser ist dadurch stärker vertretbar.

Um einen Vergleich für die doch etwas voneinander abweichenden Ergebnisse aus der N-A-Modellierung zu erhalten und diese schließlich zu plausibilisieren, wurde der Wert aus der **HOWATI** (Hochwasser Tirol) Studie herangezogen. Die Studie wurde vom Hydrographischen Dienst und der WLV Tirol durchgeführt. Das Ziel war eine Harmonisierung der Bemessungshochwässer in Österreich. Dazu wurden 10 Leiteinzugsgebiete in Tirol bestimmt. In diesen wurden alle nötigen hydrologischen Daten erhoben und Bemessungshochwässer mit dem Modell ZEMOKOST und mit statistischer Langzeitsimulation (Monte Carlo) berechnet. Die Ergebnisse wurden anschließend in eine flächendeckende Auswertung für ganz Tirol übernommen. Im Zuge der Studie kam man zu einem **HQ**₁₀₀ Wert von **135 m³/s** bzw. zu einem **HQ**₁₅₀ Wert von **148 m³/s** für die Kundler Ache. Der HQ₁₀₀ Wert liegt um zirka 11 % unterhalb des mit ZEMOKOST berechneten Wertes. Der HQ₁₅₀ Wert um zirka 18 %. HEC-HMS übersteigt den Wert bei HQ₁₀₀ um zirka 27 %. Durch diesen Vergleich scheint der Wert aus ZEMOKOST plausibler zu sein wie der Wert aus HEC-HMS.

Ein weiterer Wert wird vom **Hydrographischen Dienst Tirol** zur Verfügung gestellt. Sie gehen für ein **HQ**₁₀₀ von einem Wert von **125-145 m³/s** aus. Für ein **HQ**₁₅₀ wird ein Wert von **133-160 m³/s** vorgeschlagen. Auch diese Werte unterstützen die ZEMOKOST-Ergebnisse in ihrer Plausibilität.

Um weitere Vergleichswerte zu erhalten wurde der Abfluss auch mit gängigen hydrologischen Faustformeln berechnet. Es wurden Berechnungen nach Wundt, Bergthaler, Hofbauer, Hoffmann, Müller und Kürsteiner gemacht. Die Ergebnisse der Formeln liegen in unterschiedlichen Höhen. Grundsätzlich können die Formelergebnisse als HQ₁₀₀-Werte angesehen werden. Wundt kann mit seiner 90%-Richtkurve als Obergrenzwert angesehen werden. In demselben Bereich finden sich auch die Ergebnisse aus der Berechnung mit HEC-HMS (D=120) sowie Kürsteiner. Somit kann die Obergrenze

des möglichen Abflusses in diesem Bereich festgesetzt werden. Hofbauer übersteigt diese Abflüsse noch um zirka 70 m³/s und liegt damit unrealistisch hoch. Das sehr niedrige Ergebnis von Hoffmann wird als "zu niedrig" eingestuft. Dies geschieht auch auf der Basis, dass Hoffmann für seine Formel die resultierende Jährlichkeit nicht näher erläutert. Müller bietet einen Wert, der genau zwischen den Ergebnissen von ZEMOKOST und HEC-HMS liegt. Das Ergebnis von Bergthaler deckt sich mit dem Ergebnis von ZEMOKOST. HEC-HMS liegt um zirka 26 m³/s darüber. Da der Formalansatz von Bergthaler auch regional aus diesem Gebiet stammt, wird ihm die höchste Plausibilität unter den Formelberechnungen unterstellt.

Neben dem Reinwasserabfluss ist auch die Geschiebefracht entscheidend. Kleine, steile Wildbacheinzugsgebiete haben große Veränderungen in ihrer Wasserführung. Im oberen, steileren Bereich des Wildbaches gibt es meist sehr viel Erosion und Transportkapazität. Darum werden dort die Wildbäche normalerweise regelmäßig geleert. Manchmal kommt es jedoch zu einem niedrigen Wasserspiegel und somit bleibt das Material liegen. Gibt es dann einen starken Niederschlag, kommt sehr viel neues Material in den Bach und somit steigt die Transportkapazität um ein Vielfaches. Das bis dahin deponierte Material wird mitgeschwemmt. Das heißt, dass starker Niederschlag und hohe Abflussraten zu einem plötzlichen enormen Geschiebetransport führen können. Deshalb ist das Ziel in der Arbeit diese extremen Geschiebefrachten abzuschätzen. Dazu werden gängige Formelberechnungen angewendet. Die Formeln von D'Agostino & Marchi basieren hauptsächlich auf dem sogenannten Geologischen Index, der die Erosionsfähigkeit des Gesteins im Gerinne wiedergibt. Zur Bestimmung des Geologischen Index wird als Erstes mit Hilfe von ArcGIS eine Einteilung der Gesteine in die Geologischen Indexklassen von Agostino & Marchi gemacht. Dies geschieht auf Basis der Geologischen Karte des Einzugsgebietes. Dann wird bestimmt, welchen prozentualen Anteil am Hauptgerinne die jeweilige Geologische Klasse aufweist. Daraus kann dann ein gewichteter gemittelter GI (Geologischer Index) für das ganze Einzugsgebiet errechnet werden. Kronfellner-Kraus bietet eine weitere Formel zur Abschätzung der Geschiebefracht. Sie arbeitet mit einem Torrentialitätsfaktor K, der die "Wildheit eines Baches" ausdrückt. Der K-Wert lässt sich entweder aus einer Grafik auslesen oder mit einer Formel berechnen. Es wurde in diesem Fall die Formelberechnung herangezogen. Der K-Wert wurde jedoch im Nachhinein mit Hilfe der Grafik auf seine Plausibilität überprüft und scheint angemessen zu sein. Weitere Formeln die verwendet werden sind die Formel nach Zeller, Zedlacher und Takei. Die Formeln Haas I und Haas III wurden ebenfalls benutzt. Sie wurden von DI Andreas Haas (WLV-GBL Wörgl) erstellt und werden dort in der Praxis verwendet. Mit Hilfe der Formelergebnisse konnte eine höchste zu erwartende Geschiebefracht von zirka 100.000-200.000 m³ abgeschätzt werden.

9.1 Fazit

Die Ergebnisse der Niederschlag-Abfluss-Modellierung liegen in unterschiedlich hohen Bereichen. Eine konkrete Plausibilisierung ist im Zuge der Arbeit nicht möglich, da es, wie bereits erwähnt, im Einzugsgebiet keine Pegelmessungen gibt und auch von vergangenen Ereignissen keine Abflussdaten oder konkrete Aufzeichnungen vorliegen. Es wird also innerhalb der Arbeit ein Vergleich bereitgestellt, der die verschiedenen Ergebnisse aufzeigt und somit eine zu erwartende Bandbreite des HQ₁₀₀ bzw. HQ₁₅₀ festlegt. Insgesamt bewegen sich die möglichen (realistischen) Werte für ein HQ₁₀₀ zwischen dem **HOWATI-Wert (als untere Grenze)** und dem Ergebnis der Formelberechnung nach **Wundt**, bzw. der Simulation mit **HEC-HMS (D=120) (als obere Grenze)**. Die Bandbreite des möglichen Hochwasserwertes würde somit ca. **135-200 m³/s** betragen. Die Werte für ein **HQ₁₅₀** reichen ebenfalls vom **HOWATI-**Wert (**als untere Grenze**) bis zum HQ₁₅₀-Ergebnis aus **HEC-HMS (D=120) (als obere Grenze**). Die Bandbreite reicht somit **von 148 m³/s bis 225 m³/s**.

Der HQ₁₀₀ Wert aus dem Modell ZEMOKOST (152 m³/s) stellt durch seine "Lage im Mittelfeld" (nur 11 % über dem HOWATI-Wert und auch im Bereich des Wertes des Hydrographischen Dienstes) und der Übereinstimmung mit dem Ergebnis aus der Formelberechnung nach Bergthaler einen durchaus plausiblen Bemessungswert dar. Für das HQ₁₅₀ aus ZEMOKOST (179 m³/s) gilt dasselbe. Es liegt zirka 18 % über dem HOWATI-Wert und befindet sich ebenfalls im Bereich des Wertes, der vom Hydrographischen Dienst vorgeschlagen wird.

Im Bezug auf die Geschiebefracht kommt man ebenfalls zu unterschiedlichen Ergebnissen. Außerdem sind die Geschiebefrachten insgesamt recht hoch angesetzt. Laut Ergebnissen der Formeln bewegt sich die **höchste zu erwartende Geschiebefracht** für die Kundler Ache im Bereich von **100.000-200.000 m³**. Die Ergebnisse der Formelberechnungen können grundsätzlich eher als Obergrenze gesehen werden, da diese Formeln Großteils zur Ermittlung der maximal zu erwartenden Geschiebefracht entwickelt wurden.

Somit wird für ein HQ_{100} ein Wert von 152 m³/s und für ein HQ_{150} ein Wert von 179 m³/s als Bemessungserwartungswert angeboten und die höchste zu erwartende Geschiebefracht wird mit 150.000 m³ festgesetzt.

10 Literaturverzeichnis

ANASTASI, Giuliano (1984): Geschiebeanalysen im Felde unter Berücksichtigung von Grobkomponenten; In: Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, Nr.70, 95 S;

BACHMANN, Hanns (1968): Kundl, 776 S;

BERGMEISTER Konrad, **SUDA** Jürgen, **HÜBL** Johannes, **RUDOLF-MIKLAU** Florian (2009): Schutzbauwerke gegen Wildbachgefahren - Grundlagen, Entwurf und Bemessung, Beispiele, 202 S;

BERGTHALER Josef (1967): ein Beitrag zur Bestimmung der Ausbauwassermenge für Wildbachverbauungen, In: Zeitschrift für Wildbach- und Lawinenverbauung, Jg. 31, Heft 3, S 13-17;

BERGTHALER Josef (1991): Anwendungsbereiche von Hochwasserformeln, In: Zeitschrift für Wildbach- und Lawinenverbauung, Jg. 55, Heft 116, S 47-73;

BERTSCHI Warin, **HUNZIKER** Gabi, **KIENHOLZ** Hans (2008): Empirische Modelle zur Geschiebefrachtabschätzung – Kalibrierung und Eingrenzung unterschiedlicher Modelle, In: Interprävent 2008 – Conference Proceedings, Volume 1, S 261-269;

BFW (Bundesforschungszentrum für Wald): Einführung in e_{bod} Quelle: http://bfw.ac.at/300/pdf/Einfuehrung_Bodenkartierung.pdf (abgerufen am 23.10.2013 um 21:00)

BLÖSCHL, Günter (1996a): Scale and Scaling in Hydrology; In: Habilitationsschrift Wiener Mitteilungen, Band 132, 346 S;

BMLFUW (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft) (2013): e_{hyd}, das Portal für hydrographische Daten Österreichs im Internet – Abteilung VII/3 – Wasserhaushalt, 7 S;

Quelle: http://www.lebensministerium.at/dms/lmat/wasser/wasseroesterreich/wasserkreislauf/hydrographische_daten/eHyd2008/20130211-eHyd-allgemeine-Beschreibung/20130211%20eHyd-allgemeine%20Beschreibung.pdf. (abgerufen am 17.12.2013 um 18:28) **CATE** Frederick M. (2000): Softwareeinsatz bei der NA-Modellierung und "Standard" NA Modelle, In: Wiener Mitteilungen Band 164: Niederschlag-Abfluss Modellierung – Simulation und Prognose, S 215-222;

D'AGOSTINO Vincenzo, **MARCHI** Lorenzo (2001): Debris Flow Magnitude in the Eastern Italian Alps: Data Collection and Analysis, in: Physics and Chemistry of the Earth, Part C: Solar, Terrestirial & Planetary Science, Vol. 26, Issue 9, S 657-663;

