

Diplomarbeit

**Betrachtung bestehender Gerinnestrukturen und Gerinnemorphologie
unter Berücksichtigung von LiDAR-Daten**

Vorgelegt von:

Mandy Praechter

Freiburg i.Br., 27.08.2009

Unter der Leitung von Prof. Dr. Markus Weiler

Diplomarbeit

**Betrachtung bestehender Gerinnestrukturen und Gerinnemorphologie
unter Berücksichtigung von LiDAR-Daten**

Vorgelegt von:

Mandy Praechter

Freiburg i.Br., 27.08.2009

Referent: Prof. Dr. Markus Weiler

Koreferent: Prof. Dr. Barbara Koch

Inhalt

Inhalt	i
Abbildungsverzeichnis	v
Tabellenverzeichnis	vii
Abkürzungen	ix
Symbole	xi
Abbildungsverzeichnis Anhang	xiii
Tabellenverzeichnis Anhang	xv
Zusammenfassung	xvii
Summary	xix
1 Einführung	1
1.1 Zielsetzung	1
1.2 Stand der Wissenschaft	2
1.3 Vorgehensweise.....	5
2 Grundlagen	7
2.1 ALS-Airborne Laserscanning.....	7
2.2 Methode des Laserscannings.....	7
2.3 Datenauswertung und Erstellung des digitalen Geländemodells (DEM) und des digitalen Vegetationsmodells (DSM)	10
3 Gebiete	11
3.1 Einzugsgebiet Prägbach	13
3.1.1 Morphologie des Präger Tals.....	13
3.1.2 Geologie Prägbach.....	15
3.2 Einzugsgebiet Wilde Gutach	15
3.2.1 Geologie der Wilden Gutach	16
3.3 Einzugsgebiet Kleine Wiese.....	17
3.3.1 Morphologie Kleines Wiesetal	18
3.3.2 Geologie Kleine Wiese	18
3.4 Einzugsgebiet Köhlgartenwiese	19
3.4.1 Morphologie Köhlgartenwiese	19
3.4.2 Geologie Köhlgartenwiese	20

4 Kartierung	21
4.1 Methodik zur geomorphologischen Aufnahme naturnaher Gerinne	21
4.2 Erhebung der Daten durch Kartierung	24
4.3 Qualitative Kennzeichnung des Gerinneabschnitts	26
5 Fluvialmorphologische Steuer- und Zielgrößen	29
5.1 Steuergrößen	30
5.1.1 Tal- und Sohlgefälle	30
5.1.2 Bordvoller Abfluss	30
5.1.3 Flussleistung	32
5.2 Zielgrößen	33
5.2.1 Sinuosität	33
5.2.2 Querprofil	34
5.2.3 Längsprofil	34
6 Einstrahlung (Solar Radiation)	35
6.1 Modelltypen	36
6.2 ArcGIS Spatial Analyst Tool - Solar Radiation	36
6.2.1 Berechnungsgrundlagen	37
6.2.2 Sichtbereich-Berechnung	37
6.2.3 Sonnenkartenberechnung	39
6.2.4 Himmelskartenberechnung	40
6.2.5 Verschneidung drei Karten: Sichtbereich, Sonnen- und Himmelskarte	40
6.2.6 Direkte-, Diffuse Einstrahlung und Globalstrahlung	41
6.3 TreesVis	41
6.3.1 Berechnung von DSM	42
6.3.2 Einstrahlungsberechnung (Sun Calculation with Raytracing)	44
6.3.3 Verschneidung der Berechnungen von ArcGis mit TreesVis	46
7 Ergebnisse	49
7.1 Ergebnisse der Kartierung	49
7.2 Ergebnisse der fluvialmorphologischen Berechnungen und Betrachtungen	51
7.3 Ergebnisse der Einstrahlung	57
8 Diskussion	59
8.1 Diskussion der morphologischen Kartierung	59
8.2 Diskussion der fluvialmorphologischen Berechnungen und Betrachtungen	62
8.2.1 Diskussion der Zusammenhänge der Querschnittsform	63
8.2.2 Diskussion der Linienführung mit der Sinuosität	65
8.3 Diskussion der Einstrahlung	66

9 Fazit	69
10 Literatur	71
Anhang	75
A1 Kartierung	75
A.2 Fluvialmorphologische Steuer- und Zielgrößen	96
A.3 Einstrahlung (Solar Radiation).....	96
A.4 Ergebnisse	101

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1:	Komponenten typischer Laserscanningsysteme (verändert nach HOLLHAUS, 2006) Laserscanningsysteme bestehen aus drei Grundkomponenten, dem Differential Global Positioning Systems-Empfänger (dGPS), dem Inertiales Navigationssystem (INS) und dem Laserscanner einschließlich einer Ablenkeinheit (GAJSKI, 2004).....	8
Abbildung 2.2:	Mehrfach Reflexionen bei Vegetationsdurchdringung (GAJSKI, 2004)	9
Abbildung 2.3:	Oberflächenmodelle mit Punktklassifikation (GAJSKI, 2004).....	10
Abbildung 3.1:	Lage der Untersuchungsgebiete Prägbach, Kleine Wiese, Köhlgartenwiese und Wilde Gutach	12
Abbildung 3.2:	Hypsometrische Kurve des Prägbachs	13
Abbildung 3.3:	Würmzeitliche Gletscher der Umgebung von Prag (verändert nach RAHM, 1989).....	14
Abbildung 3.4:	Hypsometrische Kurve der Wilden Gutach.....	16
Abbildung 3.5:	Geologische Karte Gebiet Wilde Gutach (UHLMANN, 2003).....	17
Abbildung 3.6:	Hypsometrische Kurve der Kleinen Wiese	18
Abbildung 3.7:	Hypsometrische Kurve der Köhlgartenwiese.....	19
Abbildung 4.1:	Gewässerstrukturgüte des Prägbaches im Südschwarzwald bei Geschwend	21
Abbildung 4.2:	Längsprofil des Prägbaches.....	23
Abbildung 4.3:	Gewässeraufnahmeskizze Kartierabschnitt 2 des Prägbachs	25
Abbildung 4.4:	Messprinzip Baumhöhenbestimmung (NAGEL, 2001)	26
Abbildung 5.1:	Beziehung zwischen fluvialmorphologischen Steuer- und Zielgrößen (nach KNIGHTON 1984)	29
Abbildung 5.2:	Bestimmung des durchströmten Querschnitts und benetzten Umfangs am Beispiel des Querprofils 18 am Prägbach	32
Abbildung 6.1:	Flussdiagramm des Solar Analyst (verändert nach FU & RICH, 1999a).....	37
Abbildung 6.2:	Berechnungsablauf der Sichtbereiche für eine Rasterzelle vom DEM. a) Richtungen zur Berechnung des Horizontwinkels; b) Berechnung des Horizontwinkels; c) Interpolation des Horizontwinkels; d) Umformung in hemisphärische Koordinaten; und e) Berechneter Sichtbereich für eine Rasterzelle. Die Zahlen am Sichtbereich repräsentieren die berechneten Horizontwinkel (verändert nach Fu & Rich, 1999a).....	38

Abbildung 6.3:	Sonnenkarte Wintersonnenwende zur Sommersonnenwende (verändert nach FU & RICH, 1999a)	39
Abbildung 6.4:	Himmelskarte mit den Sektoren (verändert nach Fu & Rich, 1999)	40
Abbildung 6.5:	Verschneidung Sichtbereich mit Sonnenkarte (links) und Verschneidung Sichtbereich mit Himmelskarte (rechts)	41
Abbildung 6.6:	DSM, oben Methode „bschönigt_reis“ unten Methode „exact_reis“	43
Abbildung 6.7:	Graphischer Ablauf der Einstrahlungsberechnung in TreesVis (WEINACKER, 2009)	45
Abbildung 6.8:	Einstrahlungskarte des Oberlaufes des Prägbaches	47
Abbildung 7.1:	Zusammenhang zwischen bordvoller Breite und bordvollem Abfluss der Köhlgartenwiese	52
Abbildung 7.2:	Zusammenhang zwischen Gerinnetiefe und bordvollem Abfluss der Köhlgartenwiese	53
Abbildung 7.3:	Zusammenhang zwischen Breiten-Tiefen-Verhältnis und bordvollem Abfluss der Köhlgartenwiese.....	54
Abbildung 7.4:	Zusammenhang zwischen mittlerer Fließgeschwindigkeit und bordvollem Abfluss der Köhlgartenwiese	55
Abbildung 7.5:	Zusammenhang zwischen Lauflänge und Einzugsgebietsfläche von 14 Flüssen im Schwarzwald	57
Abbildung 7.6:	Einstrahlung ohne Vegetation (ArcGis), Einstrahlung ohne Vegetation (TreesVis), Einstrahlung mit Vegetation (TreesVis) gegen den Flussverlauf anhan der Flusspolygone.....	58
Abbildung 8.1:	Vergleich von gemessenen und extrahierten Gerinnebreiten entlang der Flusslänge	60
Abbildung 8.2:	Gegenüberstellung der gemessenen und extrahierten Gerinnebreite.....	61
Abbildung 8.3:	Typische Grundmuster der Sinuosität bei Gebirgsbächen, Mittelgebirgsbächen und Flachlandbächen (OTTO, 1991).65	
Abbildung 8.4:	Einstrahlungswerte an den drei Kartierabschnitten PBG1-PGB3 des Prägbaches (von rechts nach links).....	67

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1:	Flugparameter des LVA-Datensatzes (SCHLEYER, 2001)	10
Tabelle 7.1:	Ergebnisse der Feldaufnahme	50
Tabelle 7.2:	Ergebnisse aus der Auswertung der Querprofile des Prägbachs	51
Tabelle 7.3:	Berechnete Flussleistung des Prägbachs	51
Tabelle 7.4:	Berechnete spezifische Flussleistung des Prägbachs	51
Tabelle 7.5:	Sinuositäten	56
Tabelle 8.1:	Gemessene und extrahierte Baumhöhen am Prägbach	61
Tabelle 8.2:	Werte der Flussleistung und spezifischen Flussleistung	62

Abkürzungen

ALS	Airborne Laserscanning
DEM	digitales Geländemodell, Digitales Elevation Model
dGPS	differentielles globales Positionssystem
DSM	Vegetationsmodell, Digital Surface Model
GIS	Geoinformationssystem
GPS	globales Positionssystem
HQ ₂	Höchster Abfluss mit einer Jährlichkeit von 2
INS	Inertiale Trägheitsplattform
LAWA	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser
LiDAR	Light Detection and Ranging
LUBW	Landesamt für Umwelt, Messungen, und Naturschutz Baden Württemberg
LVA	Landesvermessungsamt
Waboa	Wasser- und Bodenatlas Baden Württemberg

Symbole

α	Azimutwinkel	[°]
A	durchströmter Querschnitt	[m ²]
A_{bv}	bordvolle Niveau bezogener Querschnitt	[m ²]
A_{EG}	Einzugsgebietsfläche	[m ²]
B	Gerinnebreite	[m]
β_1	Winkel zur Baumspitze	[°]
β_2	Winkel zum Baumfuß	[°]
D	geradlinige Distanz	[m]
e	Strecke Standpunkt-Baum	[m]
E_G	Entfernung zwischen höchsten und niedrigstem Punkt	[m]
g	Gravitationskonstante	[m/s ²]
h	Höhe	[m]
I	Gefälle	[-]
I_E	Energieliniengefälle	[-]
I_g	gewogenen Gefälle	[%]
I_s	Sohlgefälle	[%]
I_T	Talgefälle	[%]
L	Flussstrecke/Flusslauflänge	[m]
n	Rauhigkeitskoeffizient nach MANNING	[m ^{1/3} /s]
P	Sinuosität	[-]
Q	Abfluss	[m ³ /s]
Q_{bv}	bordvoller Abfluss	[m ³ /s]
R_h	hydraulischer Radius	[m]
T_{mit}	mittlere Gerinnetiefe	[m]
U_b	benetzte Umfang	[m]

v_{mit}	mittlere Fließgeschwindigkeit	[m/s]
Δh	Höhenunterschied	[m]
Θ	Zenitwinkel	[°]
ρ_w	Dichte von Wassers	[kg/m ³]
Ω	Flussleistung	[W/m]
ω	spezifische Flussleistung	[W/m ²]

Abbildungsverzeichnis Anhang

Abbildung A. 1:	Köhlgartenwiese Kartierabschnitt 1 (KG1).....	81
Abbildung A. 2:	Köhlgartenwiese Kartierabschnitt 2 (KG2).....	82
Abbildung A. 3:	Köhlgartenwiese Kartierabschnitt 3 (KG3).....	83
Abbildung A. 4:	Köhlgartenwiese Kartierabschnitt 4 (KG4).....	84
Abbildung A. 5:	Kleine Wiese Kartierabschnitt 1 (KLW1).....	85
Abbildung A. 6:	Kleine Wiese Kartierabschnitt 2 (KLW2).....	86
Abbildung A. 7:	Kleine Wiese Kartierabschnitt 3 (KLW3).....	87
Abbildung A. 8:	Kleine Wiese Kartierabschnitt 4 (KLW4).....	88
Abbildung A. 9:	Prägbach Kartierabschnitt 1 (PGB1).....	89
Abbildung A. 10:	Prägbach Kartierabschnitt 2 (PGB2).....	90
Abbildung A. 11:	Prägbach Kartierabschnitt 3 (PGB3).....	91
Abbildung A. 12:	Wilde Gutach Kartierabschnitt 1 (WG1)	92
Abbildung A. 13:	Wilde Gutach Kartierabschnitt 2 (WG2)	93
Abbildung A. 14:	Wilde Gutach Kartierabschnitt 3 (WG3)	94
Abbildung A. 15:	Wilde Gutach Kartierabschnitt 4 (WG4)	95
Abbildung A. 16:	Zusammenhang zwischen bordvoller Breite und bordvollem Abflusses des Prägbachs	103
Abbildung A. 17:	Zusammenhang zwischen Tiefe und bordvollem Abfluss des Prägbachs	104
Abbildung A. 18:	Zusammhang zwischen Breiten-Tiefen-Verhältnis und bordvollem Abfluss des Prägbachs.....	105
Abbildung A. 19:	Zusammenhang zwischen mittlerer Fließgeschwindigkeit und bordvollem Abfluss des Prägbachs	106
Abbildung A. 20:	Zusammenhang zwischen bordvoller Breite und bordvollem Abfluss der Kleinen Wiese	107
Abbildung A. 21:	Zusammenhang zwischen Tiefe und bordvollem Abfluss der Kleinen Wiese	108
Abbildung A. 22:	Zusammenhang zwischen Breiten-Tiefe-Verhältnis und bordvollem Abfluss der Kleinen Wiese.....	109
Abbildung A. 23:	Zusammenhang zwischen mittlerer Fließgeschwindigkeit und bordvollem Abfluss der Kleinen Wiese.....	110

Abbildung A. 24: Zusammenhang zwischen Lauflänge und Einzugsgebietsfläche der vier betrachteten Gerinne	111
Abbildung A. 25: Einstrahlung ohne Vegetation (ArcGIS), Einstrahlung ohne Vegetation (TreesVis), Einstrahlung mit Vegetation (TreesVis) gegen den Flussverlauf anhand der Flusspolygone am Prägbach.....	112
Abbildung A. 26: Einstrahlung ohne Vegetation (ArcGIS), Einstrahlung ohne Vegetation (TreesVis), Einstrahlung mit Vegetation (TreesVis) gegen den Flussverlauf anhand der Flusspolygone am Prägbach.....	113

Tabellenverzeichnis Anhang

Tabelle A. 1:	Ergebnisse der Auswertung der Querprofile der Kleinen Wiese	101
Tabelle A. 2:	Berechnete Flussleistung der Kleinen Wiese	101
Tabelle A. 3:	Berechnete spezifische Flussleistung der Kleinen Wiese	102
Tabelle A. 4:	Ergebnisse der Auswertung der Querprofile der Köhlgartenwiese.....	102
Tabelle A. 5:	Berechnete Flussleistung der Köhlgartenwiese.....	102
Tabelle A. 6:	Berechnete spezifische Flussleistung der Köhlgartenwiese.....	102

Zusammenfassung

Durch moderne Fernerkundungssysteme ist es heute möglich, hochaufgelöste digitale Geländemodelle der Erdoberfläche oder Vegetationsmodelle zu erzeugen.

Ziel dieser Arbeit ist es, fluvialmorphologische Kenngrößen aus diesen sekundären Quellen zu bestimmen.

Zum Vergleich der sekundären Datenquelle wurde eine fluvialmorphologische Kartierung von vier Gerinnen im Schwarzwald mit ähnlicher Geologie aufgenommen.

Es wird untersucht, ob sich die Geländemodelle zur Extraktion von Gerinnmerkmalen und Gerinnstrukturen eignen. Aus den ermittelten Daten wurden typische Kenngrößen, wie mittlere Fließgeschwindigkeit und bordvoller Abfluss berechnet. Die Daten wurden dann auf Zusammenhänge mittels linearer oder einer zwei-parametrischen Potenzfunktion untersucht.

Ein weiteres Ziel dieser Arbeit ist es, die Vegetationsinformationen der LiDAR-Daten für eine genauere Berechnung der Einstrahlung in die Gerinne zu nutzen. Dafür wurde das Modell ArcGIS und das Modell TreesVis zur Berechnung der Einstrahlung verwendet. Für TreesVis wurde ein einfacher Berechnungsalgorithmus der Einstrahlung entwickelt.

Die Ergebnisse zeigen, dass man für einige Kenngrößen, wie Gefälle und Sinuosität, die sekundären Quellen gut nutzen kann, aber für andere Kenngrößen, wie bordvolle Gerinnebreite und Gerinnetiefe, sind die Geländemodelle nicht so geeignet, da es zu einer Überschätzung der Größen kommt. Es sollten daher weitere Referenzmessungen im Gelände durchgeführt werden.

Für die Betrachtung der Einstrahlung hat sich das Vegetationsmodell als gute Möglichkeit erwiesen, musste aber noch mit weiteren Messwerten quantifiziert werden.

Stichworte: fluvial Morphologie, Kartierung, bordvoller Abfluss, bordvolle Gerinnebreite, Einstrahlung, ArcGIS, TreesVis

Summary

Due to recent remote sensing systems it is possible now to generate high-resolution digital elevation models and vegetation models. Aim of this study is to determine fluvial morphological parameters with these secondary sources.

A fluvial morphological mapping of four channels with similar geology was surveyed for comparison in the Black Forest. It will be analysed, if digital elevation models are convenient for the extraction of channel features and channel topologies. Characteristic parameters as mean flow velocity and bankful discharge have been estimated of the determined data. These were analysed on correlation using a linear function or a two-parameter Power function.

Another goal of the study is to use the vegetation information of the LiDAR-data for a more detailed evaluation of the solar radiation into the channel. Therefore, the model ArcGIS and the model TreesVis have been used for the calculation of the solar radiation. A simple evaluation algorithm of the solar radiation has been generated for TreesVis.

The results demonstrated that you can the secondary sources for some parameters like the slope and the sinuosity. But the digital elevation models are also for other parameters like bankful discharge and channel depth inapplicable because of the overestimation of the parameters. Therefore further reference measurements should be realized in the field.

The vegetation model proved to be a good possibility of the examination of the solar radiation. But it had to be quantified with further measurements.

Keywords: fluvial morphology, mapping, bankful discharge, bankful channel width, solar radiation, ArcGIS, TreesVis

1 Einführung

1.1 Zielsetzung

Das Relief eines Einzugsgebietes stellt die Grenzfläche zwischen der Atmosphäre und Hydrosphäre sowie der Pedosphäre und Lithosphäre dar. Es ist das Ergebnis von Prozessen, die auf unterschiedlichen zeitlichen und räumlichen Skalen agieren.

Die Datenerhebung für gewässermorphologische Untersuchungen bestehen vor allem aus zeitaufwendigen Vermessungsarbeiten von Gerinneabschnitten. Die so gewonnenen Daten werden im Allgemeinen genutzt um rein empirische Verhältnisse zu ermitteln, indem die Fluvialmorphologie zahlreicher Fließgewässer untersucht wird. Die unabhängigen und abhängigen Größen werden zueinander in Beziehung gesetzt, um mit Hilfe einer Korrelationsrechnung allgemeingültige Gesetzmäßigkeiten abzuleiten. Es wird davon ausgegangen, dass formbildende und formverändernde Prozesse varianter Zeitskalen in der Fluvialmorphologie zu strukturierten Gefügen der Grenzflächen führen.

Das Thema dieser Arbeit „Betrachtung bestehender Gerinnestrukturen und Gerinnemorphologie unter Berücksichtigung von LiDAR-Daten“ entstand aus einer Datenlieferung des Landesamtes für Umwelt, Messungen, und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) in Zusammenarbeit mit dem Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg (Waboa). Auf den bisherigen Kenntnisstand aufbauend sollte der Frage nachgegangen werden, inwieweit Lösungen entwickelt werden können, anhand derer eine Ableitung von Gerinnemorphologie und Gerinnestruktur aus den gegebenen Daten als Eingangsgrößen für hydraulische Berechnung möglich sind, welche später im Rahmen von Themenkarten in den Waboa eingearbeitet werden sollen. Ein weiterer Punkt ist es die aufwendigen und zeitintensiven Kartierungen auf ein Minimum zu reduzieren.

Ein Ziel dieser Arbeit ist es, eine Methode zu entwickeln, die die Ermittlung von Gerinneeigenschaften aus flugzeuggestützten Fernerkundungsdaten ermöglicht. Weitere wichtige Informationen, welche die Laserscannerdaten liefern, sind Informationen über den Vegetationsbestand in den Untersuchungsgebieten. Dafür wurden, wie schon erwähnt, von der LUBW Laserscannerdaten von ganz Baden-Württemberg zur Verfügung gestellt.

Im Folgenden werden die Inhalte der einzelnen Kapitel kurz dargestellt. Die ersten drei Kapitel setzen sich mit dem Untersuchungsgebiet (Kapitel 3), allgemeinen Grundlagen der Fernerkundung (Kapitel 2) und dem vorhandenen Datenmaterial auseinander. Die eigentlichen Methoden zur Kartierung und Berechnung der fluvialmorphologischen Kenngrößen erfolgt in Kapitel 4 und Kapitel 5. In den darauffolgenden Kapitel 6 wird auf die

Berechnung der solaren Einstrahlung eingegangen. Die Berechnung von Einstrahlungswerten wird anhand der zwei Programmen ArcGIS (ESRI, Version 9.3) und TreesVis (Weinacker, Version 74b) ermittelt. Die Bewertungen der Ergebnisse, der Ableitung daraus resultierender Schlußfolgerungen und dem Ausblick (Kapitel 7, 8 und 9) erfolgt zum Ende.

1.2 Stand der Wissenschaft

Im 19. Jahrhundert, mit dem Beginn von Flusskorrekturen, wurden Wasserbauingenieure gewässermorphologischen Fragestellungen gegenübergestellt. Aus dieser Tatsache heraus etablierte sich das Thema der Flussmorphologie mit den Schwerpunkten Hydraulik und Feststofftransport als einen festen Bestandteil in den Handbüchern des Wasserbau (z.B. MANGELSDORF & SCHEURMANN, 1980).

Im deutschsprachigen Raum wurde die Flussmorphologie von den Geographen nur am Rande behandelt. Erst Mitte des 20. Jahrhunderts entwickelten sich neue Ansätze zur hydrologischen Typisierung von Fließgewässern, welche in den 60er und 70er Jahren auf unterschiedliche Regionen angewandt wurde (NADOLNY, 1994).

Dagegen wurde im angelsächsischen Sprachraum die Flussmorphologie seit dem 20. Jahrhundert untersucht und weiterentwickelt. Die gewonnenen Erkenntnisse wurden in „Fluvial Processes in Geomorphology“ von LEOPOLD ET AL. (1964) niedergeschrieben. Auch schon vorher und seitdem wurden Untersuchungen nicht nur in der USA, sondern in Großbritannien, Kanada, Australien und Neuseeland durchgeführt. Dabei stellt sich das Problem, dass die Ergebnisse nicht unbedingt auf mitteleuropäische Klimaregionen übertragbar sind (WOLMAN & GERSON, 1978).

Jüngere Studien im Bereich der Morphologie befassen sich mit der Morphologie von kleinen Mittelgebirgsbächen (NADOLNY, 1994; HARNISCHMACHER, 2002; WOHL & MERRIT, 2001; GOLDEN & SPRINGER, 2006; HARNISCHMACHER, 2007; HARMAN ET AL., 2008; ORR ET AL., 2008; ZIMMERMANN ET AL., 2008; WOHL & DAVID, 2008; COMITI ET AL., 2009).

In der Studie von NADOLNY (1994) werden die gewässermorphologischen Strukturen kleiner naturnaher Flachlandbäche in verschiedenen Naturräumen erforscht. Die ausgewählten Fließgewässer haben einen bordvollen Abfluss bis 8 m³/s. Gegenstand der Betrachtung waren Bachstrecken in der Oberrheinebene und Bachstrecken in der Lüneburger Heide. Die Methodik war eine intensive Vermessung der Bachstrecken mit Analyse der Linienführung und der Abflussdaten. Mit dieser Arbeit sollte eine regionale Bachtypologie erarbeitet werden.

HARNISCHMACHER (2002) führte eine empirische Studie zur Leitbildfindung für kleine naturnahe Fließgewässer „Fluvialmorphologische Untersuchungen an kleinen, naturnahen Fließgewässern“ in Nordrhein-Westfalen durch. In dieser Studie werden hauptsächlich bekannte empirische Regressionsgleichungen verwendet, um grundlegende Beziehungen zwischen abhängigen und unabhängigen Variablen zu verdeutlichen. In der Fluvialmorphologie hat sich die Bezeichnung für abhängige Variablen als Zielgrößen und unabhängige Variablen als Steuergrößen manifestiert. Betrachtet wurden 32 Abschnitte an 29

Referenzstrecken. Die Gewässer liegen mit etwa gleich großer Anzahl im Flachland und Mittelgebirge. Die 32 Abschnitte mit Längen zwischen 100 und 600 m wurden terrestrisch Vermessen. Die aus der Gewässeraufnahme abgeleiteten Steuer- und Zielgrößen wurden zur Formulierung empirischer Gesetzmäßigkeiten genutzt. Die Entwicklung von empirischen Gesetzmäßigkeiten für die 32 Abschnitte zeigten nur schwache und vereinzelt mittlere Korrelationen zwischen den fluvialmorphologischen Ziel- und Steuergrößen. Nach einer Aufteilung der Stichprobe in Gewässerabschnittsgruppen mit ähnlichen Talgefällen kam es zu deutlicheren Zusammenhängen. Aus denen man schließen konnte, dass Querprofilkennzeichnende Parameter wie die bordvolle Gerinnebreite oder das Breiten-Tiefen-Verhältnis einen bedeutenden Stellenwert bei der Formung der Gewässerlinienführung haben.

Die empirische Studie entwickelte HARNISCHMACHER (2007) weiter, indem er Regressionen zwischen dem Talgefälle, dem bordvollen Abfluss und der Flussleistung auf der einen Seite und verschiedene Variablen des Längsprofils auf der anderen Seite betrachtet. Die Referenzstrecken wurden in 3 Kategorien eingeteilt, 1. Flachlandflüsse, 2. Mittelgebirgsflüsse mit Überschwemmungsfläche und 3. Mittelgebirgsbäche in Kerbtälern. Er konnte signifikante Regressionen darstellen, wie der Zusammenhang zwischen der Sinuosität und Flussleistung, desweiteren der mittleren Stufenhöhe und Flussleistung. Ersichtlich wurde aus seiner Studie, dass Schwellenwerte gefunden werden müssen um Zusammenhänge zwischen den Ziel- und Steuergrößen zu finden.

Auch WOHL & MERRIT (2001) betrachten die Morphologie von 41 Gerinneabschnitten von Flüssen aus den USA, Canada, Japan, Australien und Israel. Sie repräsentieren kleine bis mittel-skalige Gerinne mit unterschiedlicher Geologie, Tektonik und hydroklimatischen Bedingungen. Ihre Hypothese ist, dass die Kraft des Wassers und die Widerstandskraft des Substrates gemessen werden und daraus die Gerinnemorphologie beschrieben werden kann. Desweiteren haben sie die Hypothese, dass das Sohlgefälle korreliert mit der Gerinnemorphologie. Sie führten eine Diskriminanzanalyse basierend auf dem mittleren Gefälle und der Substratheterogenität durch um ein Diskriminanzmerkmal herzuleiten. Den Großteil der Flüsse konnten sie anhand dieser Analyse Typisieren.

Im kleinskaligen Bereich forschen GOLDEN & SPRINGER (2006). Sie untersuchten 157 Gerinneabschnitte in 32 Einzugsgebieten am östlichen Rand des Appalachen Plateaus, USA. Die Einzugsgebiete haben eine Entwässerungsfläche $< 10 \text{ km}^2$. Die Geologie war in allen Gebieten ähnlich, eine Zusammensetzung aus harten und weichen Sandstein, kalkhaltigen Tonstein und Kalkstein. Aufgenommen wurden die Gerinnegeometrie, Flussleistungsparameter und Korngrößenverteilung (D_{50}). Mit den erhobenen Daten wurden statistische Test und Regressionen gerechnet. Sie kamen zu den Erkenntnissen, dass das Gefälle und die bordvolle Breite mit der Einzugsgebietsgröße korrelieren. Ein Zusammenhang zwischen Flussbettstruktur und bordvoller Breite konnte nachgewiesen werden. Die Korngrößenverteilung des Sohlsediments (D_{50}) korreliert nicht wie vermutet mit der Einzugsgebietsgröße, sondern mit der spezifischen Flussleistung.