D'AGOSTINO Vincenzo, **MARCHI** Lorenzo (2004): Estimation of Debris flow Magnitude in the Eastern Italian Alps, in: Earth Surface Processes and Landforms, Volume 29, Issue 2, S 207-220;

DVWK Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (1991): DVWK Materialien – Beitrag zur Bestimmung des effektiven Niederschlags für Bemessungshochwasser aus Gebietskenngrößen, 2/1991, 78 S;

DVWK Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (1984): DVWK Regeln zur Wasserwirtschaft – Arbeitsanleitung zur Anwendung von Niederschlag-Abfluss-Modellen in kleinen Einzugsgebieten, 113/1984, 34 S;

ESRI (Environmental Systems Research Institute): ArcGIS 9.3 Desktop Help;

ESRI (Environmental Systems Research Institute) (2000): Hydrologic and Hydraulic Modeling Support with Geographic Information Systems. 216 S;

FEHR, René (1987a): Einfache Bestimmung der Korngrößenverteilung von Geschiebematerial mit Hilfe der Linienzahlanalyse, In: Schweizer Ingenieur und Architekt 38/87, S 1104-1109;

FEHR, René (1987): Geschiebeanalysen in Gebirgsflüssen – Umrechnung und Vergleich von verschiedenen Analyseverfahren. In: Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (ETH Zürich), Nr. 92, S 25-26;

FELDMAN Arlen D. (2000): Hydrologic Modeling System HEC-HMS – Technical Reference Manual, U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center HEC, 148 S;
FLEMING Matthew J., **DOAN** James H. (2010): HEC-GeoHMS Geospatial Hydrologic Modeling Extension – User's Manual Version 5.0, US Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering Center, 318 S;

FLIRI, Franz (1962): Wetterlagenkunde in Tirol – Grundzüge der dynamischen Klimatologie eines alpinen Querprofils, 434 S;

FLIRI, Franz (1998): Naturchronik von Tirol (Tirol, Oberpinzgau, Vorarlberg, Trentino) – Beiträge zur Klimatographie von Tirol, 369 S;

Gefahrenzonenplan (GZP) Kundler Ache (1973): Erläuterungen zur Gefahrenzonenkarte, Wörgl, September 1973;

HAGEN K., **GANAHL** E., **HÜBL** J. (2007): Analyse und Evaluierung von gebräuchlichen empirischen Ansätzen zur Hochwasserabschätzung in Wildbächen, In: BFW-Berichte – Schriftenreihe des Bundesforschungs- und Ausbildungszentrums für Wald, Naturgefahren und Landschaft, 112 S;

HESSE, Stefan (2012): Grundlagenerhebung zur Erstellung des Gefahrenzonenplanes für den Alpbach in Brixlegg, Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Naturgefahren, 176 S;

HOFBAUER, Richard (1916): Eine neue Formel für die Ermittlung der größten Hochwassermengen, In: Österreichische Wochenzeitschrift für den öffentlichen Baudienst, Jahrgang 22, S 38-40,

HOFFMANN Leopold (1970): Die Hochwasserabflussmenge in Wildbächen, In: Zeitschrift für Wildbach- und Lawinenverbauung, Jg. 34, Heft 1, S 24-30;

HOFFMANN Leopold (1971): Vergleich des Einflusses des Exponenten der Niederschlagsfläche in den Formeln für die spezifische Abflussmenge, In: Zeitschrift für Wildbach- und Lawinenverbauung, Jg. 35, Heft 2, S 87-90;

HÜBL Johannes, CHIARI Michael, KAITNA Roland (2009): Naturgefahrenmanagement BUWELA Buckelige Welt – Wechsel Land, Geschiebesimulation in Wildbacheinzugsgebieten, IAN-Report 123 im Auftrag von Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung GBL Bgld. und Südl. NÖ, 120 S;

HÜBL Johannes, BLÖSCHL Günter, KIRNBAUER Robert, KOHL Bernhard (2013): ÖWAV-Leitfaden – Niederschlag-Abflussmodellierung, unveröffentlichtes Dokument (8.10.2013), Kapitel 6: Spezielle Aspekte bei der Ermittlung von HQ_T mit NA-Modellen, 30 S;

JUFFINGER, Michael (1902): Kundl – Geschichte eines Dorfes im Unterinntal, 342 S;

JUNG, Anna (1939): Die Wildschönau – eine landeskundliche Darstellung, Dissertation Universität Innsbruck, 239 S;

KAINZ, Harald et al. (2007): ÖWAV-Leitfaden zum Softwarewerkzeug NIEDA -ÖWAV-Leitfaden – Niederschlagsdaten zur Anwendung der ÖWAV-Regelblätter 11 und 19, Österreichischer Wasser – und Abfallwirtschaftsverband, 30 S;

KOHL Bernhard (2011): Das Niederschlags-/Abflussmodell ZEMOKOST – Entwicklung eines praktikablen Modells zur Ermittlung von Hochwasserabflüssen in Wildbacheinzugsgebieten unter Einbeziehung verbesserter Felddaten. Dissertation Universität Innsbruck. 263 S;

KREPS, Harald (1975): Praktische Arbeit in der Hydrographie – 25 Jahre im Dienste der Hydrographischen Landesabteilung Steiermark, 227 S;

KRONFELLNER-KRAUS Gottfried (1984): Extreme Feststofffrachten und Grabenbildungen von Wildbächen, In: Internationales Symposium INTERPRAEVENT 1984 in Villach – Tagungspublikation Band 2, S 109-118;

KRONFELLNER-KRAUS Gottfried (1987): Zur Anwendung der Schätzformel für extreme Wildbach-Feststofffrachten im Süden und Osten Österreichs, In: Zeitschrift für Wildbach- und Lawinenverbauung Jg. 51, S 187-200;

KÜRSTEINER, L. (1917): Das neue Elektrizitätswerk der Stadt Chur an der Plessur bei Lüen, In: Schweizerische Bauzeitung – Wochenschrift für Bau-, Verkehrs- und Maschinentechnik, Band 69, S 4-8;

LAUSCHER Friedrich (1958): Studien zur Wetterlagen-Klimatologie der Ostalpenländer, In: Wetter und Leben – Zeitschrift für praktische Bioklimatologie, Jg. 10, Heft 5-7, S 79-84;

LÖHMANNSRÖBEN Raphaele (2000): Die Bedeutung des Bodens im Zusammenhang mit der Hydrologischen Regionalisierung, In: Wiener Mitteilungen Band 164: Niederschlag-Abfluss Modellierung – Simulation und Prognose, S 201-214;

LORENZ Peter, SKODA Georg (2000): Bemessungsniederschläge kurzer Dauerstufen (D ≤ 12 Stunden) mit inadäquaten Daten, in: Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes in Österreich, Nr. 80, S 1-24;

LORENZ Peter, SKODA Georg (2001): Bemessungsniederschläge kurzer Dauerstufen (D ≤ 12 Stunden) mit inadäquaten Daten (leicht veränderter Abdruck von Lorenz & Skoda 2000), in: Wiener Mitteilungen, Band 164, S 179-200;

MAIDMENT David, **DJOKIC** Dean (2000): Hydrologic and Hydraulic Modeling Support with Geographic Information Systems, 216 S;

MANIAK (1993): Hydrologie und Wasserwirtschaft – Eine Einführung für Ingenieure, 3. Auflage, 568 S;

MANIAK (2010): Hydrologie und Wasserwirtschaft – Eine Einführung für Ingenieure, 6. Auflage, 686 S;

MARKART G., KOHL B., SOTIER B., SCHAUER T, BUNZA G. und STERN R. (2004): Provisorische Geländeanleitung zur Abschätzung des Oberflächenabflussbeiwertes auf alpinen Boden-/Vegetationseinheiten bei konvektiven Starkregen (Version 1.0), In: BFW-Dokumentation Nr 3 (Schriftenreihe des Bundesamtes und Forschungszentrums für Wald), 88 S; MATTERN Michael (1996): Räumliche Abminderung von Starkniederschlägen, Diplomarbeit an der Formal- und Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Wien, 166S;

MAYR, Hans (1993): Wildschönau in Tirol – ein volkstümliches Heimatbuch, 253 S;

MERZ R., BLÖSCHL G., HUMER G. (2008): Hochwasserabflüsse in Österreich - das HORA Projekt, in: Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, Nr. 60 (9-10), S 129– 138;

MISHRA Surendra Kumar, **SINGH** Vijay P. (2003): Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology, 513 S;

MÜLLER, Robert (1943): Theoretische Grundlagen der Fluss- und Wildbachverbauungen, In: Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau an der ETH in Zürich, Nr. 4, 193 S;

NACHTNEBEL, Hans-Peter (2007/08): Hydrologie und Flussgebietsmanagement, Studienblätter – LVA-Nr.:816101, Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau, 368 S;

OSTROWSKI Manfred W. (2011): Ingenieurhydrologie II – Vorlesungsunterlagen Technische Universität Darmstadt, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, 111 S;

REITNER Jürgen M. (2006/2007): Bericht über geologische Aufnahmen im Quartär auf den Blättern 120 Wörgl und 121 Neukirchen am Großvenediger bzw. auf UTM-Blatt 3213 Kufstein,

Quelle: http://www.geologie.ac.at/gba_application/index.php/event/downloadFile/176, (abgerufen am 09.01.14, um 09:00)

RICKENMANN, Dieter (2005): Geschiebetransport bei steilen Gefällen, in: Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie – Festkolloquium 8. Oktober 2005, S 107-119;

RICKENMANN, Dieter, **KOSCHNI** Anja, **CHIARI** Michael, **SCHEIDL** Christian, **CANUTO** Nancy (2005): Abschätzung von Feststofffrachten in Wildbächen und Gebirgsflüssen, in: Ereignisanalyse Hochwasser 2005/Teil 2, BAFU/WSL, S 152-166;

ROGGER M., **KOHL** B., **PIRKL** H., **HOFER** M., **KIRNBAUER** R., **MERZ** R., **KOMMA** J., **VIGLIONE** A., **BLÖSCHL** G. (2011): HOWATI – HochWasser Tirol – Ein Beitrag zur Harmonisierung von Bemessungshochwässern in Österreich, in: Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, Band 63 Ausgabe 7, S 153-161;

ROSSO Renzo, **BACCHI** Baldassare, **La BARBERA** Paolo (1991): Fractal Relation of Mainstream Length to Catchment Area in River Networks, In: Water Resources Research, Vol. 27, Nr. 3, S 381-387;

SACKL, Bernhard (1994): Ermittlung von Hochwasser-Bemessungsganglinien in beobachteten und unbeobachteten Einzugsgebieten, Dissertation, 253 S;

SCHARFFENBERG William A., **FLEMING** Matthew J. (2010): Hydrologic Modeling System HEC-HMS – User's Manual, U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center HEC, 318 S;

SCHNEIDER Werner (2004): Möglichkeiten der Fernerkundung zur Kartierung der Landbedeckung, In: Grillmayer R. & Schneider W.: Geodaten zur Landbedeckung in Österreich, S 9 bis 17;

SCHWARZ Sigrid, ENGLISCH Michael, AICHBERGER Karl, BAUMGARTEN Andreas, BLUM Winfried, DANNEBERG Otto, GLATZEL Gerhard, HUBER Sigbert, KILIAN Walter, KLAGHOFER Eduard, NESTROY Othmar, PEHAMBERGER Alfred, WAGNER Josef, GERZABEK Martin (2001): Bodeninformationen in Österreich – Aktueller Stand und Ausblick, In: Mitteilungen der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft, Heft 62, S 185-211;

SEGER, Martin (2000): Digitales Rauminformationssystem Österreich – Landnutzung und Landoberflächen im mittleren Maßstab, In: Mitteilungen der Österreichischen Geographischen Gesellschaft, Jg. 142, S 13-38;

SEGER, Martin (2001): Rauminformationssystem Österreich – ein digitaler thematischer Datensatz des Staatsgebietes; In: Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation, Nr. 2, S 101-110;

SKODA Georg, **WEILGUNI** Viktor, **HAIDEN** Thomas (2003): Konvektive Starkniederschläge kurzer Dauer, In: Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes in Österreich, Nr. 82, S 83-98;

SORTIER Bernadette, EDER Alexander, KLEBINDER Klaus, STRAUSS Peter, MARKART Gerhard, DORNER Johann (2010): Erstellung einer Landnutzungskarte als Grundlage hydrologischer Bewertung, In: Strobl/Blaschke/Griesebner (Hrsg.): Angewandte Geoinformatik 2010 – Beiträge zum AGIT-Symposium (7.-9. Juli 2010 in Salzburg), S 316-324;

STRELE Georg (1950): Grundriss der Wildbach- und Lawinenverbauung; 340 S;

TAKEI Artisune (1984): Independence of Sediment Budget between individual torrents and a river-system, In: Internationales Symposium INTERPRÄVENT 1984 (Villach), Tagungspublikation Band 2, S 35-48;

Tiroler Landesregierung (1985): Regionales Entwicklungsprogramm für die Planungsräume Brixental und Wildschönau, 68 S;

U.S Department of Agriculture – **NRCS** (Natural Resource Conservation Service) (1986): Urban Hydrology for Small Watersheds – Technical Release 55, 164 S;

U.S Department of Agriculture – **NRCS** (Natural Resource Conservation Service) (2007): National Engineering Handbook, Part 630 Hydrology, Kapitel 15 (Time of Concentration);

Quelle: ftp://ftp.wcc.nrcs.usda.gov/wntsc/H&H/NEHhydrology/ch15.pdf, (abgerufen am 19.12.2013, 14:00)

U.S Department of Agriculture – NRCS (Natural Resource Conservation Service) (2007a): National Engineering Handbook, Part 630 Hydrology, Kapitel 16 (Hydrographs); Quelle: http://ftp.wcc.nrcs.usda.gov/wntsc/H&H/NEHhydrology/ch16.pdf, (abgerufen am 19.12.2013, 15:00)

von HANN, Julius (1883): Handbuch der Klimatologie, Band 1-2, 427 S;

WEILGUNI, Viktor (2007): Bemessungsniederschläge – Starkniederschlagsauswertung beim Hydrographischen Dienst, in: Wiener Mitteilungen Band 206/2, S 209-225;

WEILGUNI, Viktor (2013): ehyd - Fachkarte Bemessungsniederschläge, Abteilung VII/3 – Wasserhaushalt (09.01.2013), 6 Seiten,

Quelle: http://www.lebensministerium.at/dms/lmat/wasser/wasser-oesterreich/wasserkreislauf/hydrographische_daten /eHyd2008/20111130Bemessungsniederschlag/20111130%20Bemessungsniederschlag.pdf, (abgerufen am 20.01.2014 um 16:00)

WUNDT, Walter (1953): Gewässerkunde, 320 S;

WUNDT, Walter (1965): Grenzwerte der Hochwasserspende und der mittleren Abflussspende in Abhängigkeit von der Fläche, In: Die Wasserwirtschaft, Jg. 55, Heft 1, S 1 bis 4;

ZEDLACHER, Dieter (1986): Extreme Wildbach-Feststofffrachten in der Steiermark, In: Zeitschrift für Wildbach- und Lawinenverbauung, Jg. 50, Heft 103, S 5-13;

ZELLER, Jürg (1981): Starkniederschläge und ihr Einfluss auf Hochwasserereignisse: Elemente zur Abschätzung der Hochwasserabflüsse kleiner Einzugsgebiete, In: Berichte der Eidgenössischen Anstalt für das Forstliche Versuchswesen (Birmensdorf), Band 126, 2. Auflage, S 43-64;

ZELLER, Jürg (1985): Feststoffmessung in kleinen Gebirgseinzugsgebieten, In: Wasser Energie Luft, Jg. 77, Heft 7/8, S 246-251;

ZHANG Weihua, **MONTGOMERY** David (1994): Digital elevation model grid size, landscape representation, and hydrologic simulation; In: Water Resources Research, Vol. 30, Nr. 4, S 1019-1028;

Internetquellen:

http://www.wildschoenau-.tirol.gv.at/system/web/fakten.aspx?menuonr=218980827 (12.12.2013, 17:00)

http://oeaab-kundl.at/gemeinde%20statistik.htm (13.09.2013, 16:00)

www.kundl.gv.at (15.10.2013, 12:27)

http://www.wildschoenau.tirol.gv.at/system/web/fakten.aspx?menuonr=218980827 (13.09.2013, 16:34)

11 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Lage des Einzugsgebietes (Quelle: Google Maps, Wikipedia und eigene Grafik)
Abb. 2 Lage des Einzugsgebietes (Quelle: Eigene Grafik über einer ÖK 50 der WLV-GBL Wörgl)
Abb. 3: Wappen der Gemeinde Wildschönau (Quelle: http://tirolatlas.uibk.ac.at)
Abb. 4 Wappen der Gemeinde Kundl (Quelle: http://tirolatlas.uibk.ac.at)
Abb. 5 Geologische Karte des Einzugsgebietes der Kundler Ache
(Quelle: bearbeitet nach GBA Online, http://www.geologie.ac.at/)
Abb. 6 Bodenkarte des Einzugsgebietes (e _{BOD}) (Quelle: WLV-GBL Wörgl)
Abb. 7 Landnutzung im Einzugsgebiet der Kundler Ache
(Quelle: Seger-Daten – WLV-GBL Wörgl)
Abb. 8 Modelldaten an einem diskreten Gitterpunkt für die Dauerstufe 2h
(Quelle: Weilguni 2013)
Abb. 9 Ermittlung der ortsabhängigen Parameter $u(D)$ und $w(D)$ (Quelle: Kainz et al 2007) 48
Abb. 10 BemessungsNS für die Jährlichkeit 5, 50 und 100 an einem diskreten Gitterpunkt
(Quelle: Weilguni 2013)
Abb. 11 Die drei Hauptachsen eines Steines (Quelle: Fehr 1987a)
Abb. 12 Vorhersage des Anteils an Feinmaterial durch starre Zusammenlegung der
umgerechneten Linienzahlanalyse mit einer Fullerkurve (Quelle: Fehr 1987)
Abb. 13 Orte der Linienzahlanalysen im Einzugsgebiet entlang des Hauptgerinnes
(Quelle: eigene Grafik auf Basis einer ÖK50 von der WLV-GBL Wörgl)
Abb. 14 Berechnete Teileinzugsgebiete aus ArcGIS (Quelle: eigene Grafik)
Abb. 15 Bausteine der Laufzeitmethode im Modell ZEMOKOST (Quelle: Kohl 2011)
Abb. 16 Abflussbeiwertklassen (Quelle: Markart et al. 2004)
Abb. 20 benötigte Gitterpunkte des Bemessungsniederschlages aus e _{hyd} zur Abdeckung des
Einzugsgebietes (Quelle: eigene Grafik)
Abb. 21 Blockregen (Quelle: DVWK 1984)

Abb. 22 Definierte Niederschlagszelle für Szenario 2	
(Quelle: eigene Grafik auf einer ÖK50 der WLV-GBL Wörgl)	73
Abb. 23 Flächenabminderung – Entfernung vom Niederschlagszentrum für Szenario 3 (Quelle: eigene Grafik)	74
Abb. 24 Auszug aus ZEMOKOST – Berechnung des gerinnelosen, oberflächlichen	75
Abb. 25 Einteilung der Teileinzugsgebiete durch die Ordnung der Gerinneknoten, Que und Mündungen (Quelle: eigene Grafik)	llen 76
Abb. 26 Auszug aus dem Modell ZEMOKOST – Berechnung des Abfluss im Gerinne (Quelle: Kohl 2011)	77
Abb. 27 $N_{eff} = f(N,CN)$ für $I_a = 0,2*S_{max}$ nach dem SCS-Verfahren (Quelle: Ostrowski 2011)	85
Abb. 28 eindeutig bezüglich relativer Durchlässigkeit klassifizierbare Gesteine im EZC des Alpbaches mit Flächenanteilen (Quelle: Hesse, 2012)	3 87
Abb. 29 Durchlässigkeiten der Gesteine im Einzugsgebiet (Quelle: eigene Grafik bearbeitet nach Hesse 2012)	88
Abb. 30 CN-Werte in Abhängigkeit von Bodentyp und Bodennutzung für Bodenfeuchteklasse II (Quelle: DVWK 1984)	89
Abb. 31 Bodennutzungsklassen im Einzugsgebiet auf Basis der Seger-Daten	90
Abb. 32 gemittelte CN-Werte der Teileinzugsgebiete (Quelle: eigene Grafik)	91
Abb. 33 Beziehung von t_c und t_{lag} zu einer dimensionslosen Einheitsganglinie (Quelle: NRCS 2007)	92
Abb. 34 Überlagerung dreier einzelner Abflussganglinien zu einer Gesamtganglinie	
(Quelle: Nachtnebel 2007/08)	93
Abb. 35 Beispiel für Translation (Quelle: Feldman 2000)	96
Abb. 36 Beispiel für den Intensitätsverlauf eines ungünstigen Regenverlaufs mit dem Intensitätsmaximum in der Mitte (Quelle: DVWK 1984)	97
Abb. 37 von der DVWK empfohlener Niederschlagsverlauf (Quelle: DVWK 1984)	98

Abb. 38 Ganglinien der Teileinzugsgebietsknoten aus ZEMOKOST (Quelle: eigene Grafik). 101
Abb. 40 resultierende Ganglinie aus der Modellierung mit HEC-HMS für ein HQ_{100}
(D=90) (Quelle: eigene Grafik)
Abb. 39 Abflussspitzen HEC-HMS für HQ_{100} und HQ_{150} mit zunehmender Regendauer D
(Quelle: eigene Grafik)
Abb. 41 Leiteinzugsgebiete des HOWATI-Projektes (Quelle: Rogger et al. 2011)
Abb. 42 HOWATI Abflussspenden HQ ₁₀₀ ($m^3/s/km^2$) (Quelle: bearbeitet nach Rogger et al 2011) 106
Abb. 43 Modellkoeffizient Alpha (Quelle: Hagen et al 2007)
Abb. 44 Auflistung der Ergebnisse der Formelberechnungen (Quelle: eigene Grafik) 115
Abb. 45 Einteilung der Gesteine in den Geologischen Index (0-5)
(Quelle: D'Agostiono & Marchi 2001) 118
Abb. 47 Torrentialitätsfaktoren (Quelle: Kronfellner-Kraus 1987)
Abb. 48 Wildbachzonen Österreichs (Quelle: Kronfellner-Kraus 1987)
Abb. 49 Ergebnisse der Geschiebefrachtberechnung (Quelle: eigene Grafik) 125
Abb. 50 Ergebnisse aus der N-A-Modellierung von ZEMOKOST und HEC-HMS für ein
HQ ₁₀₀ von Dauerstufe 90 (Quelle: eigene Grafik)
Abb. 51 Timeline der Ereignisse der Wildbachckronik (wobei blau Hochwasser bedeutet,
braun Murgang und rote Hinterlegung bedeutet größtes Hochwasser des Jahrhunderts)
(Quelle: eigene Grafik)