Die Arbeit von HARMAN (2006) untersucht eine Anzahl von Fehlerquellen in der Identifikation von bordvoller hydraulischer Geometrie. 114 Gerinneabschnitte in Victoria, Australien wurden in diesem Zusammenhang mit bordvoller Breite, Tiefe, Fließgeschwindigkeit und Gefälle untersucht. Wie bei GOLDEN & SPRINGER (2006) konnten gute Korrelationen des bordvollen Abflusses, des Gefälles und der mittleren Fließgeschwindigkeit bestimmt werden.

In Großbritannien entwickelte ORR et al. (2008) eine neue Klassifizierung der Fließgewässer. Der Klassifizierungsansatz ist mit Hilfe von hydromorphologischen Daten, welche sie aus sekundären Quellen gewannen, entwickelt worden, um einer intensiven Geländearbeit aus dem Weg zu gehen. Sekundäre Quellen waren digitale Geländemodelle (Digital Elevation Model, DEM) und Abflussschätzungen. Es wurden dennoch Daten benötigt, wie Gerinnebreite, die vor Ort gemessen werden mussten. Die Bestimmung der Breite wurde an repräsentativen Gerinneabschnitten vorgenommen. Ihr Ansatz zur Klassifizierung basiert auf der Flussleistung, der Überschwemmungsflächenbreite und der Flussordnung. Für die Berechnungen nutzten sie Näherungen, die speziell für den britischen Raum konzipiert worden sind. Sie erzielten deutlich bessere Ergebnisse mit ihrem Verfahren der Flusstypisierung.

In eine andere Richtung der kleinskaligen Gerinnstruktur untersucht ZIMMERMANN et al. (2008) Stufen- (Step) und Kolkeformen (Pool). Das Ziel ist, diese Gerinneformen aus Längsprofilaten zu identifizieren. Sie nutzen eine Reihe skalenunabhängigen geometrischen Größen, die beinhalten die minimale Stufenlänge, minimale Kolklänge, minimale Kolktaiefe, minimale Sturzhöhe und minimales Stufengefälle. Die Werte ermittelten sie aus 11 Gerinneabschnitten von vier Längsprofilen. Die Methode war ein natürliches Gewässer in einem künstlichen Gerinne nachzuahmen. In dem Gerinne konnten sie mit fixen Meßintervallen und nach mehreren Versuchsaufbauten mit Vermessungsgeräten eine angemessene Charakterisierung des mittleren Gerinnebettprofils ermitteln. Ihre Ergebnisse deckten sich gut mit der Gerinnemorphologie aus der Feldaufnahme.

Für die Modellentwicklung nutzt WOHL & DAVID (2008) die Geländedaten von 47 Geländeaufnahmen mit vielen verschiedenen Eigenschaften. Zur Evaluierung von bekannten Zusammenhängen, für Festgesteinsgerinne-Modelle, werden die Daten genutzt. Sie stellten die Hypothese auf, dass die Gerinnebreite langsamer und die Gerinnetiefe schneller in Beziehung zum Abfluss oder des Einzugsgebietes wächst. Mittels der Standardmethode der log-log Darstellung von relevanten Variablen und multipler Regressionen zeigte die Auswertung der Trends, dass die Hypothese nicht bestätigt werden konnte. Die Breiten–Einzugsgebietsbeziehung und Breiten–Abflussbeziehung konnte anhand der Analyse bestätigt werden. Die Tiefen–Einzugsgebietsbeziehung und Tiefen–Abflussbeziehung wurde nicht bestätigt. Sie schließen daraus, dass der Erosionswiderstand der Ufer nicht primär den Zusammenhang der Gerinnegeometrie kontrolliert.

Auch COMITI et al. (2009) betrachten Gerinneigenschaften in nachgeahmten Gerinnen mit mobilem Gerinnebett, mit bestimmter Korngrößenverteilung, bestimmter Gerinnegeometrie und bestimmtem Abfluss in Stufen-Kolkgewässern. Ihre Hypothese ist: 1. Die Stufengeometrie und der Fließwiderstand differieren signifikant (voneinander) als Funktion der Korngrößenverteilung 2. Die Bedingungen für den Übergang von Kaskadenströmung (nappe flow) zur Gerinneströmung (skimming flow) ist in Gerinnen und Kanälen gleich 3. Der Fließwiderstand ändert sich signifikant, wenn die Abflussströmung von kaskaden- in gerinneförmig übergeht. Die erzielten Ergebnisse unterstützen die Hypothese in jedem Teil und tragen zur Aufklärung der komplexen Zusammenhänge zwischen der Fließgeschwindigkeit und dem Abfluss in Stufengerinnen bei. In diesen Gerinnen ist eine einfache Fließwiderstandsberechnung für die Strömungen und Hochwässern nicht ideal.

1.3 Vorgehensweise

Im Laufe des letzten Jahrzehntes hat sich das Flugzeug-getragene Laserscanning (Airborne Laser Scanning, ALS oder Light Detection and Ranging, LiDAR) zur bedeutendsten Datenerfassungsmethode entwickelt, soweit es um präzise und hochaufgelöste Geländemodelle handelt. Die LiDAR-Daten liefern nicht nur Informationen zur Erstellung von Geländemodellen, sondern enthalten auch Informationen über Objekthöhen. Durch Kombination mit zweidimensionalen Fernerkundungsdaten (z.B. Luftbilder) ist es eine ausgezeichnete Datenquelle für detaillierte Ableitungen der Landbedeckung. Für wasserwirtschaftliche Anwendungen (z.B. hydraulische Abflussmodellierungen) sind genaue Landbedeckungsklassen von hohem Interesse, weil sie die Rauigkeiten der Geländeoberfläche widerspiegeln. Ein weiterer Aspekt ist, dass mittels LiDAR sowohl Boden- als auch Vegetationspunkte gemessen werden können und somit eine Abschätzung von Baumhöhen ermöglicht.

Folgende Vorgehensweise wurde in dieser Studie unter Betrachtung der Daten verfolgt, um die Gerinnemorphologie und Gerinnestruktur zu untersuchen. Es wurden relativ naturnahe Gerinne mit Einzugsgebietsgrößen zwischen 20 und 150 km² in die Untersuchung aufgenommen. Entlang dieser Gerinne werden jeweils 3-4 Abschnitte an interessanten Gefällepunkten kartiert. In den Abschnitten wurden jeweils 2-3 Profile gelegt um die Breite der Gerinne zu erhalten. In die Kartierung gehen Charakteristiken des Einzugsgebietes und des Talabschnittes, die Beschreibung des Gerinnebettes und die Ufervegetation mit den Baumhöhen ein. Die weiteren Größen werden sekundär aus einem hochaufgelöstem DEM mit einem 1x1 m Raster gewonnen (z.B. EZG-Fläche, Flusslauf, Gefälle, Profile).

Durch die Vegetationsinformationen wird das Erwärmungspotential der Gerinne in die Betrachtung mit einbezogen. So ist das Erwärmungspotential hauptsächlich abhängig von der Beschattung, der Gerinnebreite und dem Abflussverhalten während der Sommermonate. Die Gerinnebreite und Beschattung werden versucht aus den LiDAR-Daten zu extrahieren. Zudem wird versucht einen Algorithmus zur Bestimmung der Beschattung oder Bestrahlung der Gerinne zu finden.

Die so gewonnen Informationen über die Morphologie der Gewässer werden im Verlauf dieser Arbeit auf Zusammenhänge untersucht.

2 Grundlagen

2.1 ALS-Airborne Laserscanning

Das Airborne Laserscanning (ALS) beziehungsweise Light Detection and Ranging (LiDAR) ist ein aktives, optomechanisches Verfahren der Höhendatengewinnung. Diese Methode beruht auf der Abtastung der Bodenoberfläche mittels eines Lasers, welcher an Flugzeugen oder Helikoptern befestigt ist. Das Verfahren ist effektiv und kostengünstig und vor allem für große und unzugängliche Gebiete nutzbar (GAJSKI, 2004).

2.2 Methode des Laserscannings

Im Gegensatz zu den passiven Aufnahmesystemen wie Satelliten oder digital Kameras, stellt das Laserscanning ein aktives Sensorsystem dar, welches auf dem Prinzip des polaren Anhängens beruht. Ausgehend von einem exakt bestimmbar Standpunkt an der Erdoberfläche werden die Messungen der Distanz und des Winkels durchgeführt. Dabei wird vom Flugzeug aus ein Laserstrahl in regelmäßigen Abständen ausgesendet, an der Erdoberfläche reflektiert und an einer Empfangseinheit am Flugzeug erfasst (Abbildung 2.1). Anschließend werden die Zeitdifferenzen sowie die Intensitäten berechnet.

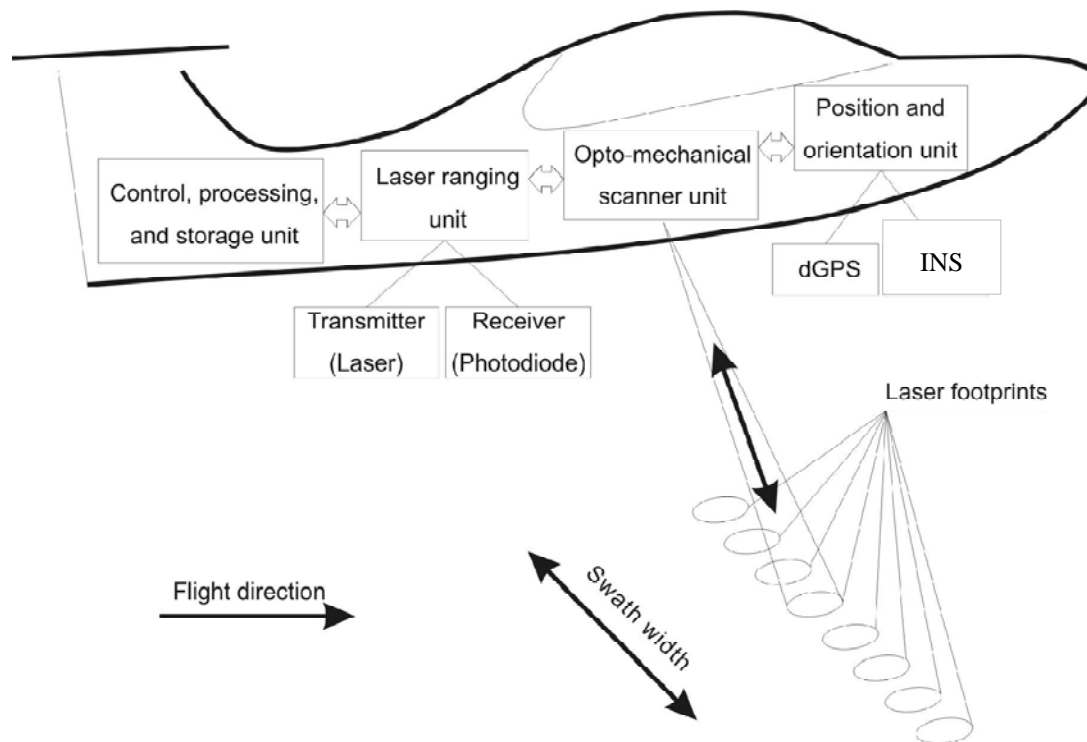


Abbildung 2.1: Komponenten typischer Laserscanningsysteme (verändert nach HOLLHAUS, 2006) Laserscanningsysteme bestehen aus drei Grundkomponenten, dem Differential Global Positioning Systems-Empfänger (dGPS), dem Inertiales Navigationssystem (INS) und dem Laserscanner einschließlich einer Ablenkeinheit (GAJSKI, 2004).

Während des Aufnahmezeitraumes wird die Position des Flugzeuges mit Hilfe des dGPS-Systems im Flugzeug ermittelt. Weitere dGPS-Stationen am Boden mit bekannten Koordinaten im Befliegungsgebiet erfassen zusätzlich Referenzdaten. Somit kann die berechnete Lagegenauigkeit des Flugzeuges optimiert werden. Die Inertiale Trägheitsplattform (INS) zeichnet parallel zum dGPS-System die Lage des Flugzeuges im Raum auf. Die Eigenbewegung des Flugzeuges wird aufgenommen und fließt in die finale Positionsrechnung mit ein. Die dritte genannte Komponente ist der Laserscanner, bestehend aus einem gepulsten oder permanenten Laser, einer Ablenkeinheit und einem Empfangssystem. Dieser nimmt die Entfernung zwischen Sensorplattform und Erdoberfläche auf. Gemessen wird dabei die Laufzeit bis zur Immission des reflektierten Laserimpulses. Der Wellenlängenbereich des Laserstrahls liegt meist im nahen Infrarot-Bereich (780-1400 nm), welcher bei unterschiedlichen Systemen variieren kann. Werden beim Laserscanning andere Wellenlängenbereiche verwendet, kann dies z.B. zum Eindringen des Laserstrahls in die Wasseroberfläche führen und somit geringere bis keine Reflexion zur Folge haben.

Laserscanning liefert Daten, die durch eine 3D-Punktwolke beschreiben werden können. Die gemessenen Punkte sind quasi-zufällig im Raum verteilt. In den Überlappungsbereichen wird ein und dasselbe Gebiet aus verschiedenen Beobachtungsrichtungen dargestellt. Aus diesem

Grund können auch Punkte vertikaler Wände sowie Punkte unter Brücken erfasst werden (GAJSKI, 2004).

Charakteristisch für Laserscanner ist auch die Aufnahme von Mehrfachreflexionen. Das System der mehrfachen Reflexionen bei Vegetationsdurchdringung wird in Abbildung 2.2 ersichtlich.

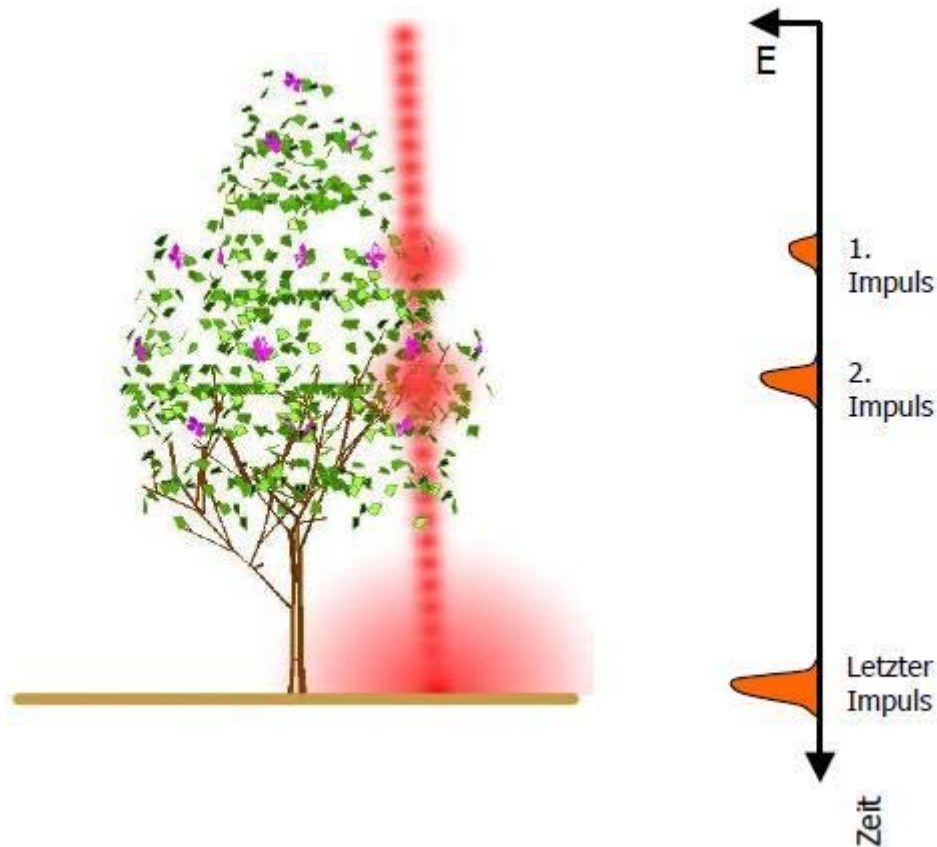


Abbildung 2.2: Mehrfach Reflexionen bei Vegetationsdurchdringung (GAJSKI, 2004)

Für jeden einzelnen Laserimpuls können über der Vegetation mehrere Reflexionen erfasst werden. Wenn Objekte (z.B. Äste und Blätter) kleiner als der Laserfleck sind werden sie durchdrungen, andernfalls können sie auf der gesamten Tiefe bis zum Erdboden erfasst werden. Die erste Reflexion in einer Messkampagne wird als First-Pulse und die letzte Reflexion als Last-Pulse aufgezeichnet. Durch Filteralgorithmen, basierend auf den Höheninformationen der benachbarten Punkte, werden die gemessenen Punkte klassifiziert. Die tiefsten Punkte werden als Bodenpunkte und die übrigen als Vegetations- oder Hochpunkte bezeichnet (SCHLEYER, 2001).

2.3 Datenauswertung und Erstellung des digitalen Geländemodells (DEM) und des digitalen Vegetationsmodells (DSM)

Nach der Punkteklassifizierung, können sie zur Ableitung des DEM (Digitales Elevation Model) und DSM (Digital Surface Model) herangezogen werden. Eine Auswahl der höchsten Punkte innerhalb eines vorgegebenen Rasters mit der Auflösung von 1x1 m liefern die Daten zur Ableitung eines DSM. Das DEM wird analog aus den Daten der Bodenpunkte gewonnen (Abbildung 2.3) (SCHLEYER, 2001).

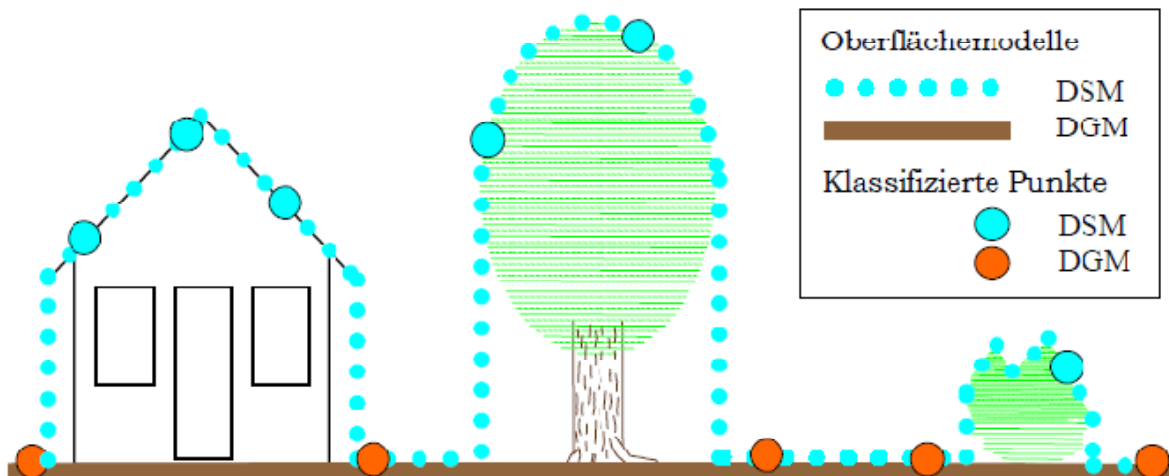


Abbildung 2.3: Oberflächenmodelle mit Punktklassifikation (GAJSKI, 2004)

Die Daten für die DSM- und DEM-Berechnung (Firstpulse und Lastpulse) stammen vom LVA. Sie wurden bei einer vollständigen Befliegung Baden-Württembergs in den Jahren 2000-2003 aufgenommen. Das Ziel war es, ein flächendeckendes und aktuelles DEM zu erstellen.

Dabei galten die Systemeinstellungen wie in folgender Tabelle aufgeführt:

Tabelle 2.1: Flugparameter des LVA-Datensatzes (SCHLEYER, 2001)

Parameter	Eigenschaften
System	ALTM 1225 (Airborne Laser Terrain Mapper)
Messfrequenz	25.000 Hz
Scanfrequenz	25 Hz
Scanwinkel	+/-20°
Fluggeschwindigkeit	80 m/s
mittlere Flughöhe	900 m
Streifenabstand	300 m, 400 m und 450 m in Abhängigkeit von der Reliefenergie
Mittlerer Punktabstand aller Laserpunkte	1,5 m
Zeitpunkt der Befliegung	Winter

3 Gebiete

Für diese Arbeit wurden Gebiete betrachtet, die der Mesoskale zugeordnet sind. Die Einzugsgebietsgrößen liegen zwischen 30 und 130 km². Alle vier Untersuchungsgebiete liegen in Baden Württemberg, wobei sich drei im Südschwarzwald befinden, der Prägbach, die Köhlgartenwiese und die Kleine Wiese und das vierte Gebiet, die Wilde Gutach, im Mittelschwarzwald liegt.

Ein wichtiges Kriterium bei der Auswahl der Gebiete war eine naturnahe Gerinnemorphologie, um die entsprechenden morphologischen Berechnungen durchführen zu können. Durch das Heranziehen und die Auswertung der digitalen Daten des Waboa (UMBW, 2007), konnte vorab eine kleine Auswahl von naturnahen Gerinnen getroffen werden. Als weiteres Kriterium sollten die Gebiete in der Nähe von Freiburg liegen, damit die Feldarbeit in einem überschaubaren Rahmen liegt.

Die Lage der Gebiete ist in Abbildung 3.1 dargestellt. Im Folgenden wird auf topographische Eigenschaften, Morphologie und Geologie der einzelnen Einzugsgebiete eingegangen. Die räumlich expliziten Daten wurden aus den LiDAR-Daten der LUBW gewonnen. Diese wurden mit der GIS-Software ArcGIS (Version 9.3 von ESRI), dem Visualisierungsprogramm TreesVis (Version 74b von Rudi Weinacker) und MS Excel (Microsoft, 2007) bearbeitet und einzelne Gebietsparameter ermittelt. Erläuterungen zur Erhebung der Parameter sind in Kapitel 4 und 5 aufgeführt.

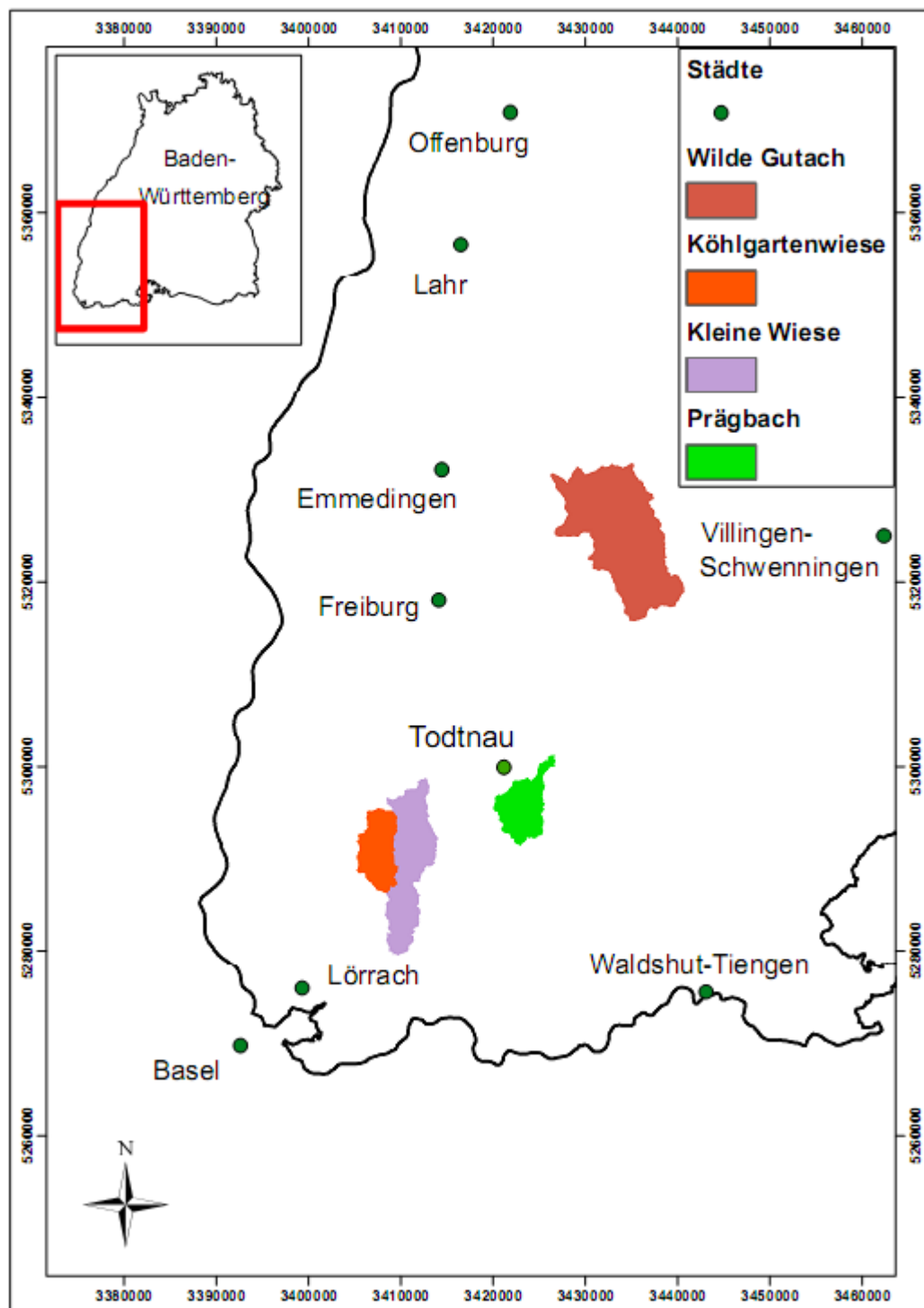


Abbildung 3.1: Lage der Untersuchungsgebiete Prägbach, Kleine Wiese, Köhlgartenwiese und Wilde Gutach

3.1 Einzugsgebiet Prägbach

Der Prägbach liegt südlich des Feldbergs in der Gemeinde Todtnau bei Geschwend. Er entspringt am Herzogenhorn und verläuft von dort in südwestlicher Richtung circa 5,5 km, bis er in den Talkessel von Präg gelangt. Vom Talkessel aus verläuft der Bach in nordwestliche Richtung noch circa 4 km weit bis zur Mündung in die Wiese bei Geschwend (RAHM, 1989). Das Einzugsgebiet umfasst eine Fläche von 30,6 km². Die mittlere Höhe beträgt 970 m ü. NN (570-1416 m ü. NN) bei einer durchschnittlichen Hangneigung von 22,5° (0-74,8°). In Abbildung 3.2 ist die hypsometrische Kurve des Prägbaches dargestellt. Die Höhen im Einzugsgebiet sind relativ gleich verteilt, denn der Flächenanteil verhält sich linear zu den Höhen. Erst im obersten Bereich der hypsometrischen Kurve ist ein eindeutiger Anstieg auf den letzten fünf Prozent der Fläche zu verzeichnen. Dies bedeutet, dass im oberen Bereich ein höheres Gefälle vorliegt.

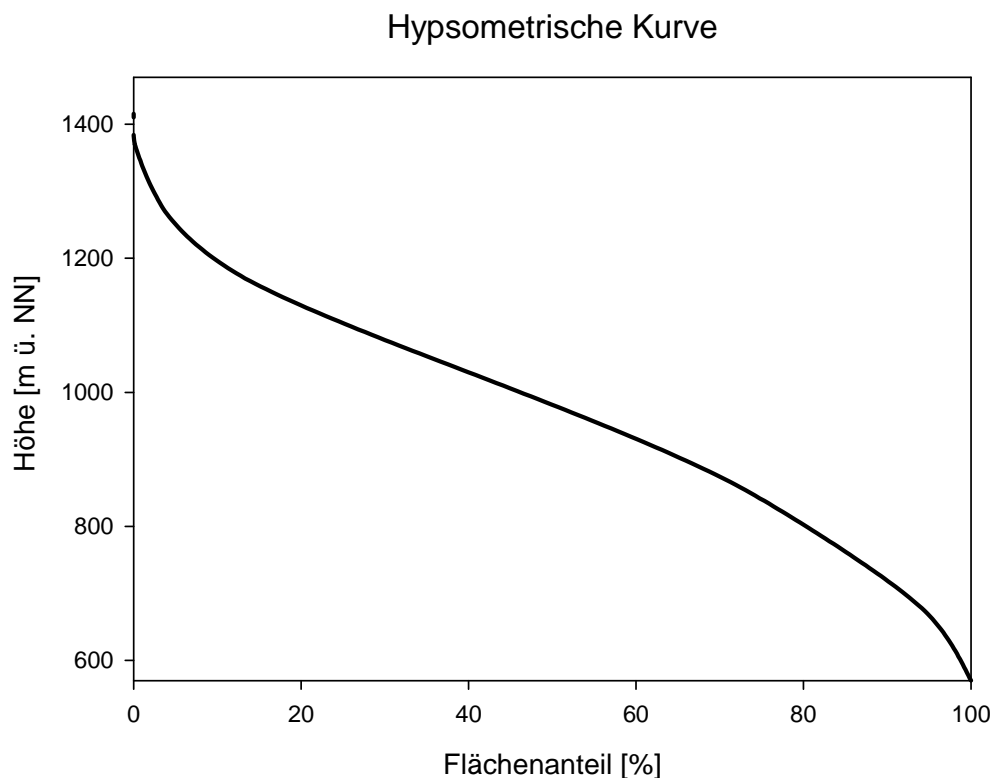


Abbildung 3.2: Hypsometrische Kurve des Prägbachs

3.1.1 Morphologie des Präger Tals

Der Talkessel von Präg wurde durch die Gletscher der letzten Eiszeit geformt und ist heute von Höhenzügen rundum geschlossen. Nur zwei tiefere Stellen sind in der Umrandung des Kessels vorhanden, der Einlauf und der nordwestliche Auslauf des Prägbaches nach Nordwesten. Die Pässe zwischen den Gipfeln erreichen Höhen von über 1000 m. Folglich waren diese Höhen in der letzten Eiszeit vergletschert. Bei dem Ort Präg liefen sechs Gletscher zusammen. Diese waren zum einen der Präggletscher vom Herzogenhorn, sowie die Gletscher aus den Tälern des Schweinebächle, Hinteren Wildbodenbächle, Vorderes