12 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Auflistung der Teileinzugsgebiete mit Größe in km² (Quelle: eigene Tabelle) 56
Tabelle 2 Bodenfeuchteklassen SCS-Methode (Quelle: erstellt nach DVWK 1984) 86
Tabelle 3 Ausschnitt aus der CN-Tabelle, Kategorie "Wirtschaftshöfe"
(Quelle: erstellt nach Maniak 2010)
Tabelle 4 Auflistung der Ergebnisse aus der N-A-Modellierung (Quelle: eigene Tabelle) 104
Tabelle 5 Modellkoeffizient Alpha von Hoffmann 1971 (Quelle: erstellt nach Hagen et al 2007). 112
Tabelle 6 Abflusskoeffizienten (Quelle: erstellt nach Müller 1943) 113
Tabelle 7 Anteile der jeweiligen Geologischen Klasse des GI am Gesamtgerinne
(Quelle: eigene Tabelle)
Tabelle 8 Empirische Parameter k und a zur Berechnung der Torrentialität
(Quelle: Kronfellner-Kraus 1987)

13 Gleichungsverzeichnis

(1)
$$h_N(D,T_n) = u(D) + w(D) * \ln T_n$$
 (Weilguni 2007) S 48

(2)
$$h_N(D, T_n > 100) = \frac{h_N(D, T_n = 100)}{1.48} * T_n^{0.085}$$
 (Weilguni 2007) S 50

(3)
$$\Delta p_{i} = \frac{\Delta q_{i} * d_{mi}^{0.80}}{\sum_{1}^{n} \Delta q_{i} * d_{mi}^{0.80}}$$
(Fehr 1987) S 51

(4)
$$p_i c = 0.25 + 0.75 * \sum_{i=1}^{i} \Delta p_i$$
 (Fehr 1987) S 51

(5)
$$p(d) = \sqrt{d/d_{max}}$$
 (Fehr 1987) S 52

(6)
$$t_{tot} = t_{OB} + t_G$$
 (Zeller 1981) S 62

(7)
$$t_{OB} = \frac{527 * c * L_{OB}^{\frac{1}{3}}}{J_{OB}^{\frac{1}{3}} * (\omega * i_T)^{\frac{2}{3}}}$$
(Kohl 2011) S 62

(8)
$$t_G = \sum_{1}^{n} t_{Gi} = \sum_{1}^{n} \frac{L_{Gi}}{v_{Gi}}$$
 (Kohl 2011, Zeller 1981) S 63

(9)
$$t_G = \frac{L_G}{v_G}$$
 (Kohl 2011, Zeller 1981) S 63

(10)
$$v_G = \frac{0.37 * g^{0.33} * Q^{0.34} * J_G^{0.20}}{d_{90}^{0.35}}$$
 (Kohl 2011) S 63

(11)
$$HQ = 0,278 * A_E * \omega * i_T$$
 (Kohl 2011) S 64

(12)
$$c = \frac{L_{OB}^{2} \frac{2}{3} \frac{1}{3} (\omega * i_{T})^{2}}{527 * v_{OB}}$$
 (Kohl 2011) S 67

(13)
$$N_{eff} = \frac{(N_D - I_a)^2}{(N_D - I_a) + S}$$
 (NRCS 1986) S 83

(14)
$$I_a = 0.2 * S$$
 (NRCS 1986) S 84

(15)
$$I_a = 0.05 * S$$
 (Maniak 1993) S 84
(16) $S = \frac{1000}{CN} - 10$ (NRCS 1986) S 84

S 94

S 94

(17)
$$HQ = \sum_{k=1}^{m} \left[(U_{i-k+1}) * N_{effk} \right]$$
 (Nachtnebel 2007/08)

$$(17) \qquad \Pi Q - \Sigma_{k=1} [(U_{i-k+1}) * N_{effk}] \qquad (Nachtheoler)$$

(18)
$$U_p = C * \frac{A_E}{t_p}$$
 (Feldman 2000)

(19)
$$t_P = \frac{\Delta t}{2} + t_{lag}$$
 (Feldman 2000) S 94

(42)
$$HHQ = \alpha * 43 * A_E^{\frac{2}{3}}$$
(Müller 1943)S 113(43) $HQ = \alpha * A_E^{\frac{2}{3}}$ (Kürsteiner 1917)S 114(44) $q = \frac{\alpha}{\sqrt[3]{A_E}}$ (Hagen et al 2007)S 114(44) $q = \frac{\alpha}{\sqrt[3]{A_E}}$ (Hagen et al 2007)S 114(45) $V_G = 45 * A_E^{0.9} * J^{1.5} * GI$ (D'Agostino & Marchi 2001)S 117(46) $V_G = 18 * A_E^{1.16} * J^{1.3} * GI$ (D'Agostino & Marchi 2004)S 118(47) $V_G = K * A_E * 100 * J_C$ (Kronfellner-Kraus 1984)S 121(48) $K = \frac{k}{e^{\alpha \cdot A_E}}$ (Kronfellner-Kraus 1984)S 122(49) $V_{G_{150}} = 178 * A_E * J$ (Zedlacher 1986)S 123(50) $V_G = K * A_E^{0.78}$ (Bertschi et al 2008)S 124(51) $V_G = 13.600 * A_E^{0.61}$ (Takei 1984)S 124(52) $V_G = v_w * 1G * J_f$ (DI Andreas Haas – WLV Wörgl)S 124(53) $V_G = v_w * 3 * J_f$ (DI Andreas Haas – WLV Wörgl)S 125

Anhang

A. Wildbachchronik

1598 "Im Jahre 1598 hat Simon Hauz, dem Schmied der große Wasserguss sein habend Behausung und Schmitten alles zerrissen verderbt und hingeführt" (Juffinger, 1902, S 219);

14/15 August 1604 Ausbruch des "Wildschönauerbach", viele Schutzbauten und Mühlen zerstört, Fluren und Hüttenwerk Kundl zerstört (Fliri, 1998);

1789 gewaltige Überschwemmung in Kundl. Diesem Ausbruch fiel das Haus "unterm Berg" zum Opfer (Juffinger, 1902);

1851 und 1871 größere Wassergüsse (Juffinger, 1902);

10. Juli 1893 Furchtbarer Ausbruch der Ache. Schweres Hochgewitter 21-22 Uhr, das sich in der oberen Wildschönau in Form eines Wolkenbruches entlud. Das davon abfließende Wasser, das ganze Bäume, anderes Holz, große Steine, Geröll und Schlamm mit sich führte, unterspülte in der Klamm die Muhr und riss diese zum Großteil fort. Rinnsal der Ache füllte sich alsbald mit der Ausbruchsmasse, die durch Abbrüche an den Ufern sehr vergrößert wurde. An der Landesstraßenbrücke kam es zum Stau. Nun brach die Ache nach beiden Seiten ab und überschwemmte die Landesstraße und Gärten des äußeren Dorfes bis in die Höhe der Zäune, brach auch in die Häuser ein, füllte die Keller aus und die Wohnräume zur ebenen Erde über halbe Mannshöhe an mit Schutt und stinkendem Schlamm. Der Besitzer des Hauses ertrank. Dieser Nacht folgten weitere Regentage. Die Ache drohte immer wieder auszubrechen. Am 16. Juli kam es dann zu einem neuerlichen Ausbruch, durch den vor allem auf der Liesefelder Seite große Schäden verursacht wurden (Juffinger, 1902);

Kundler Ache Hochwasser– in Mühltal maximales Hochwasser der letzten 100 Jahre, Holzergraben: maximal bekanntes Hochwasser, am Aschbach gab es eine Mure, Weißenbach-Grießbach: maximales Hochwasser der letzten 100 Jahre – es gab eine Mure, die den Talboden verwüstet hat, 1 Haus wurde zerstört, insgesamt 2 Tote (Fliri, 1998); **1896** Wildschönau Hochwasser Auffach Kundler Ache – Tal verwüstet; Hochwasser Weißenbach-Grießbach; Ein Teil der Uferbauten wurde wieder zerstört (Juffinger, 1902);

9. Jänner 1901 Ausbruch der Kundler Ache, Tal bei Auffach verwüstet und auch im Hönigbach Hochwasser; 2. Juni bedeutender Schaden an den Uferbauten. Die Ache floss über (Juffinger); 1. September: Einige Meter hohe Vermurung beim Wohnhaus Höheneggermühle durch ein Hochwasser des Hönigbaches. Das unmittelbar an der Mündung des Hönigbaches am linken Ufer der Kundler Ache (hm 135) befindliche Wohnhaus musste abgetragen werden (GZP, 1973);

26. Juli 1906 Starkregen/Dauerregen in der Wildschönau, Hochwasser Tiefentalerbach – Brücken zerstört und Straßenschäden (Fliri, 1998);

1908 Kundler Ache und Weißenbach-Grießbach Hochwasser (Fliri, 1998);

1910 Kundler Ache und Weißenbach-Grießbach Hochwasser (Fliri, 1998);

1912 Hochwasser Auffach Kundler Ache – breite Flächen verwüstet, Straße oberhalb von Auffach zerstört durch Erdrutsch; Hochwasser Weißenbach-Grießbach (Fliri, 1998);

1927 Hochwasser Kundler Ache Auffach – Wietenbrücke, Uferschäden; Hochwasser Weißenbach-Grießbach (Fliri, 1998);

1944 Bachausbrüche mit Vermurung von Wiesen (Fliri, 1998);

16. Juni 1945 Hochwetterkatastrophe – große Verheerungen und Schäden, besonders der Weißenbach tobte – Brücke weggerissen; Große Strecken der Kundler Strasse wurden teils tief vermurt und teils gänzlich weggerissen, so dass die Straße unpassierbar wurde. Auch die an den Ufern der Ache liegenden Felder, Wiesen und Weiden wurden teilweise vermurt und teilweise weggerissen (Mayr, 1998);

1946 maximales Hochwasser seit 100 Jahren im Dorfbach-Grießbach – Mure mit 0.5 ha; Hochwasser Kundler Ache: Verwüstungen mit 4 Wochen Verkehrsunterbrechung (Fliri, 1998);

13. August 1951Hochwasser Kundler Ache in Mühltal, Hochwasser mit Unholzanfallim Holzergraben, zweitgrößtes Hochwasser seit 1893 im Weißenbach-Grießbach -

Verbauungen zerstört, Verwerfungen und Uferschäden; maximales Hochwasser im 20. Jahrhundert im Tiefentalerbach – Mure (Fliri, 1998);

8./10. Juli 1954 Erdrutsch Grießbach (Fliri, 1998);

8. September 1958 Hochwasser Grießbach – Mure mit 0,3 ha Schwemmkegel (Fliri, 1998);

Juni 1959 KundlerAche aufwärts von Auffach – Talboden auf 6 km Länge und 100 m Breite verwüstet (Bergthaler, 1967) (aufwärts hm 128 mit Bildung eines 80 m langen Ausbruches durch Bachverwerfung) (GZP, 1973). 13.6. Mure in Auffach - Brücke zerstört; 14./15.6: Neuschnee in der Wildschönau, anschließend 2 Tage Dauerregen, dies führte zu Hochwasser im Weißenbach-Grießbach – das Tal wurde verwüstet und ein Sägewerk teilweise zerstört; in Kundl gab es große Schäden; In Auffach gab es das maximale Hochwasser des Jahrhunderts und eine Mure oberhalb von Auffach, die um die 16 ha groß war - ein Heustadel zerstört; Maximales Hochwasser des Jahrhunderts mit Geschiebe im Hackentalbach (Fliri, 1998); Zerstörung der Landesstraße bei km 104, hm 137: Unterwaschung einer Mühle, (GZP, 1973) Das Hochwasser zählt zu den größten Hochwässern in dem Jahrhundert (Bergthaler, 1967);

25. Juli 1967 30 Minuten Gewitter/Wolkenbruch in der Wildschönau, Hochwasser mit Geschiebe im Holzergraben - Katastrophe durch Verbauung verhindert; (Fliri 1998) Murgänge des Holzergrabens in Auffach und Weißenbach in Mühltal; Weißenbach: Überbordung des 5 m hohen Geländerückens während des Murganges durch Spritzwasser (GZP, 1973);

2. August 1974 Hochwasser mit Geschiebe im Birnenbach-Kendlbach und im Stallgraben; Hochwasser und Mure im Scheibengraben (ca. 0.1 ha nahe der Landstraße); Hochwasser im Unterberggraben (Fliri, 1998);

19. September 1974 Hochwasser und Mure im Tiefentalerbach - Straße unterbrochen (Fliri, 1998);



Abb. 51 Timeline der Ereignisse der Wildbachckronik (wobei blau Hochwasser bedeutet, braun Murgang und rote Hinterlegung bedeutet größtes Hochwasser des Jahrhunderts) (Quelle: eigene Grafik)

B. Verbauungssituation der Kundler Ache

Im Gemeindegebiet Wildschönau. Im Jahre 1905 wurden für die Kundler Ache und die bedeutendsten Seitengräben 8 Verbauungsprojekte verfasst und erstmals 1907 mit den Verbauungsarbeiten begonnen. Seither wurde mit nur kurzen Unterbrechungen an diesem Wildbach gearbeitet (GZP, 1973).

1907-1949: Örtlich notwendige Schutzbauten – teilweise in Holz an der Ache. Wegen Finanzierungsschwierigkeiten ist eine durchgehende Regulierung nach dem vorerwähnten Projekt unterblieben (GZP, 1973).

1950-1968: Ausgaben 10,7 Mio S. Regulierung mit Grundschwellen, Buhnen und Leitwerken Mühltal-Auffach, Bachbettherstellungen; 1 Bogensperre im Holzergraben 1966 mit 41.000 m³ Stauraum (GZP, 1973).

1969-1972: Ausgaben 2,1 Mio S. Bachbettherstellung, Steingrundschwelle hm 139,16. Im <u>Weißenbach</u> 3 Steinsperren hm 0,25 bis 1,01; 1 Schwergewichtsbalkensperre hm 12,95 mit 175.000 m³ Stauraum (GZP, 1973).

Im Kalksteingebiet sind nur wenige Verbauungen nötig. Anders ist das im Schiefergebiet und in Gebieten mit Moränenschuttablagerungen. Die Hänge und Bachufer sind dort sehr rutschanfällig und es kann zur Ausschwemmung von großen Geschiebemengen kommen. Wie oben ersichtlich ist, wurde 1950 bereits mit konkreten Verbauungsmaßnahmen begonnen. Es gab 8 Projekte für die Verbauung der Ache und der gefährlichsten Seitengräben. Anschließend an diese Projekte wurde von der Wildbach und Lawinenverbauung von 1950-1980 immer wieder ein 10-Jahres Programm entwickelt (Mayr, 1993).

Auflistung der Verbauungen (Mayr, 1993)

- **Sperrmauern** aus massivem Mauerwerk im Weißenbach in Mühltal und im Holzergraben in Auffach
- **Geschiebesperren** (Schotterauffangbecken) mit vorgemauerter Ablassöffnung und Erddamm unterhalb des Aglerhofes in Oberau;
- **Betonschalen** bei Talmühle in Oberau (wobei Seitenwände und Bachbett betoniert sind)
- **Beidufrige Leitwerke** an der Ache von Mühlau gegen Auffach. Die Ache erhält durch diese Leitwerke (Querwerke) eine geplante Führung und es wird damit der Uferschutz gewährleistet und das Ausbrechen des Baches verhindert. Anstelle der fixen Buhnen wurden auch lose Blockwurfbuhnen errichtet. Gegen Mühltal zu wurde vom Tegelanger her ein fixes seitliches Böschungspflaster eingebaut.
- Krainerwände im Oberlauf des Holzergrabens in Auffach in Form von großen, quer in die Gräben gelegte Fichten- oder Tannenstämmen mit eingelegten kleineren Stämmen. Sie verhindern das Eintiefen des Grabens und das Einrutschen der Seitenhänge. Außerdem soll die Wucht des Wassers vermindert und die Geröllführung aufgelandet werden.

Verbauungen aus Wildbachkataster und Wildbachaufnahmeblätter

Tiefentalerbach: 1952: Verbauung: rechtsufriges Leitwerk: hm 0.5-1.1, Beton-Sohlgurte (hm 0,11; hm 0,25; hm 0,39); beidufrige Beton-Leitwerke (hm 0,11-0,93), Beton-Brückenwiederlager (hm 0,14-0,195),

Holzergraben: 1912, 1939: lokale Uferschutzbauten am Unterlauf; 1966/67: Gewölbesperre bei hm 5,0 (Stauraum von 46.000 m³); diverse Holz-Grundschwellen (11,75-14,45); diverse Betonsperren (hm 0,42; hm 1,78-3,48), beidufrige Steinschlichtung (hm 2,39-2,76), linksufrige Steinschlichtung (hm 2,77-2,94), Beton-Einlaufsperre (hm 1,18), Beton-Sohlgurte (hm 0,73-1,06), beidufrige Beton-Leitwerke (hm 0,63-1,18), Beton-Abschlusssperre (hm 0,62);

Weißenbach: 1951: 142 m Uferleitwerk rechts mit 2 Grundschwellen oberhalb der Landesstraßenbrücke; 1971/72: 3 Steinsperren hm 0,3-1,0, 88m Ufermauer mit 3 Sperren (hm 1,0-1,9), 3 Geschiebesperren (Balkensperren) (hm 2,0; 8,0 und 13); Betonsperre (hm 0,12),

Schrattlbach: diverse Betonsperren (hm 0,15, hm 0,54-0,75 und von hm 12,36-14,88 und 15,05-16,17), Beton-Vorsperre (hm 2,61), diverse Betongrundschwellen (hm 0,18-2,36), Geschiebestausperre (hm 2,74), Geschiebeablagerungsplatz (hm 2,71-3,8), beidufrige Steinschlichtung (hm 0,00-3,5; hm 12,28-12,63), beidufrige Grobsteinschlichtungen (hm 0,00-0,47; hm 12,28-12,63; hm 14,71-15,84; hm 15,85-16,32), beidufrige Holz-Leitwerke (hm 0,54-0,80; hm 12,63-13,76; hm 13,77-14,71),

Schwarzenbach: 3 Betongrundschwellen (hm 11,45-11,64), beidufrige Steinschlichtung (hm 11,25-11,73;

Kundler Ache: diverse Betongrundschwellen (hm 134,06-139,05), beidufrige Steinschlichtung (hm 133,96-139,35),

C. Legende Geologie



Seite 166 von 193



Seite 167 von 193

D. Berechnung von D_k für das Einzugsgebiet

$$\Delta H = 2299 \ m - 508 \ m = 1791 \ m$$

$$L = 1.27 * A^{0.6} \qquad L = 1.27 * 86.5^{0.6} = 18.45 \ km$$

$$S = \frac{\Delta H}{L} \qquad S = \frac{1791}{18.45} = 97.07$$

$$D_k = \frac{58*L}{A^{0.1}*1.34*S^{0.32}} \qquad D_k = \frac{58*18.45}{86.5^{0,1}*1.34*97.07^{0.32}} = 118 \text{ min}$$

$$D_k = 59.34 * A^{0.692} * (\Delta H)^{-0.32}$$
 $D_k = 59.34 * 86.5^{0.692} * (\Delta H)^{-0.32} = 118 min$

E. Berechnung von t_{lag}

Teileinzugsgebiet	CN-Wert	Gefälle	Längster Fließweg (m)	t _{lag} (h)	tlag (min)
1	79	0,14	2660,7	0,50	30
2	52	0,25	1967,6	0,59	36
3	57	0,33	2554,2	0,57	34
4	70	0,34	1533,0	0,27	16
5	61	0,23	3646,3	0,81	49
6	61	0,24	3631,9	0,80	48
7	64	0,15	3389,8	0,88	53
8	66	0,18	3688,5	0,82	49
9	71	0,23	2937,4	0,53	32
10	70	0,17	3583,0	0,74	44
11	64	0,13	4061,2	1,11	66
12	65	0,24	3685,3	0,72	43
13	55	0,21	3739,6	1,00	60
14	69	0,20	3663,0	0,71	42
15	64	0,26	2634,5	0,55	33
16	69	0,16	1112,7	0,31	18
17	72	0,16	6210,7	1,13	68
18	75	0,18	5403,9	0,87	52
19	70	0,16	4144,9	0,85	51
20	69	0,22	4332,8	0,78	47
21	66	0,20	2108,0	0,49	30
22	68	0,20	6341,5	1,14	68
23	61	0,20	4843,0	1,10	66
24	76	0,25	3179,4	0,47	28
25	74	0,25	1669,1	0,29	18
26	75	0,31	2693,8	0,38	23
27	70	0,20	3916,6	0,73	44
28	56	0,27	3412,7	0,81	48
29	62	0,17	6434,2	1,44	86
30	72	0,37	2606,7	0,36	22
31	66	0,20	4189,3	0,86	51
32	75	0,25	2283,7	0,37	22
33	65	0,24	1935,5	0,44	26
34	59	0,24	3416,5	0,79	48
35	69	0,11	4120,0	1,06	64