Wildbodenbächle, Weißenbach und Eulenbächle. In der Talkesselmitte sammelte sich das Eis der drei südöstlichen Gletscher. Das vorangetriebene Eis konnte direkt der nordwestlichen Abflussrichtung des Tales folgen siehe Abbildung 3.3

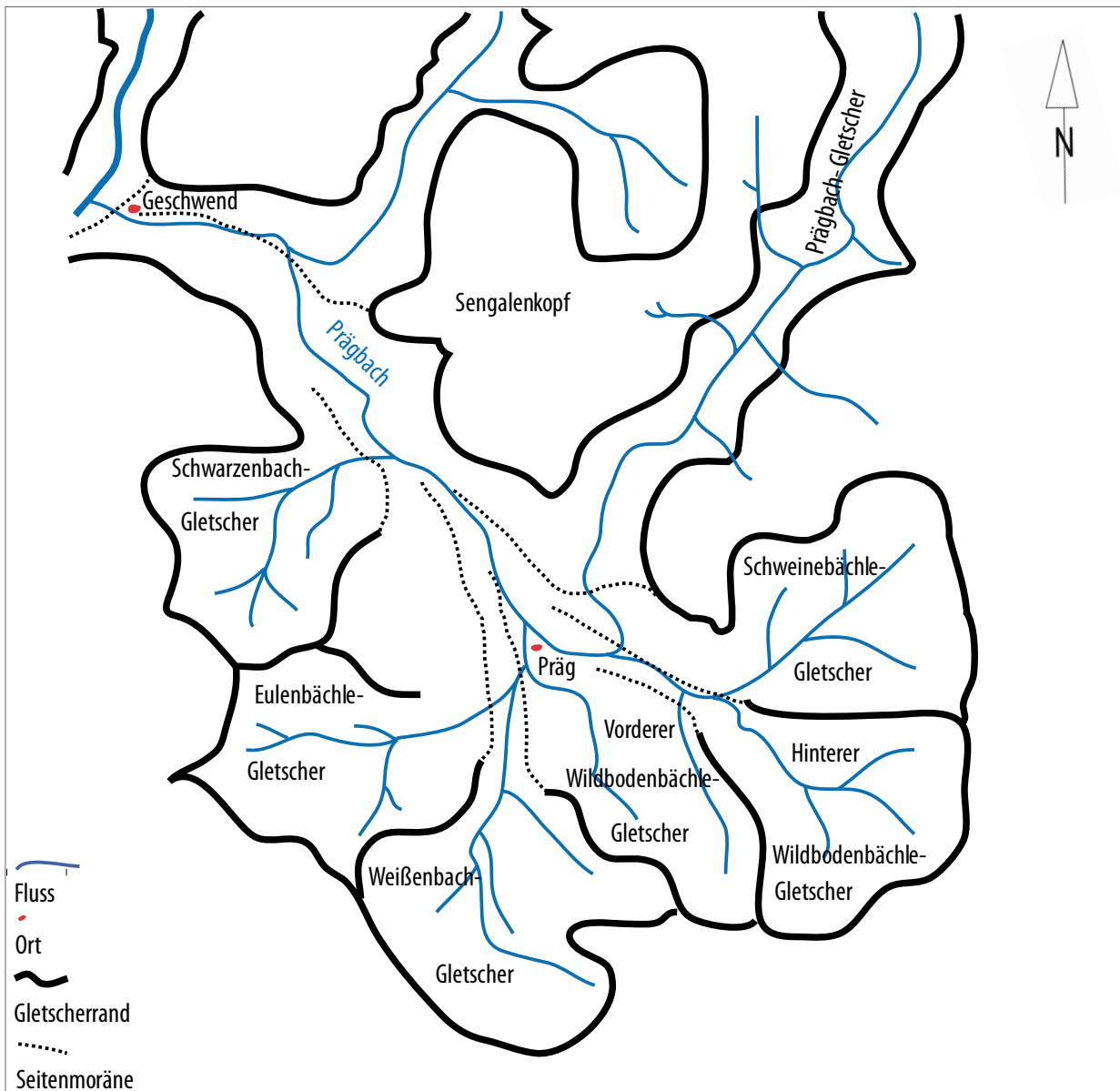


Abbildung 3.3: Würmzeitliche Gletscher der Umgebung von Prag (verändert nach RAHM, 1989)

Der von Westen kommende Eulenbächle-Gletscher konnte wegen den vorhandenen Eismassen nicht ins Tal eindringen und musste sich so am westlichen Rand seinen Weg parallel zu den anderen Gletschern bahnen. Dadurch entstand am westlichen Talhang eine gesonderte Erosionsrinne, welche 20 m höher liegt als die der drei Gletscher im Haupttal. Der Schweinebächle-Gletscher kommt senkrecht zur Abflussrichtung in den Talkessel nur von der gegenüberliegenden Seite und schuf somit den tieferen Bereich östlich des Ellbogens (RAHM, 1989).

Der scheinbar widersinnige Bachlauf um den Ellbogen herum ist demnach auf die glaziale Formung zurückzuführen. Der Eisstrom vom Herzogenhorn wurde im Talkessel durch die Talenge zwischen Staldenkopf und Sengalenkopf und den Wiesetalgletscher bei Geschwend gestaut. Es entstand eine riesige Todeismasse im Spätglazial, die nur sehr langsam abschmolz. Das sommerliche Schmelzwasser des noch vorhandenen Prägtagletschers war gezwungen, das Todeis an dessen Außenrand zu umfließen. So schnitt es sich in das anstehende Gestein, um einen Weg talabwärts zu suchen. Im Präger Kessel bildete sich daraufhin ein See, in welchem durch den Prägbach ein Delta aufgeschüttet wurde. Am Rande des Deltas zum Ellbogen hin hat sich nach dem Abschmelzen des Todeises und durch das Auslaufen des Eisstausees, der Prägbach sein heutiges Bett geschaffen. Der Prägbach hat sich im oberen Bereich kräftig eingeschnitten und ein Kerbtal ohne Sohle geformt. Kurz oberhalb des Felsriegels „Ellbogen“ weitet sich das Tal in den Talkessel (HABBE & MOHR, 1982).

3.1.2 Geologie Prägbach

Im Quellgebiet des Prägbaches sind vorwiegend Metatexite und würmeiszeitliches Moränenmaterial anzutreffen. Im Mittellauf verändert sich die Geologie hin zu, sehr schwachmetamorphen Sedimenten, wie Metagrauwacken und Tonschiefer, wobei im Unterlauf schwachmetamorphe Sedimente, Vulkanite, Pyroklastite und würmeiszeitliche Schotter zu finden sind (HÜTTNER, 1994).

3.2 Einzugsgebiet Wilde Gutach

Die Wilde Gutach liegt im mittleren Schwarzwald nördlich von Freiburg. Sie entsteht durch den Zusammenfluss des Heubaches und des Glasbaches nahe der Hexenlochmühle bei Dreistegen. Die Wilde Gutach fließt in nordwestlicher Richtung in der eng gewundenen Talschlucht von Wildgutach und anschließend in gestrecktem Verlauf durch die Tallandschaft Simonswald mit mehreren Dörfern (Simonswälder Tal). Sie mündet bei Gutach im Breisgau in die Elz. Das Einzugsgebiet umfasst eine Fläche von 128,1 km². Die mittlere Höhe beträgt 826 m ü.NN (298-1219 m ü. NN) bei einer durchschnittlichen Hangneigung von 21,5° (0-86,5°). In Abbildung 3.4 ist die hypsometrische Kurve der Wilden Gutach dargestellt. In ihrem Verlauf ist deutlich ein Gefälleanstieg bei 850 m ü. NN ersichtlich.

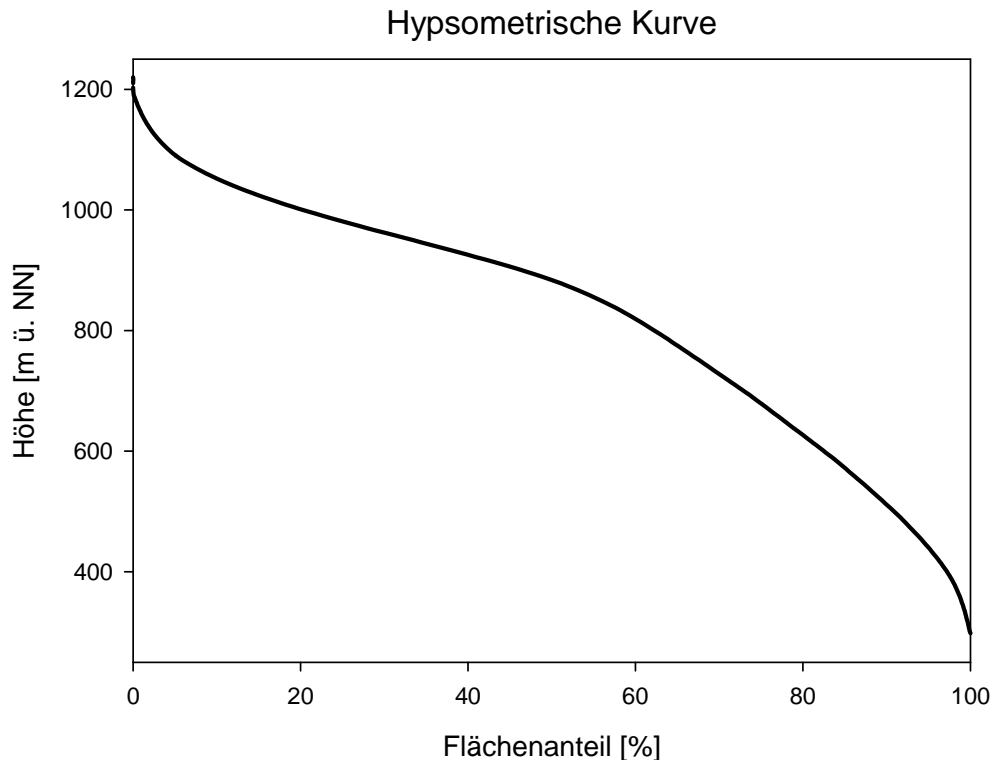


Abbildung 3.4: Hypsometrische Kurve der Wilden Gutach

Der Quellbereich im südöstlichen Schwarzwald weist geringe Hangneigungen auf. Nach dem Zusammenfluss von Glasbach und Heubach folgt ein tief eingeschnittenes und steiles Kerbtal im mittleren Schwarzwald, welches sich im Mittellauf zu einem flacheren Sohlental öffnet (SCHNEIDER, 2000).

Nach genauer Betrachtung der Reliefkarte erkennt man einen Knick im Talverlauf der Wilden Gutach. Zuerst hat sie einen nördlichen Verlauf und schwenkt dann nach Westen hin weg. Der Grund für diesen Verlauf ist ein 500-1500 m breiter Graben, welcher östlich von St. Märgen beginnt und im Erzenbachtal bei Winden endet. Der Graben ist in der Abbildung 3.5 eingezeichnet. Dieser Bereich hat sich gegenüber seiner Umgebung um 100-200 m abgesenkt. Daher fließt die Wilde Gutach anfangs in nördliche Richtung im Wildgutachgraben und kann sich erst im Mittellauf aus diesem System befreien um in westliche Richtung abzufließen. Im Oberlauf ist die Wilde Gutach ein stark erodierender Wildbach. Erst im Mittellauf verändert sich sein Charakter in Folge des breiteren und ebeneren Talbodens. In der Aue kommt es zur Ausbildung kleiner Mäander auf Grund der Ablagerungen ihrer Nebenbäche. Diese zwingen sie immer wieder zum Ausweichen auf die gegenüberliegende Talseite (UHLMANN, 2003).

3.2.1 Geologie der Wilden Gutach

Den flächenmäßig größten Anteil mit 80% des Einzugsgebiets der Wilden Gutach nehmen die Gneise ein. Kleinerer Anteil sind im Gebiet Amphibolite, Diatexite, Lamprophyre (Ganggestein) und Granite vertreten. Auf diesen Gesteinen haben sich saure Braunerden gebildet. An blockreichen Hängen kam es teilweise nur zur Rankerbildung (UHLMANN, 2003).

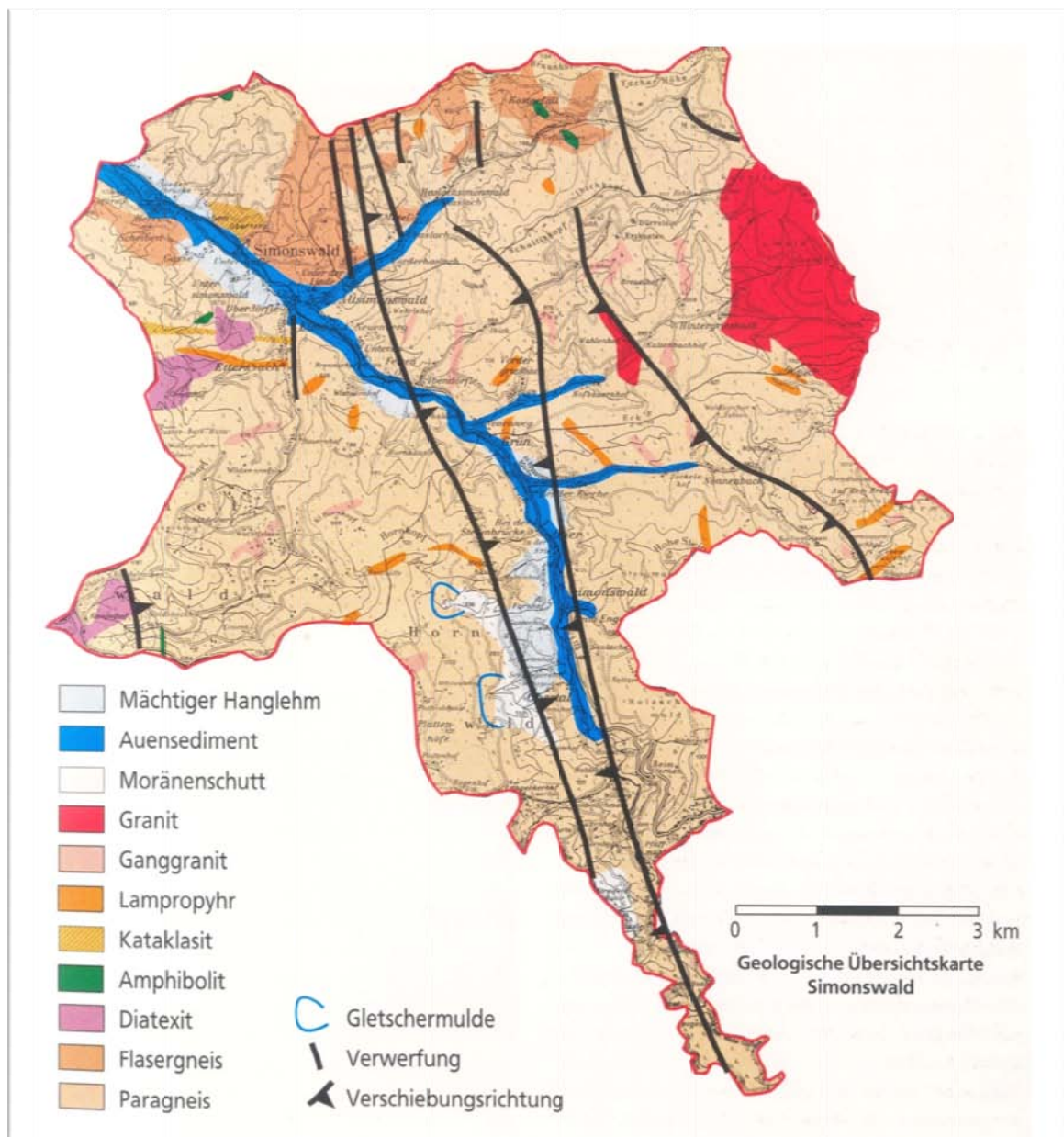


Abbildung 3.5: Geologische Karte Gebiet Wilde Gutach (UHLMANN, 2003)

3.3 Einzugsgebiet Kleine Wiese

Die Kleine Wiese entspringt am Südhang des Belchens und mündet bei Schopfheim nach 25,1 km Lauflänge in die Wiese. Das Einzugsgebiet umfasst eine Fläche von 91,4 km². Die mittlere Höhe beträgt 738 m ü. NN (349-1414 m ü. NN) bei einer durchschnittlichen Hangneigung von 22,1° (0-81,5°). In Abbildung 3.6 ist die hypsometrische Kurve der Kleinen Wiese dargestellt. Der Verlauf der Kurve ist ähnlich ausgeprägt, wie beim Prägbach. Das besagt, dass auch hier eine relativ gleichmäßige Höhenverteilung im Einzugsgebiet vorliegt. Der Flächenanteil mit geringem Gefälle überwiegt den Flächenanteil mit hohem Gefälle.