Ort. Fatum/Unset: Detum/Unset: fatalia (mi) 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 n p 2-3 1-2 1 1 1 1 1 p 50 1 p 50 2-3 1 1 1 1 1 1 p 50 1 p 50 2-3 1	Ort: Deturn/Unratif Setum/Unratif Farkine(mi) 5 10 15 20 23 30 35 40 45 50 n p 2-1 12 1 <	Linienzahlana	lyse												
Flattion (m) 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 n p Num 1-2 1-2 1-2 1	Flattion (m) 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 n p Numerican 12 1 <td< th=""><th>Ort:</th><th></th><th></th><th></th><th></th><th>Datum/Uhi</th><th>rzeit:</th><th></th><th></th><th></th><th></th><th></th><th></th><th></th></td<>	Ort:					Datum/Uhi	rzeit:							
4-1 1-2	< 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 < 1 <t< th=""><th>Fraktion [cm]</th><th>5</th><th>10</th><th>15</th><th>20</th><th>25</th><th>30</th><th>35</th><th>40</th><th>45</th><th>50</th><th>u</th><th>d</th><th>Summe p</th></t<>	Fraktion [cm]	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	u	d	Summe p
12 12 <td< td=""><td></td><td><=1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></td<>		<=1													
33 3.4 3.5 3.	23 9	1-2													
	34 9	2-3													
4.6 6 6 7 6 7 <th7< th=""> 7 <th7< th=""> <th7< th=""></th7<></th7<></th7<>	4.6	3-4													
6-8 9-1 <td>6.8 6.8 6.1<td>4-6</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></td>	6.8 6.8 6.1 <td>4-6</td> <td></td>	4-6													
8-10 9-10 10-12 10-12 10-10 1	8:10 8:10 10:12 11:10 1	6-8													
10-11 10-11 <th< td=""><td>10-12 <th< td=""><td>8-10</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></th<></td></th<>	10-12 10-12 <th< td=""><td>8-10</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></th<>	8-10													
12-15 12-20 <th< td=""><td>12-15 12-16 1</td><td>10-12</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></th<>	12-15 12-16 1	10-12													
15-20 15-20 15-20 20-25 25-30 25-30 25-30 25-30 25-30 25-40 10-10 10-10 35-40 10-10 10-10 35-40 10-120 10-10 100-120 100-120 10-10 120-120 120-120 10-10 120-120 100-120 100-120 120-120 100-120 100-120 120-120 100-120 100-120 120-120 100-120 100-120	15-20 15-20 <th< td=""><td>12-15</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></th<>	12-15													
20-25 25-30 25-30 25-30 25-30 30-35 35-40 30-35 35-40 35-40 9 40-50 9 50-60 9 50-60 9 50-60 9 50-60 9 50-100 9 100-120 9 120-150 9 120-150 9 50mme 9	20-25 29-30 29-30 9 <	15-20													
25-30 29-35 30	25-30 25-30 25-30 25-30 26-30 27-30 <td< td=""><td>20-25</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></td<>	20-25													
30-35 30-35 35-40 35-40 35-40 9 35-40 9 10-120 9 60-80 6 60-80 9 60-100 9 100-120 9 110-120	30-35 30-35 35-40 35-40 35-40 9 40-50 9 40-50 9 50-60 9 50-60 9 50-60 9 50-60 9 50-60 9 60-30 9 60-100 9 80-100 9 80-100 9 80-100 9 100-120 9 110-120 9 110-120 9 110-120 9 110-120 9 110-120 9 110-120 9 110-120 9 110-120 9 110-120 9 120-130 9 120-130 9 120-130 9 120-130 9 120-130 9 120-130 9 100-130 9 100-130	25-30													
35-40 35-40 1	35-40 35-40 0	30-35													
40-50 40	40-50 40 10	35-40													
50-60 50-60 60-80 <td< td=""><td>50-60 50-60 60-80 60-80 60-80 60-80 60-80 70</td><td>40-50</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></td<>	50-60 50-60 60-80 60-80 60-80 60-80 60-80 70	40-50													
60-80 60-80 80-100 80-100 80-100 100-120 100-120 100-120 100-120 120-150 100-120 100-120 120-120 100-120 100-120 100-120 120-120 100-120 100-120 100-120 120-120 100-120 100-120 100-120 120-120 100-120 100-120 100-120 120-120 100-120 100-120 100-120 120-130 100-120 100-120 100-120 120-130 1100-120 100-120 100-120 120-130 1100-120 100-120 100-120 1300-120 100-120 100-120 100-120 1300-120 100-120 100-120 100-120 1300-120 100-120 100-120 100-120 1300-120 1100-120 100-120 100-120 1300-120 1100-120 100-120 100-120 1300-120 1100-120 100-120 100-120 1300-120 1100-120 100-120 100-120 1300-120 <td>60-80 70-80 70-80 70-80 70-80 70-80 70-80 70-80 70-80 70-80 70-80 70-80 70-80 70-80 70-80 <th< td=""><td>50-60</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></th<></td>	60-80 70-80 70-80 70-80 70-80 70-80 70-80 70-80 70-80 70-80 70-80 70-80 70-80 70-80 70-80 <th< td=""><td>50-60</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></th<>	50-60													
80-100 80-100 100-120 100-120 100-120 100-120 120-150 100-100 120-200 100-100 >200 >200 Summe Summe	80-100 80-100 100-120 100-120 100-120 100-120 120-150 100-120 120-150 100-120 150-200 100-120 16	60-80													
100-120 100-120 120-150 120-200 2200 200 200 200 200 200 200 200	100-120 100-120 120-150 120-150 120-150 120-150 150-200 120-150 160-200 120-150 170-200 120-150 170-200 120-150 170-200 120-150 170-200 120-150	80-100											1		
120-150 120-150 120-150 120-150 120-150 120-150 120-150 120-150 120-150 120-150 120-150 120-150 120-150 120-150	120-150 120-150 120-150 120-150 120-150 120-150 120-150 120-150 120-150 120-150 120-150 120-150 120-150 120-150	100-120													
150-200 150-200 200 200 200 200 200 200 200 200 20	150-200 150-200 >200 >200 Summe 1	120-150													
×200 Summe	>200 =	150-200													
Summe	Summe	>200													
		Summe													

F. Auswertung der Linienzahlanalysen



 $d_{30} = 2,4 \text{ cm}$ $d_{90} = 78 \text{ cm}$ $d_m = 29,6 \text{ cm}$



Seite 171 von 193









Nr.

Datum: 17.07.2012



d ₃₀ = 2	2,2 cm	d ₉₀ =	38 cm	d _m =	17,4 cm
----------------------------	--------	--------------------------	-------	------------------	---------



 $d_{30} = 1,4 \text{ cm}$ $d_{90} = 24 \text{ cm}$ $d_m = 8,8 \text{ cm}$



Seite 173 von 193



$d_{30} = 2,6 \text{ cm}$ $d_{90} = 24 \text{ cm}$ $d_m = 10,2 \text{ c}$





d ₃₀ = 3 cm	d ₉₀ =	30 cm	d _m =	11,5 cm
-------------------------------	-------------------	-------	------------------	---------



 $d_{30} = 2,1 \text{ cm}$ $d_{90} = 30 \text{ cm}$ $d_m = 9,9 \text{ cm}$





 $d_{30} = 2,3 \text{ cm}$ $d_{90} = 91 \text{ cm}$ $d_m = 27,2 \text{ cm}$



 $d_{30} = 4,2 \text{ cm}$ $d_{90} = 41 \text{ cm}$ $d_m = 16,9 \text{ cm}$



Seite 176 von 193

Den Teileinzugsgebieten wird d_{90} aufgrund ihrer Zubringerlage entlang des Hauptgerinnes zugeordnet.

TEZG	d ₉₀
1	0,3
2	0,23
3	0,23
4	0,8
5	0,8
6	0,8
7	0,42
8	0,6
9	0,8
10	0,8
11	0,8
12	0,25
13	0,8
14	0,8
15	0,25
16	0,25
17	0,25
18	0,35
19	0,35
20	0,9
21	0,35
22	0,9
23	1,65
24	0,35
25	0,35
26	0,35
27	0,35
28	0,9
29	0,6
30	0,32
31	1,25
32	1,25
33	0,35
34	0,35
35	0,25

G. Seger-Daten

1. Siedlungsraum
1.1 vorwiegend geschlossene Bebauung: Siedlungskerne, Ortszentren, Sammelsiedlungen, vielfältig und
vielfach umgestaltet
1.11 Stadtkerne (soferne von entspr. Flächengröße)
1.12 sonstige Ortskerne (meist Marktorte, und soferne von darstellbarer Größe)
1.13 ländliche Sammelsiedlungen (z.B. Straßendörfer, inkl. Erweiterungen, soferne diese für gesonderte
Ausweisung zu klein), unterschiedlich urban überprägt
1.14 Zentren nicht geschlossen bebauter, ländlicher Siedlungen (z.B. Haufendörfer, Orte mit Kirche), Kern
im Dorf (alpine Siedlungen)
1.15 unvollkommenes Straßendorf
1.16 Kettendörfer, lockere Sammelsiedlungen ohne Kern
1.2 sonstige städtisch-dichte Bebauung
1.21 übriges vorwiegend geschlossen bebautes städtisches Siedlungsgebiet (Gründerzeitausbau in
Großstädten, Wien etc., überbaute Vorstädte)
1.22 städtische Verdichtung, Mengung von einzelnen Wohnblöcken, Reihenhausanlagen mit sonstiger
offener Bebauung, Dominanz der Wohnfunktion
1.23 große mehrgeschoßige Wohnanlagen unterschiedlicher Bauperioden
1.24 städtische Verdichtung allgemeiner struktureller und funktionaler Mengung
1.25 in der Agglomeration aufgegangenes ehemaliges Dorf
1.26 Mengung von Wohnbauten und größeren Betrieben im Bereich geschlossener Bebauung
1.27 Mengung von Wohnbauten und größeren Betrieben im Bereich dichter Bebauung
1.28 vorwiegend geschlossen bebautes städtisches Siedlungsgebiet, durchsetzt von Altbauten (der
Vorgründerzeit)
1.29 dominanter Geschaftsstraßenbereich
2 A grorroum:
2.0. Verehnungsflächen ehen his sanft geneigt (his ca. 2°), z.B. Quartäre Terrassenfluren und andere
Aufschützungsflächen Talboden (inkl. Randbereiche)
2.00 Ackerland (mehr als ca. 90%)
2.01 Ackerland dominant. Grünlandanteil >10%
2.02 Acker-Grünland-Mengung, jeweils zwischen 40 u. 60%
2.03 Grünland dominant (Ackerflächen-Anteil >10%)
2.04 Grünland (mehr als 90%)
2.05 Weingärten bzw. Weinbau-Ackerflächen-Komplexe
2.06 Obstbau bzw. Sonderkulturen-Ackerflächen-Komplexe
2.07 kleinräumige Mengung von Sonderkulturen, Acker- u. Grünlandflächen (Weststeiermark)
2.08 Feuchtflächen (Moore im Agrarraum), Schilfbestände, unterschiedlich extensiv genutzt
2.09 Grünland, zugleich Wintersportgelände (Schipisten etc.)
2.1- welliges und schwach geneigtes Gelände (2 - unter 5°), sowohl in den Vorländern wie in
Durchgangslandschaften des Berggebietes
2.10 Ackerland (mehr als ca. 90%)
2.11 Ackerland dominant, Grünlandanteil >10%
2.12 Acker-Grünland-Mengung, jeweils zwischen 40 u. 60%
2.13 Grünland dominant (Ackerflächen-Anteil >10%)
2.14 Grünland (mehr als 90%)
2.15 Weingärten bzw. Weinbau-Ackerflächen-Komplexe
2.16 Obstbau bzw. Sonderkulturen-Ackerflächen-Komplexe
2.17 kleinräumige Mengung von Sonderkulturen, Acker- u. Grünlandflächen (Weststeiermark)
2.18 Feuchtflächen (Moore im Agrarraum), Schilfbestände, unterschiedlich extensiv genutzt
2.19 Grünland, zugleich Wintersportgelände (Schipisten etc.)
2.2- mäßig geneigte Hangzonen und kuppiertes Gelände (5 - unter 15°), z.T. unterschiedliche Neigungs- und
Expositionsverhältnisse
2.20 Ackerland (mehr als ca. 90%)
2.21 Ackerland dominant, Grünlandanteil >10%