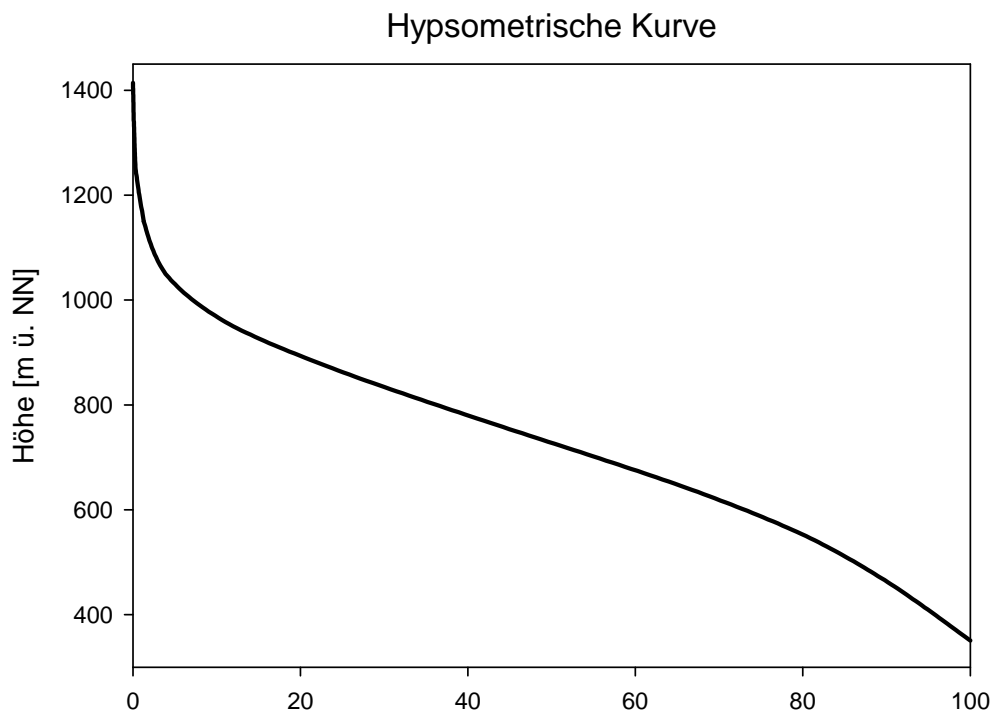


Abbildung 3.6: Hypsometrische Kurve der Kleinen Wiese

3.3.1 Morphologie Kleines Wiesetal

Unterhalb von Neuenweg weist die Kleine Wiese ein typisch enges Kerbtal mit einer sehr schmalen Talsohle auf. Gegen Bürchau hin weitet sich dieses ein wenig. Der Talboden und die Unterhänge werden von Grünland eingenommen. Die Talweitung von Bürchau schließt sich wieder bei den Kastelhöfen. Es folgt eine Engstrecke in der der Wald bis zum Talboden hinabreicht. Weitere kleine Talöffnungen sind bei Langensee und Holl, diese häufiger zwischengeschalteten und breiteren Aufschüttungsflächen erklären sich aus dem geringer werdenden Gefälle des Flusses. Es kommt zu einer langgestreckten Talweitung bei Tegernau. Aus dem ehemaligen Kerbtal wird ein Kerbsohlental. Bei Tegernau mündet die Köhlgartenwiese in die Kleine Wiese. Bis nach Niedertegernau bleibt das Tal offen gefolgt von einer letzten Talenge. Diese endet kurz nach Wieslet, wo der Fluss ins Weitenauer Bergland übertritt. Das Kleine Wiesetal verbreitert sich fast schlagartig zu einem 1 km breiten und offenen Kastental (HABBE & MOHR, 1982).

3.3.2 Geologie Kleine Wiese

Im Quellgebiet der Kleinen Wiese ist der Mambacher Granit, ein Biotit-Granit, großflächig anzutreffen. Sehr kleinräumig wird das Gebiet durch helle Ganggesteinen, wie Granitporphyre und Aplitgranite, durchzogen. Im Mittellauf finden sich gleiche Gesteinstypen vor, nur dass diese homogener sind und folglich als Marlsburger Granit bezeichnet werden. Der Unterlauf ist durch holozäne Talfüllungen, aus Schotter, Kiese und Sande geprägt. Unterhalb Wieslets in Richtung des Rheins befindet sich eine Abschiebungszone. Dadurch

unterscheidet sich die Geologie des Unterlaufes stark von der des Ober- und Mittellaufes. Hier sind vorwiegend Bundsandsteine verschiedener Fazies anzutreffen (HÜTTNER, 1994).

3.4 Einzugsgebiet Köhlgartenwiese

Die Köhlgartenwiese entspringt am Südhang des Köhlgartens und mündet bei Tegernau nach 11,4 km Lauflänge in die Kleine Wiese. Das Einzugsgebiet umfasst eine Fläche von 30 km². Die mittlere Höhe beträgt 779 m ü. NN (434-1230 m ü. NN) bei einer durchschnittlichen Hangneigung von 20,3° (0-81,1°). In Abbildung 3.7 ist die hypsometrische Kurve der Köhlgartenwiese dargestellt. In den obersten 5% und untersten 5% des Kurvenverlaufs sind deutliche Höhenvariationen gegenüber dem Flächenanteil zu erkennen.

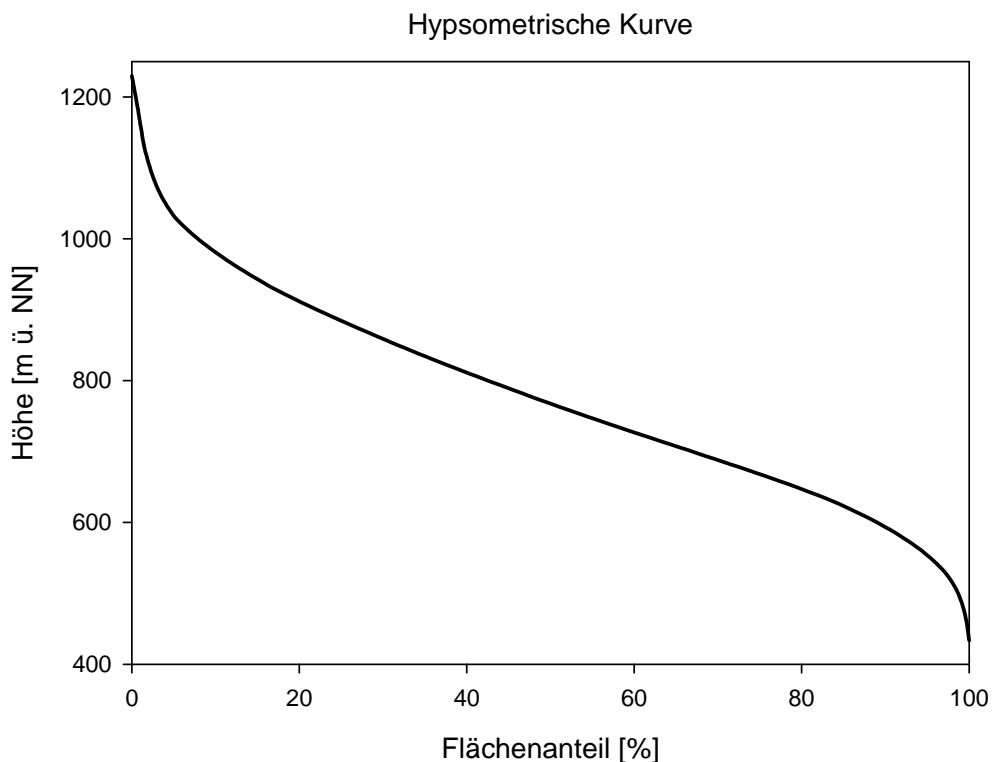


Abbildung 3.7: Hypsometrische Kurve der Köhlgartenwiese

3.4.1 Morphologie Köhlgartenwiese

Die Formungsvorgänge im Einzugsgebiet der Köhlgartenwiese wurden vorwiegend durch periglaziale Klimabedingungen beeinflusst. Hierzu gehören vor allem Umlagerungsprozesse in den Hangbereichen und eine verstärkte Seitenerosion der Fließgewässer. Im Bereich der Köhlgartenwiese kam es zur Ausbildung einer recht breiten Talaue, die südlich von Wies Ansätze einer beckenhaften Weitung zeigt. Dieser Prozess konnte nur dort zur Geltung kommen, wo der geologische Untergrund dies zuließ. Die Verengung der Köhlgartenwiese in Höhe des Glaserbergs ist auf den dort flächenhaft auftretenden Granitporphyrzug zurückzuführen. Diesen hat sie mit einem steil nach Norden exponierten Prallhang durchbrochen.

Im Einzugsgebiet sind relativ nährstoffreiche Humusbraunerden anzutreffen. Vor allem auf den flacheren und mäßig steilen Hängen. Im Tal hingegen herrschen aufgrund der ständig leichten Bodenabschwemmung an den Steilhängen nicht selten anmoorige Verhältnisse vor. (ABTEILUNG LANDESBESCHREIBUNG DES STAATSARCHIVES FREIBURG I. BR., 1994).

3.4.2 Geologie Köhlgartenwiese

Im ganzen Einzugsgebiet der Köhlgartenwiese ist der Marlsburggranit, der zu den undeformierten unterkarbonischen Graniten des Südschwarzwaldes mit mittelkörnig ausgebildeter Mineralstruktur gehört, vorzufinden. Dieser wird immer wieder mit hellen Ganggesteinen, wie sie bei der Kleinen Wiese anzutreffen sind, durchzogen. Nur im Unterlauf kurz vor der Mündung in die Kleine Wiese sind holozäne Talschotter anzutreffen (HÜTTNER, 1994).

4 Kartierung

4.1 Methodik zur geomorphologischen Aufnahme naturnaher Gerinne

Die Vorauswahl von naturnahen Gerinnestrecken wurde anhand der Waboa-Daten getroffen. Im Kapitel Gewässerökologie und Gewässerschutz, des WABOA (2007), sind Daten der Gewässerstrukturgütekartierung von 2004 und der morphologische Zustand der Fließgewässer aufgearbeitet und konnten für die vorliegende Arbeit genutzt werden. Die Abbildung 4.1 zeigt die Bänderdarstellung der Gewässerstruktur Baden-Württembergs in einer 5-stufigen Klassifikation, welche auf der 7-stufigen LAWA-Klassifikation basiert (WABOA, 2007).

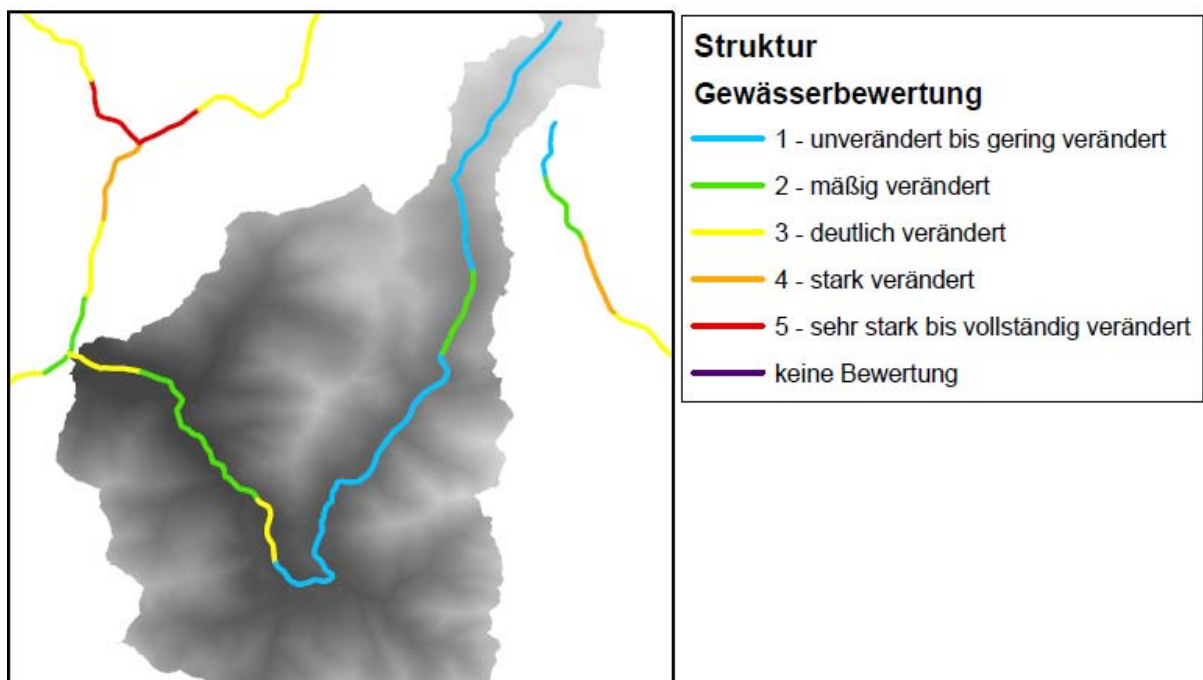


Abbildung 4.1: Gewässerstrukturgüte des Prägbaches im Südschwarzwald bei Geschwend

Anschließend wurde eine Geländebesichtigung der entsprechenden sieben vorausgewählten Gerinne durchgeführt. Diese sieben Gerinne waren: im Mittelschwarzwald der Rötenbach bei Alpirsbach, die Wilde Gutach und die Glotter, im Südschwarzwald betraf es die Kander, den Prägbach bei Todtnau, die Köhlgartenwiese und die Kleine Wiese.