2.22 Acker-Grünland-Mengung, jeweils zwischen 40 u. 60% 2.23 Grünland dominant (Ackerflächen-Anteil >10%) 2.24 Grünland (mehr als 90%) 2.25 Weingärten bzw. Weinbau-Ackerflächen-Komplexe 2.26 Obstbau bzw. Sonderkulturen-Ackerflächen-Komplexe 2.27 kleinräumige Mengung von Sonderkulturen, Acker- u. Grünlandflächen (Weststeiermark) 2.28 Feuchtflächen (Moore im Agrarraum), Schilfbestände, unterschiedlich extensiv genutzt 2.29 Grünland, zugleich Wintersportgelände (Schipisten etc.) 2.3- Dominanz steiler Hanglagen (über 15°), Talflanken inkl. Rücken und Hangleisten etc. 2.30 Ackerland (mehr als ca. 90%) 2.31 Ackerland dominant, Grünlandanteil >10% 2.32 Acker-Grünland-Mengung, jeweils zwischen 40 u. 60% 2.33 Grünland dominant (Ackerflächen-Anteil >10%) 2.34 Grünland (mehr als 90%) 2.35 Weingärten bzw. Weinbau-Ackerflächen-Komplexe 2.36 Obstbau bzw. Sonderkulturen-Ackerflächen-Komplexe 2.37 kleinräumige Mengung von Sonderkulturen, Acker- u. Grünlandflächen (Weststeiermark) 2.38 Feuchtflächen (Moore im Agrarraum), Schilfbestände, unterschiedlich extensiv genutzt 2.39 Grünland, zugleich Wintersportgelände (Schipisten etc.) 2.4- höhergelegene, sanft geneigte Gunstlagen der Agrarwirtschaft (Mittelgebirgsterrassen, Plateauflächen, Hochtäler) 2.40 Ackerland (mehr als ca. 90%) 2.41 Ackerland dominant, Grünlandanteil >10% 2.42 Acker-Grünland-Mengung, jeweils zwischen 40 u. 60% 2.43 Grünland dominant (Ackerflächen-Anteil >10%) 2.44 Grünland (mehr als 90%) 2.45 Weingärten bzw. Weinbau-Ackerflächen-Komplexe 2.46 Obstbau bzw. Sonderkulturen-Ackerflächen-Komplexe 2.47 kleinräumige Mengung von Sonderkulturen, Acker- u. Grünlandflächen (Weststeiermark) 2.48 Feuchtflächen (Moore im Agrarraum), Schilfbestände, unterschiedlich extensiv genutzt 2.49 Grünland, zugleich Wintersportgelände (Schipisten etc.) 3. Typisierung der Waldflächen: vorrangig nach Laub- und Nadelwaldverhältnissen 3.10 Nadelwald dominiert 3.11 Schwarzföhrenbestände "rein" (>90%) (4 Schuböck) 3.20 Laubwald dominiert 3.30 Mischwald, Nadelwald dominiert 3.31 Schwarzföhren mit Laubwaldbeimengung (Kiefer >50%) (5 Schuhböck) 3.32 Schwarzföhren mit Laubwaldbeimengung (zusätzl. Fichten u. Lärchen) (9 Schuhböck) 3.33 Schwarzföhren mit Fichten bzw. Lärchenbeimengung (7 Schuhböck) 3.40 Erlenbuschwerk, (z.T. mit Krummholz, z.T. baumdurchsetzt), meist innerhalb der Waldgrenze 3.50 Nadelwald felsdurchsetzt 3.60 Misch- und Laubwald felsdurchsetzt 3.70 größere Bestände flußbegleitender Gehölze 3.80 Mischwald, Laubwald dominiert 3.81 Laubwald mit Schwarzföhren-Beimengung (Kiefer <50%) (6 Schuhböck) 3.82 Laubwald mit Schwarzföhren-Beimengung (zusätzlich Fichten und Lärchen) (10 Schuhböck) 3.90 Moorflächen mit Gehölzbestand bzw. im Waldbereich 4. subalpin-alpines Höhenstockwerk 4.0 Gletscher 4.1 Felsgelände u. Geröllhalden. Gipfelbereiche und übrige felsige Hänge mit geringer oder fehlender Vegetationsdeckung 4.11 Felsgelände 4.2 alpine Rasen in Mengung mit Felsformationen und Lockermaterial 4.3 alpine Rasen und Matten, dichte Vegetationsdeckung, meist Almwirtschaft, nicht oder schwach fels- u. gerölldurchsetzt

4.4 Mengung von Krummholz mit alpinen Rasen

4.5 flächige Krummholzbestände

4.6 Mengung von alpinen Rasen mit Bäumen und Baumgruppen. Gebiete zwischen aktueller u. potentieller Waldgrenze

4.7 Mengung von Krummholz, Grünerlen u. Kampfzone des Waldes, oberhalb bzw. außerhalb geschlossener Waldbestände, z.T. fels- oder rasendurchsetzt

4.8 Grünlandbereiche außerhalb des Dauersiedlungsraumes, unterhalb der Waldgrenze, Vor- u.

Zwischenalmen

4.9 Moore im subalpin-alpinen Bereich

5. sonstige Flächen

5.0 stehende Gewässer

5.1 Fließgewässer (ab Darstellungsbreite ca. 1 mm in ÖK 50)

5.3 Golfplätze

5.4 sonstige Sport- u. Freizeitflächen im "Grünraum", z.B. Segelflugplatz, Campingplatz, Schießstätten, Hundeabrichteplatz, Wildpark

5.5 sonstige unbebaute öffentliche Flächen außerhalb des Siedlungsraumes

5.6 Gletscherschigebiete

5.7 Schipisten der Hochregion

5.8 Schipisten auf alpinen Rasen

5.9 Schipisten im Wald- u. Zwischenalmbereich
H. Erstellung einer *.basin-Datei mit der Extension GeoHMS (ArcGis 9.3)

Der erste weitere Schritt ist es, ein neues HEC-HMS-Projekt anzulegen. Dazu muss am Auslass des Einzugsgebietes ein Control Point gesetzt werden. Dieser Punkt repräsentiert die Grenze des Einzugsgebietes flussabwärts. Anschließend wird mit der Funktion Generate Project das Einzugsgebiet flussaufwärts dieses Punktes festgelegt. Ist dies erfolgreich ausgeführt, öffnet sich ein Fenster mit den Layern, die bereits aus den ArcHydroTools bekannt sind (DHM, Fil-Grid, Fdr-Grid u.s.w.) und den neuen Lavern (Project Points). Diese werden nun für das HEC-HMS-Projekt als Input und für weitere Berechnungen verwendet. Nachdem nun das neue Projekt erstellt wurde, kommt es normalerweise als nächstes zur Bearbeitung der Teileinzugsgebiete. Hier ist vor allem die Funktion Basin Merge interessant. Dieser Schritt wurde aber in diesem Fall schon im Vorhinein bei der Abgrenzung der Teileinzugsgebiete verwendet und muss deshalb an diesem Punkt nicht mehr ausgeführt werden. Da dies bereits durchgeführt wurde, kann mit der Ermittlung der topographischen Fluss- und Gebietseigenschaften fortgefahren werden. Dazu zählen Flusslänge, Neigung des Gerinnes, durchschnittliche Neigung des Geländes der Teileinzugsgebiete, Längster Fließweg und der Schwerpunkt (Centroid) von jedem Teileinzugsgebiet. All diese Berechnungen finden sich im Reiter Basin Characteristics. Als nächstes nutzt man die Funktion Select HMS Processes und kann damit die späteren Berechnungswege für HEC-HMS bereits einstellen. Man definiert den Teileinzugsgebietsund den Flusslayer, die verwendet werden sollen und kann bereits hier die für HEC-HMS nötigen Methoden für Loss, Transform, Baseflow und Routing einstellen. In diesem Fall wurde folgendermaßen gewählt:

Subbasin-Loss Method	SCS Curve Number
Subbasin-Transform Method	SCS Unit Hydrograph
Subbasin-Baseflow Method	None
River-Route Method	Lag

Weiters wäre es auch möglich mit der Hilfe der Extension GeoHMS all die nötigen Parameter für die verwendeten Methoden zu ermitteln. Dies wurde in dieser Arbeit jedoch unabhängig von diesem Programm ausgeführt und später manuell in HEC-HMS eingegeben. Deshalb ist der nächste Schritt, die Basin-Datei zu erstellen. Dazu müssen als erstes die derzeitigen Daten in HMS-Einheiten konvertiert werden. Man kann wählen zwischen Englischen oder SI-Einheiten. Es wurden die SI-Einheiten gewählt. Der nächste Schritt ist eine Datenüberprüfung. Mit der Funktion *HMS Check Data* wird überprüft, ob die verwendeten Input-Dateien geeignet für HEC-HMS sind. Es wird zum Beispiel das hydrologische Netzwerk auf seine Konnektivität überprüft. Auch die Schreibweisen der Namen und Beziehungen zwischen den unterschiedlichen Flusssegmenten und Teileinzugsgebieten werden überprüft. Das Programm liefert eine Log-File in der ersichtlich ist, ob es etwaige Komplikationen oder Fehler gibt. Ist dies nicht der Fall kann fortgefahren werden. Der nächste Punkt ist die Erstellung der HEC-HMS Gerinne-Systematik. Dazu dient der Befehl *HMS Schematic*. Um die Icons im typischen Stil anzeigen zu lassen, dient der Befehl *Toggle HMS Legend*. Als nächstes ist noch der Befehl *Prepare Data for Model Export* nötig, um es möglich zu machen, die Daten in das Ascii-Format zu übertragen. Nun kann die Basin-Datei erstellt werden (Befehl *Basin Model File*). Dabei werden die Daten in eine Ascii-Datei exportiert, die von dem Programm HEC-HMS gelesen werden kann (Fleming & Doan 2010).

I. Bemessungsniederschläge

T 150							
Dauerstufe (D)	Stationen						
[min]	4317	4316	4423	4424	4530	4531	4638
5	21,5	21,4	21,2	21,1	20,8	20,6	19,6
10	40,7	38,9	40,0	40,4	38,4	37,4	33,7
15	52,2	49,7	51,5	52,2	49,0	47,9	42,5
20	59,4	56,3	58,7	59,6	55,5	54,3	48,0
30	69,9	66,2	69,2	70,3	65,5	64,0	56 <i>,</i> 3
45	80,5	75,8	79,5	81,1	75,2	73,5	64,8
60	87,1	82,0	86,5	88,8	81,7	80,6	70,5
90	94,7	89,0	94,1	96,7	89,1	88,0	76,8
120	99,4	93,6	99,1	102,0	93,9	92,9	81,2
180	107,3	101,2	107,1	110,2	101,6	100,8	88,1
240	113,9	107,6	114,1	117,4	108,3	107,4	94,0
360	126,0	120,1	127,1	130,6	123,0	121,5	113,4
540	141,0	134,9	143,0	146,7	140,6	138,7	136,3
720	152,4	146,2	154,9	159,1	154,0	152,1	154,6
1080	165,5	158,6	167,2	171,0	165,9	163,1	167,8
1440	171,0	162,6	170,7	175,1	171,2	168,5	174,4
2880	197,7	187,0	195,6	203,3	196,6	199,9	217,7
4320	211,5	200,7	210,2	223,1	217,7	230,5	254,2
5760	231,5	218,0	225,9	246,3	239,8	253,2	281,8
7200	248,8	235,3	244,5	265,7	256,5	272,0	304,0
8640	257,8	244,5	260,9	280,7	271,3	289,0	322,6

T 100							
Dauerstufe (D)	Stationen						
[min]	4317	4316	4423	4424	4530	4531	4638
5	20,8	20,7	20,5	20,4	20,1	19,9	18,9
10	39,3	37,6	38,7	39,1	37,1	36,2	32,6
15	50,5	48,0	49,8	50,5	47,4	46,3	41,1
20	57,4	54,4	56,7	57,6	53,7	52,5	46,4
30	67,6	64,0	66,9	68	63,3	61,9	54,4
45	77,8	73,3	76,9	78,4	72,7	71,1	62,6
60	84,2	79,3	83,6	85 <i>,</i> 8	79	77,9	68,2
90	91,5	86,0	91	93 <i>,</i> 5	86,1	85,1	74,2
120	96,1	90,5	95 <i>,</i> 8	98,6	90,8	89,8	78,5
180	103,7	97,8	103,5	106,5	98,2	97,4	85,2
240	110,1	104,0	110,3	113,5	104,7	103,8	90,9
360	121,8	116,1	122,9	126,3	118,9	117,5	109,6
540	136,3	130,4	138,2	141,8	135,9	134,1	131,8
720	147,3	141,3	149,7	153,8	148,9	147	149,5
1080	160,0	153,3	161,6	165,3	160,4	157,7	162,2
1440	165,3	157,2	165	169,3	165,5	162,9	168,6
2880	191,1	180,8	189,1	196,5	190,1	193,2	210,5
4320	204,5	194,0	203,2	215,7	210,5	222,8	245,7
5760	223,8	210,7	218,4	238,1	231,8	244,8	272,4
7200	240,5	227,5	236,4	256,9	248	262,9	293,9
8640	249,2	236,4	252,2	271,4	262,3	279,4	311,9