An ihnen war im Gelände zu prüfen, ob:

- der Gewässerlauf Anzeichen einer Begradigung aufwies,
- eine außergewöhnlich starke Tiefenerosion vorlag,

- die Uferprofile künstlich verändert erschienen,
- Maßnahmen zur Ufersicherung zu erkennen waren,
- das Sohlsubstrat deutlich von den zu erwartenden natürlichen Verhältnissen abwich,
- gewässerbegleitend Wege oder Straßen verliefen,
- sich als Folge forstwirtschaftlicher Nutzung ein starker Holzeinschlag zeigte und
- das Gewässerumfeld durch eine bauliche oder landwirtschaftliche Nutzung überprägt war.

Konnten diese Merkmale für das entsprechende Gerinne weitestgehend ausgeschlossen werden, wurden für weitere Geländearbeiten geeignete Abschnitte für die Kartierung ausgewählt. Nach der Geländebesichtigung und Prüfung der vorhandenen LiDAR-Daten, wurden vier der zur Verfügung stehenden Gerinne für weitere Bearbeitungen in Betrachtung gezogen.

Das Längsprofil von Flüssen hat häufig eine konkave Form. Es wird in Ober-, Mittel und Unterlauf unterteilt. Das idealisierte Längsprofil wird häufig durch Knickpunkte unterbrochen. Dort kommt es zu einer Abweichung von der ursprünglich konkaven Form und somit zu einer Gefällsveränderung (z.B. Wasserfälle). Knickpunkte entstehen meist an tektonischen Störungen oder dort, wo sich der Gesteinsuntergrund ändert, und mit ihm die Stärke der Erosion. Das Gefälle, und damit auch die Fließgeschwindigkeit, nehmen in der Regel zum Unterlauf hin ab. Anhand der ermittelten Längsprofile (s. Kapitel 5.2.3) wurden die Knickpunkte im Profilverlauf betrachtet, um an Hand dieser Stellen Gerinneabschnitte für die spätere Kartierung festzulegen. In Abbildung 4.2 ist das Längsprofil des Prägbaches mit wichtigen Knickpunkten dargestellt.

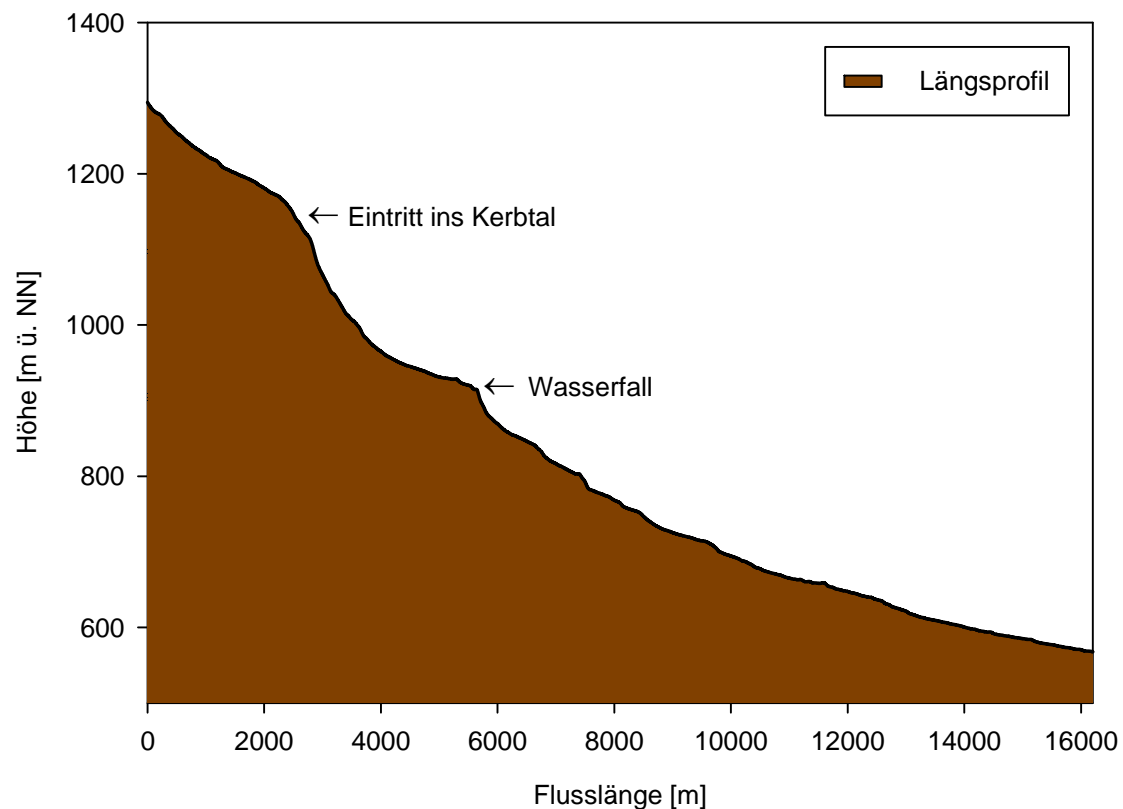


Abbildung 4.2: Längsprofil des Prägbaches

Im Bereich von 2700-2900 m Flusslänge ist im Profil der Gerinnestrecke ein deutlicher Knickpunkt in der Höhe von circa 1100 m ü. NN zu erkennen. Dieser ist wohl darauf zurückzuführen, dass hier der Prägbach von der Hochfläche ins Kerbtal eintritt. Ein weiterer Knickpunkt ist bei 5400 m Flusslänge in einer Höhe von circa 920 m ü. NN vorzufinden. Dieser ist auf den Wasserfall mit einer Höhe von circa 15 m zurückzuführen.

Für jedes Gerinne wurden drei bis vier Abschnitte mit interessanten Knickpunkten ausgewählt. Diese Abschnitte sollten hinsichtlich der im Gelände erkennbaren Fließgewässergestalt homogen sein. Je nach Durchgängigkeit der natürlichen Form des Verlaufes und Zugänglichkeit der Gewässerstrecken betrug die Länge der Untersuchungsabschnitte bis zu 50 m. Insgesamt entstanden somit 15 Abschnitte an den vier ausgewählten Gewässern.

Die vier Gerinne gehören nach der Klassifikation von POTTGIESSER & SOMMERHÄUSER (2008) zum Typ 5 der Mittelgebirgsbäche: Grobmaterialreiche und silikatische Mittelgebirgsbäche. Je nachdem ob es sich um ein Kerb-, Sohlen- oder Muldental handelt, sind die Gerinnestrecken entsprechend eher gestreckt, gewunden oder schwach mäandrierend. Die Gerinnesohle besteht zum größten Teil aus zahlreichen und großflächigen Schotter- und Steinbänken. Des Weiteren können lokale Blöcke und Felsrippen im Gerinne anstehen. In den schwach durchströmten Bereichen von Stillen und Gleithängen kann auch feinkörnigeres Material vorkommen. Insgesamt sind die Profile sehr flach und zeigen charakteristisch eine

häufige Schnellen- und Stillenabfolge auf. Unterhalb von Querstrukturen aus Totholz oder Felsriegel bilden sich häufig tiefe Kolke. Das Strömungsbild dieses Typs von Profilen ist sehr turbulent und schnell fließend. Außerdem kommt es zu großen Abflussschwankungen im Jahresverlauf.

4.2 Erhebung der Daten durch Kartierung

Für die Kartierung wurden nachfolgende Gerätschaften genutzt:

- GPSMAP 76 CSx (von Garmin) zur Lagebestimmung,
- TruPulse 360B (von Laser Technology Inc.) zur Baumhöhenbestimmung,
- Maßband (50 m) zur Messung der Querprofile,
- und eine Wathose zur Messung des Wasserstandes im Gerinne.

Die geomorphologische Aufnahme eines jeden Gerinneabschnitts erfolgte mit Hilfe von GPS zur Lagebestimmung und die qualitative Kennzeichnung der ausgewählten Abschnitte mit Hilfe eines standardisierten Aufnahmebogens (s. Kapitel 4.3). In den kartierten Abschnitten sind jeweils 2-3 Querprofile vermessen worden. Die Vermessung der Querprofile wurde mittels eines Maßbandes von einem Ufer zum anderen durchgeführt. Neben der Querprofilmorphologie wurde auch der zur Zeit der Kartierung in etwa der Mitte des Querprofils vorherrschende Wasserstand mittels eines Zollstocks aufgenommen. Für jeden Abschnitt wurde eine Gewässeraufsichtsskizze angefertigt, welche Vegetation, Uferlinien, Felsriegel/Stufen, Sedimentbänke, Totholz und Fotostandorte beinhaltet. In Abbildung 4.3 ist exemplarisch eine Gewässeraufsichtsskizze dargestellt (weitere Gewässeraufsichtsskizzen siehe Anhang A.1).

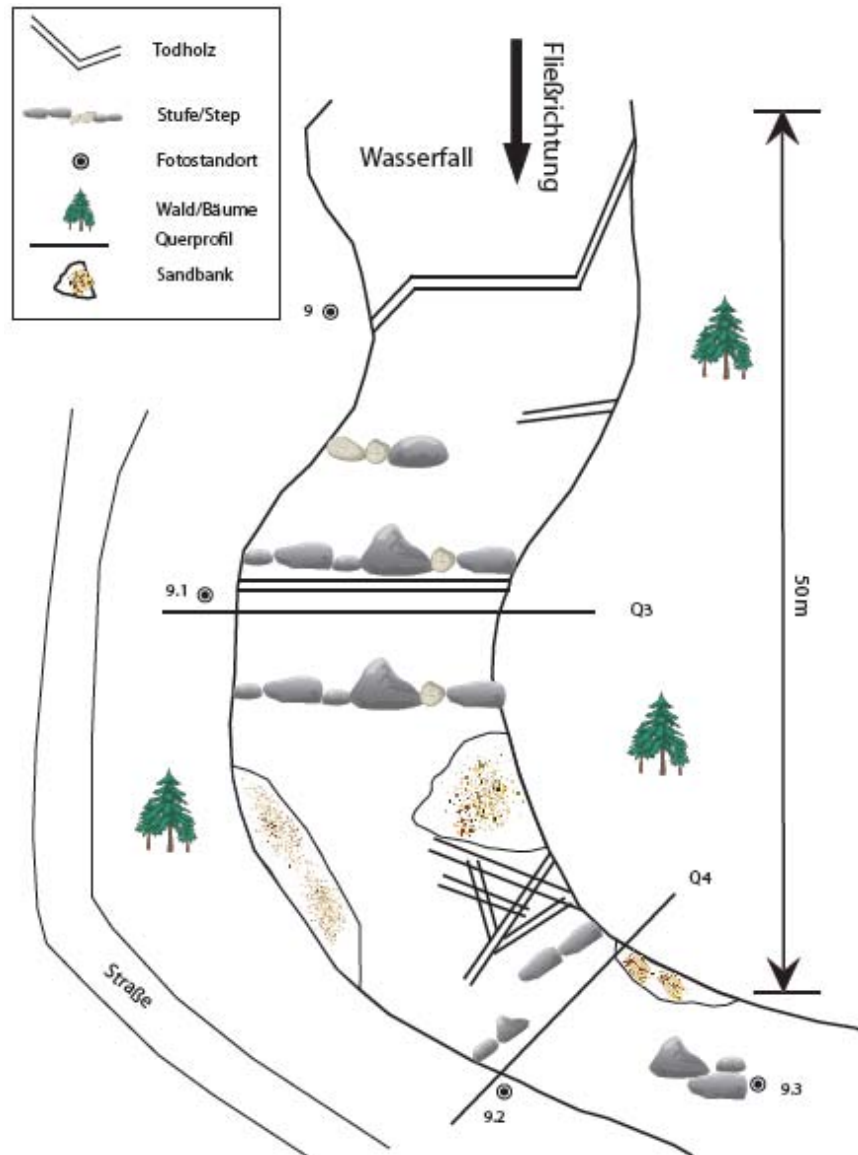


Abbildung 4.3: Gewässeraufnahmeskizze Kartierabschnitt 2 des Prägbachs

Die erste Kartierung wurde am Prägbach durchgeführt, bei dem zusätzlich die Baumhöhen mittels eines Neigungs- und Entfernungsmessers (TruPuls 360B von Laser Technology Inc.) bestimmt wurden. Die Baumhöhenbestimmung beruht auf der Winkelmessung von einem Bezugspunkt zur Baumspitze und zum Baumfuß (trigonometrisches Prinzip). Die Entfernung vom Baum zum Bezugspunkt muss dafür bekannt sein (siehe Abbildung 4.4).

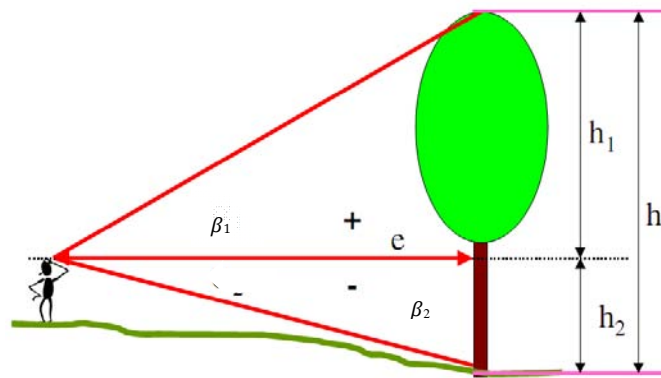


Abbildung 4.4: Messprinzip Baumhöhenbestimmung (NAGEL, 2001)

Die beiden Höhen h_1 und h_2 aus Abbildung 4.4 berechnen sich mit Hilfe des Tangens:

Gl. 5.1
$$h_1 = e \cdot \tan(\beta_1)$$

Gl. 5.2
$$h_2 = e \cdot \tan(\beta_2)$$

Aus der Differenz der ermittelten Höhen ergibt sich die resultierende Baumhöhe (NAGEL, 2001). An den drei Katierabschnitten am Prägbach wurden zwei bis drei repräsentative Baumhöhen bestimmt.