Т 30							
Dauerstufe (D)	Stationen						
[min]	4317	4316	4423	4424	4530	4531	4638
5	16,9	16,7	16,5	16,5	16,3	16,1	15,3
10	31,4	30,2	31	31,3	29,7	29	26,2
15	40,3	38,5	39,8	40,3	37,9	37	33
20	45 <i>,</i> 8	43,6	45,3	45,9	43	42	37,3
30	54	51,2	53,4	54,3	50,6	49,5	43,8
45	62,1	58 <i>,</i> 8	61,5	62,5	58,2	56,9	50 <i>,</i> 3
60	67,3	63,6	66,8	68 <i>,</i> 5	63,4	62,4	55
90	73,6	69 <i>,</i> 4	73,2	75,1	69,3	68,7	60,1
120	77,4	73,1	77,1	79,1	73,1	72,3	63,5
180	84	79,4	83,8	86,1	79,6	79	69,4
240	89,3	84,5	89,5	92	85,1	84,3	74,3
360	99,3	94,7	100,2	102,8	96,9	95,9	89,6
540	111,5	106,8	112,8	115,6	111,1	109,8	107,9
720	120,6	115,9	122,4	125,6	122,3	120,9	122,8
1080	131,2	125,9	132,4	135,4	132	130,1	135,9
1440	135,7	129,2	135,2	138,8	136	134,4	141,3
2880	156,8	148,6	155,5	161,3	158,3	166,3	180,5
4320	174,4	164,1	171,1	185,4	181,5	192,1	210,8
5760	192,2	180,8	188,3	204,9	199,5	210,8	233,2
7200	199,9	189,1	203,3	220,9	213,5	226,6	250,8
8640	206,7	196,2	214,7	230,2	226,2	240,9	266,6

τ1							
Dauerstufe (D)	Stationen						
[min]	4317	4316	4423	4424	4530	4531	4638
5	5,7	5,9	5,6	5,6	5,5	5,4	5,3
10	9,4	9,2	9,2	9,1	8,9	8,7	8,3
15	11,6	11,4	11,3	11,4	11	10,8	10,2
20	13,1	12,9	12,9	12,9	12,5	12,2	11,5
30	15,5	15,2	15,2	15,3	14,7	14,4	13,6
45	18,2	17,7	17,8	17,9	17,1	16,9	15,8
60	20	19,6	19,6	19,9	19	18,8	17,6
90	22,6	22	22,2	22,6	21,4	21,4	19,9
120	24,6	24	24,2	24,6	23,4	23,3	21,8
180	27,8	27,2	27,6	27,9	26,7	26,6	24,9
240	30,5	29,7	30,2	30,7	29,3	29,2	27,4
360	35,5	34,7	35,4	36	34,7	34,7	33,5
540	41,3	40,3	41,3	42,1	41	41,1	40,7
720	45,5	44,6	45,7	46,6	45,9	46,1	46,4
1080	51,4	49 <i>,</i> 8	51,9	53,7	53,8	54,8	56,2
1440	54,1	52,2	55	57,9	58,3	60,6	63,1
2880	65,8	63,4	66,6	71,1	72,1	75,6	79,8
4320	76,9	73,2	75,9	81,8	81	85,4	89,9
5760	85,3	80,7	84,2	91,1	88,8	95	98,9
7200	92,8	86,8	91,2	98,9	96,7	103,4	107,8
8640	99,3	92,3	97,3	106,1	103,3	110,6	115,2

flächenmäßig gewichtete Niederschläge							
Dauerstufe (D) [min]	T 150	T 100	T 30	Τ1			
5	20,6	19,9	16,1	5,5			
10	38,2	37,9	29,6	8,8			
15	49,1	47,4	37,9	10,9			
20	55,8	53,9	43,1	12,4			
30	65,8	63,3	50,8	14,7			
45	75,6	73,1	58,5	17,1			
60	82,6	79,9	63,9	19,0			
90	90,1	87,1	70,1	21,6			
120	95,0	91,8	73,9	23,5			
180	102,8	99,4	80,5	26,8			
240	109,6	105,9	86,0	29,4			
360	123,5	119,3	97,3	34,8			
540	140,3	135,6	110,8	41,0			
720	153,2	148,1	121,4	45,7			
1080	164,9	159,4	131,2	53,3			
1440	169,6	164,0	135,0	58,0			
2880	199,0	192,0	161,5	71,6			
4320	222,7	215,3	184,6	81,5			
5760	244,3	236,2	203,2	90,5			
7200	263,2	254,4	218,6	98,4			
8640	279,1	269,8	230,5	105,2			

stark abgeminderte Bemessungsniederschläge							
Dauerstufe (D)							
[min]	T 150	T 100	Т 30	Τ1			
5	4,7	4,6	3,7	1,3			
10	12,9	12,5	10,0	3,0			
15	19,8	19,2	15,3	4,4			
20	25,1	24,2	19,4	5,6			
30	33,7	32,6	26,0	7,5			
45	43,2	41,8	33,4	9,8			
60	50,5	48,8	39,1	11,6			
90	59 <i>,</i> 6	57,7	46,4	14,3			
120	66,1	63,9	51,4	16,4			
180	75,9	73,3	59,4	19,8			
240	83 <i>,</i> 8	81,0	65,8	22,5			
360	98,7	95,4	77,8	27,8			
540	116,3	112,4	91,9	34,0			
720	129,9	125,6	102,9	38,7			
1080	143,6	138,9	114,3	46,4			
1440	150,2	145,2	119,5	51,3			
2880	182,0	175,9	147,6	65,5			
4320	206,6	199,8	171,2	75,6			
5760	228,7	221,1	190,2	84,7			
7200	247,9	239,6	205,9	92,6			
8640	264,1	255,3	218,1	99,6			

J. Abgeminderte Bemessungsniederschläge

schwach abgeminderte Bemessungsniederschläge							
Dauerstufe (D)							
[min]	T 150	T 100	Т 30	T 1			
5	10,1	9,7	7,9	2,7			
10	23,5	22,7	18,2	5,4			
15	33,3	32,2	25,7	7,4			
20	40,1	38,8	31,0	8,9			
30	50,6	48,9	39,1	11,3			
45	61,4	59,3	47,4	13,9			
60	69,1	66,8	53,5	15,9			
90	78,2	75,6	60,9	18,7			
120	84,2	81,4	65,5	20,9			
180	93,4	90,2	73,1	24,3			
240	100,9	97,6	79,2	27,1			
360	115,6	111,8	91,2	32,6			
540	133,1	128,7	105,2	38,9			
720	146,6	141,7	116,1	43,7			
1080	159,2	153,9	126,7	51,4			
1440	164,6	159,1	131,0	56,3			
2880	195,0	188,5	158,2	70,2			
4320	219,2	211,9	181,6	80,2			
5760	241,0	232,9	200,4	89,3			
7200	260,0	251,4	215,9	97,2			
8640	276,0	266,8	228,0	104,1			

K. Sage aus der Wildschönau

Die Sage vom Untergange der Stadt Haiduch-

In graner Vorzeit soll in der Nähn des houtigen Dorfes Wörgt im Unterinntale eine Stadt mit Namen Haidach gestanden sein, die vom jetzigen Schmelzwerk Huidach oder Kastengstatt bis zu dem auf den heutzutage noch bestehenden Gasthof am Möstelbühel sich erstreckte. Die lang hingedelinte Stadt stiel auf der Norslseite an den Innfluß, im Söden an die bewalldeten hohen Berge, hinter denen das liebliche Tal Wildschönau, oder bester Witschenau, liegt. Dasselbe soll früher da, wo gegenwärtig die Dörfer Niederau, Oberau und Auffach stehen, von einem düsteren See hedeckt gewesen sein, der ungefähr 4 Stunden lang war und die ganze Breite des Tales einnahm. In denuelben hielt sich ein ungeheurer greulicher Drache auf. Da auch in Haidach wie damals überall in den Stüdten das Laster überhand pahm und vorzüglich darch eine Abteilung römischer Suldaten, die dort stationiert war, gefördert wurde, ereignete es sich, daß der Drache, welcher sich in den Gewässern Wildschönsus aufhielt, anfing die Erde zu durchlöchern, his er endlich den ganzen Berg durchgegraben hatte. Die Sonne stand hoch am Himmel, als sich die Wassermassen des Sees durch das große Loch, das der Drache gegraben hatte, ins Inntal ergossen und sich schonungalos auf Haidach wälzten. Die Ausbruchsspalte wurde immer weiter und wie ein Strom floß das Wasser hindurch, bis der See abgelaufen war. In 12 Stunden war die Stadt Haidach vernichtet, mit deren Erbanung einst viele tausend Hande beschüftigt gewesen sein mögen. Auch der Drache erlag vor dem Dorfe Kundl und verbreitete später einen verpestenden Gestank, als er zu verwesen anfing. Von der Stadt Haidach blieb kein Haus, kein Palast und kein Tempel mehr ührig, auch kein Mensch wurde gerettet:

Der verpestenile Gestank des in den Felsspalten getöteten und dann verwesenden Drachen kostete aber den noch von der Flut übriggebliebenen Menschen das Leben; alle starben und nur zwei Lente sollen im Unterlande in einem Umkreise von 8 Stunden am Leben geblieben sein, die, vomeinander getrennt, Menschen auchen gingen. (Erinnerung un die Pest, die besonders 1611 stemlich aug gewütet haben ault.) — Nach einer andern Version soll die Stadt Hnidach versunken sein, und sehe man bei klarem Wasser noch dann und wann eine Thurmspitze am (Boden à la Vineta). Nach vielen Umwegen itafen sich die beiden — ein männliches und ein weibliches Wesen auf dem hohen Jochs am Übergange vom Notterberg zur Holzalpe bei dem Helzgitter, das in den Zaun eingeflochten, die Durchgangsstelle bildet. Unter Tränen fielen sich die beiden um den Hals und daher heißt das Gitter bis auf den beutigen Tag das "Halsgatterl." Von diesem Paar stammt die jetzige Bevülkerung von Wildschönau ab.

Joseph Goorg Schellhorn, † 1560

L. Berechnung von L_{OB} und J_{OB}

Ein Lösungsvorschlag zur Ermittlung des Fließwegs am Hang wird von Kohl 2011 zur Verfügung gestellt und dazu wird das Programm ArcGIS verwendet.

- 1. Das Gerinnenetz (Polylinie) muss in einen Raster umgewandelt werden
- Im nun vorliegenden Raster werden alle Gewässerzellen auf "NoData" gesetzt und alle Nicht-Gerinne-Zellen auf den Wert 1.
- 3. Die mit der Hilfe von GeoHMS ermittelte *FlowDirection* (siehe Anhang H) wird nun mit dem Ergebnis aus Schritt 2 multipliziert.

- 4. Mit dieser neuen *FlowDirection*, die nun am Gerinne endet, kann nun der Fließweg berechnet werden.
- Die ebenfalls mit GeoHMS erstellte *FlowAccumulation* muss nun reklassifiziert werden. Wasserscheidezellen werden auf den Wert 1 gesetzt und alle übrigen Zellen auf "NoData".
- Nun müssen die Ergebnisse aus Schritt 4 und Schritt 5 miteinander multipliziert werden. Somit erhält man die Fließwege von allen Wasserscheidenzellen ins Gerinne.
- 7. Als Letztes werden f
 ür jedes Teileinzugsgebiet die mittleren maximalen Flie
 ßwege berechnet. Dazu berechnet man eine Zonenstatistik mit den Teileinzugsgebietsgrenzen als Zonendaten und den Flie
 ßwegen aus Schritt 6 als Input Value Raster. Diese berechneten Mittelwerte k
 önnen nun direkt als L_{OB} in das Modell ZEMOKOST
 übernommen werden.

Die Neigung der Oberfläche (J_{OB}) kann dann aus den vorliegenden L_{OB} -Werten und den Höhendifferenzen jedes Teileinzugsgebiets folgendermaßen errechnet werden.

$$J_{OB} = \frac{\Delta H}{L_{OB}}$$

M. Abflussbeiwertklassen im Einzugsgebiet



N. Oberflächenrauigkeitsklassen im Einzugsgebiet