4.3 Qualitative Kennzeichnung des Gerinneabschnitts

Die qualitative Kennzeichnung der Gerinneabschnitte wurde mit Hilfe eines standardisierten Aufnahmebogens durchgeführt. Der Aufnahmebogen wurde ursprünglich von Thorne entwickelt und von HARNISCHMACHER (2002) weiterentwickelt. Eingeteilt ist dieser in vier thematisch unterschiedene Sektionen:

- Sektion 1: Allgemeine Angaben zur Gewässeraufnahme
- Sektion 2: Kennzeichnung der umgebenden Region und des Talabschnitts
- Sektion 3: Beschreibung des Gerinnebetts
- Sektion 4: Beschreibung des linken und rechten Ufers

Allgemeine Angaben wie Ort, Zeit und Kennzeichnung der Lage des Gerinneabschnittes werden in der ersten Sektion eingetragen. Die zweite Sektion beinhaltet eine Betrachtung des Einzugsgebietes. Es werden allgemeine Angaben zur Gebietskennzeichnung, zum anstehenden Gestein, zur Landnutzung und zur Vegetationsbedeckung vorgenommen. Zusätzlich folgt eine Beschreibung der Geomorphologie des Talabschnittes und des Talbodens. Hierbei werden die geologischen Verhältnisse, Landnutzung und Vegetation klassifiziert. Des Weiteren wird das Verhältnis Gerinnebett zu Talabschnitt betrachtet, indem die Aufsicht (gerade, geschlängelt) und die Position der Gewässerverlaufs im Tal (Rechts, Mitte, Links) zu bestimmen sind. In der dritten Sektion wird hauptsächlich das Gerinnebett untersucht. Hier müssen Angaben zum Fließzustand, zu auffälligen Sohl- und

Uferwiderständen wie anstehendes Festgestein oder Blöcke vorgenommen werden. Der Rauigkeitskoeffizient n nach Manning ist in diesem Zusammenhang abzuschätzen. Dieser dient zur Berechnung des bordvollen Abflusses mit Hilfe der Gleichung von Manning (LEOPOLD ET AL, 1964) (s. Kapitel 5.1.2). Außerdem gehören zur dritten Sektion die Bestimmung des Sohlsubstrats und einiger Sohlstrukturen. Dabei erfolgen eine Abschätzung der vorherrschenden Korngröße nach den Hauptkorngrößenklassen und eine Identifizierung von Sohlpanzerung, Rippelmarken oder Sedimentbänken und Riffle-Pool-Strukturen. Die vierte und letzte Sektion des Aufnahmebogens befasst sich mit dem Gewässerufer. Neben der Kennzeichnung des Ufersubstrats wird auch die Ufervegetation angesprochen, insbesondere der Vegetationstyp, die Bewuchsdichte und der Uferstandort. Als Abschluss der qualitativen Geländeaufnahme wird eine Gewässeraufsichtsskizze angefertigt. In ihr können der Gewässerverlauf, die Lage der Ufervegetation, Sedimentbänke, Totholz, anstehendes Gestein und Fotostandorte eingetragen werden (HARNISCHMACHER, 2002). Der Aufnahmebogen ist im Anhang A.1 einzusehen.

5 Fluvialmorphologische Steuer- und Zielgrößen

Um einen guten Einblick in die Fließgewässermorphologie zu erhalten, ist es hilfreich, innerhalb des fluvialen Systems, Variablen zu benennen, die die Form des Gerinnes prägen und von ihr selbst unabhängig sind. Zudem sind sie von den gestaltbeschreibenden, äußeren Kräften und Formen unterworfenen abhängigen Variablen abzugrenzen. Die unabhängigen Variablen werden als Steuergrößen und die abhängigen Variablen als Zielgrößen bezeichnet (HARNISCHMACHER, 2002).

Die Steuergrößen hat KNIGHTON (1984) in Abhängigkeit ihres unterschiedlichen Raum- und Zeitbezugs, in zwei Gruppen eingeteilt. Diese setzen sich aus mittelbar und unmittelbar auf die Gewässermorphologie wirkenden Variablen zusammen. Die Zielgrößen, die abhängigen Variablen, welche das Gerinnebett beschreiben, befinden sich im unteren Teil der Abbildung 5.1. Die Richtungen der Pfeile deuten die Beziehungen zwischen den Variablen an.

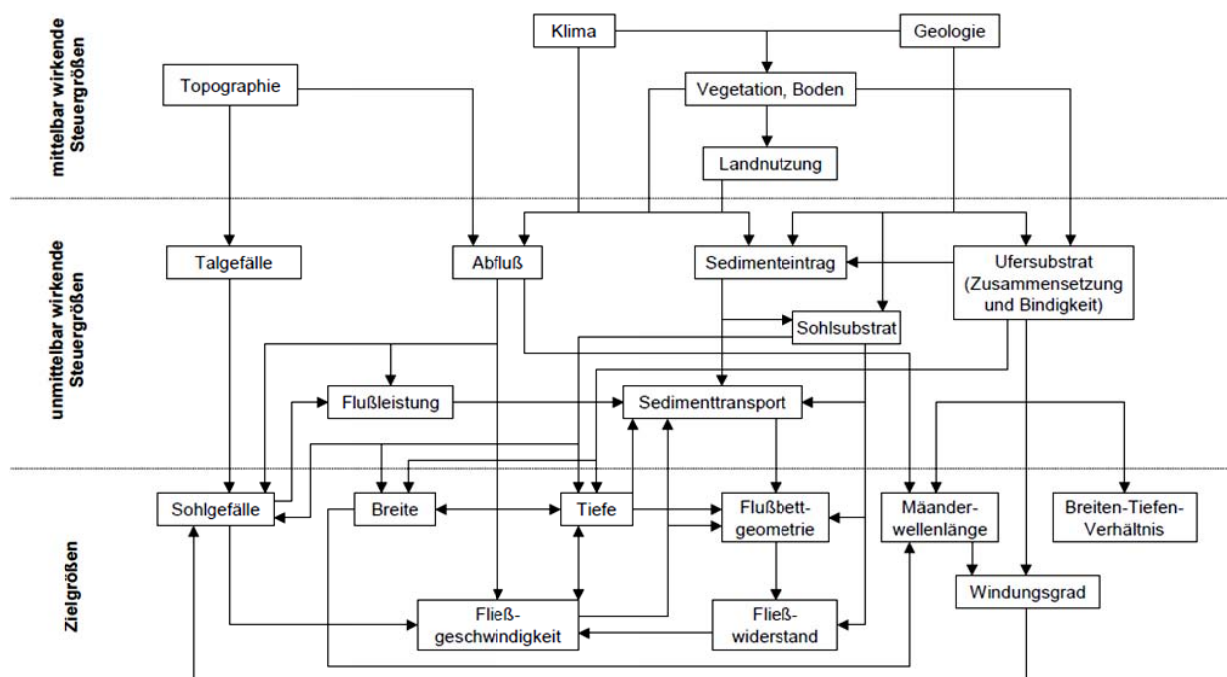


Abbildung 5.1: Beziehung zwischen fluvialmorphologischen Steuer- und Zielgrößen (nach KNIGHTON 1984)

5.1 Steuergrößen

Zu den bedeutendsten Steuergrößen zählt THORNE (1997) den Abfluss, das Talgefälle, die Topographie und die Sedimentfracht. Für eine Quantifizierung der zur Verfügung stehenden Fließenergie werden häufig Abfluss und Talgefälle zur Variable Flussleistung zusammengefasst.

5.1.1 Tal- und Sohlgefälle

Das Gefälle des Talbodens der vier untersuchten Gerinne wurde mit Hilfe des GIS-Programms ArcGIS (Version 9.3 von ESRI) ermittelt. Dabei wurde der höchste und der niedrigste Punkt des Flusslaufes angezeigt, aus den Höhendaten und Koordinaten der Höhenunterschied bestimmt und der Abstand zwischen dem höchsten und niedrigsten Punkt ermittelt. Im Anschluss konnte die Entfernung bzw. der Abstand mit der Höhendifferenz der beiden Punkte in Relation gesetzt werden um das Gefälle zu berechnen. Für die Köhlgartenwiese beträgt beispielsweise die Entfernung (E_G) zwischen höchstem und niedrigstem Punkt $E_G = 7181,1$ km und der Höhenunterschied $\Delta h = 491,7$ m, daraus folgt ein Talgefälle I_T 6,8%.

Das Sohlgefälle I_S für die Gerinne wurde entlang der Tiefenlinie bestimmt. Für alle 50 m von der Quelle bis zur Mündung wurden Punkte erzeugt, welche den Höhendaten automatisch zugewiesen wurden. Insgesamt wurden 226 Punkte mit diesem Verfahren beispielsweise für die Köhlgartenwiese generiert. Aus diesen konnte dann ein mittleres Sohlgefälle von 4,5% ermittelt werden. Dieses Ergebnis stimmt gut mit dem gewogenen Gefälle I_g von 3,95% des WABOA (2007) überein, welches von der Wasserscheide bis zum Gewässerknoten berechnet wurde.

5.1.2 Bordvoller Abfluss

Zur Berechnung des bordvollen Abflusses in offenen Gerinnen wird meist auf die empirisch ermittelte Formel nach Robert Manning zurückgegriffen. Mit dieser Gleichung lässt sich die mittlere Fließgeschwindigkeit v_{mit} an einem durchströmten Querschnitt bei Kenntnis des Rauigkeitskoeffizienten n , des hydraulischen Radius R_h und des Gefälles der Energielinie I_E zwischen zwei Punkten berechnen (LEOPOLD ET AL, 1964).

Gl. 5.1
$$v_{mit} = \frac{1}{n} \cdot R_h^{\frac{2}{3}} \cdot I_E^{\frac{1}{2}}$$

mit	v_{mit} :	mittlere Fließgeschwindigkeit [$m \cdot s^{-1}$]
	n :	Rauhigkeitskoeffizient nach MANNING [$m \cdot s^{-1/3}$]
	R_h :	hydraulischer Radius [m]
	I_E :	Energieliniengefälle [-]

Unter Berücksichtigung der Kontinuitätsgleichung gilt dann für den zu berechnenden Abfluss (LEOPOLD ET AL, 1964):

$$\text{Gl. 5.2} \quad Q = \frac{1}{n} \cdot R_h^{\frac{2}{3}} \cdot I_E^{\frac{1}{2}} \cdot A$$

mit Q: Abfluss [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

A: durchströmter Querschnitt [m^2]

Der Rauigkeitskoeffizient n wurde aus Tabellenwerten entnommen (GREGORY & WALLING, 1973, S. 129) und wurde für die Kartierabschnitte geschätzt. Damit die durchströmte Querschnittsfläche der Gerinne, der hydraulische Radius und der benetzte Umfang bestimmt werden konnte, sind Profile entlang der Tiefenlinie in Abständen von ca. 250 m gelegt worden. Anhand dieser Profillinien wurden in Abständen von 1 m die Koordinaten und Höhendaten der Profilpunkte ausgegeben. Mittels dieser Daten konnte dann die durchströmte Querschnittsfläche, der hydraulische Radius als Quotient aus durchströmter Querschnittsfläche und benetztem Umfang (U_B) an jedem einzelnen Querprofil bestimmt werden. Das Energieliniengefälle kann durch das Sohlgefälle ersetzt werden. Bei Annahme eines stationär gleichförmigen Fließens, kann das Energieliniengefälle dem Sohlgefälle gleich gesetzt werden, da dann Sohl-, Wasserspiegel- und Energieliniengefälle identisch sind (HARNISCHMACHER, 2002). Dementsprechend wurde die Abflussberechnung an jedem einzelnen Querprofil mit dem vorher bestimmten Sohlgefälle (s.o.) durchgeführt.

Damit ein Bordvoller Abfluss berechnet werden kann, muss an jedem Querprofil ein Bezugsniveau festgelegt werden zur Bestimmung der durchströmten Querschnittsfläche und des hydraulischen Radius. Dieses Bezugsniveau kennzeichnet den Abfluss, der das Gerinnebett bis zur oberen Grenze der Ufer ausfüllt (WILLIAMS, 1978). In dieser Arbeit wurde das Bezugsniveau visuell anhand der ArcGIS-Daten und Kartierungswerten ermittelt.

Nach der Ermittlung des Wertepaares für die beiden Uferpunkte (A und B), die das bordvolle Niveau kennzeichnen (s. Abbildung 5.2) konnte die durchströmte Querschnittsfläche aus den Koordinaten und Höhendaten berechnet werden, indem das Trapezverfahren für die Flächen 1-7 (näheres zum Trapezverfahren siehe Anhang A.3) angewendet wurde. Der benetzte Umfang der Gerinne ließ sich mit der Hilfe des Satzes von Pythagoras berechnen, indem die Hypotenusenlängen zusammenaddiert wurden (a-g in Abbildung 5.2). Die ermittelten Werte erlauben es so den hydraulischen Radius als Quotient der durchströmten Querschnittsfläche und des benetzten Umfangs zu berechnen.

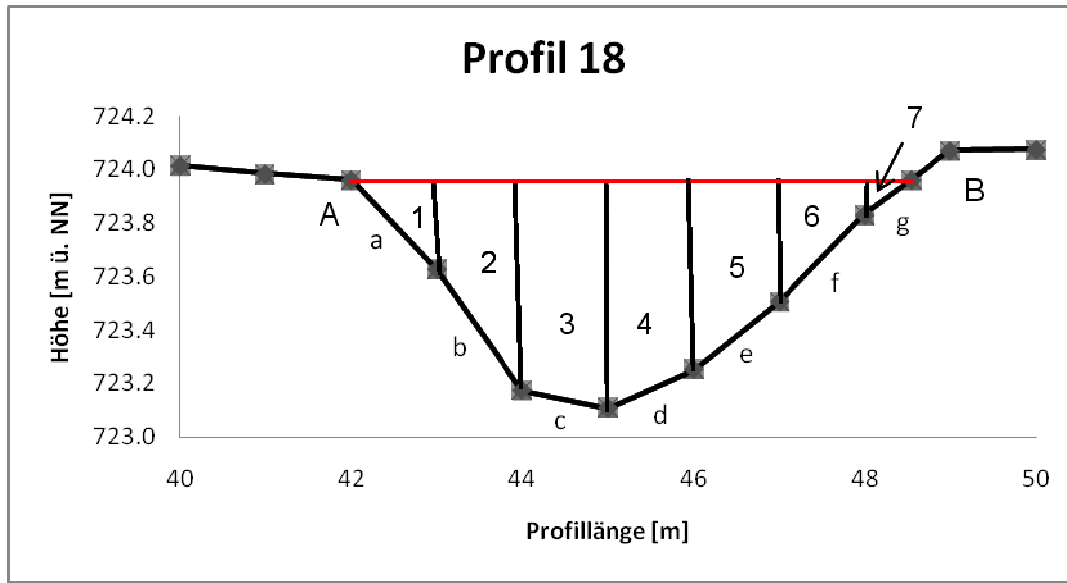


Abbildung 5.2: Bestimmung des durchströmten Querschnitts und benetzten Umfangs am Beispiel des Querprofils 18 am Prägbach

Für das beispielhaft dargestellte Profil 18 am Prägbach (Abbildung 5.2), folgt ein durchströmter, auf das bordvolle Niveau bezogener Querschnitt A_{bv} mit einem Wert von 3,24 m². Der benetzte Umfang U_b beträgt 6,81 m und der hydraulische Radius R_h 0,48 m. Bei einem Rauigkeitskoeffizienten n von 0,04 s/m^{1/3} (GREGORY & WALLING, 1973, S. 129, Tabelle 3.4) und einem Sohlgefälle von 0,044 ergibt sich nach Gleichung 5.1 eine mittlere Fließgeschwindigkeit v_{mit} von 0,04 m/s. Nach Gleichung 5.2 beträgt der bordvolle Abfluss Q_{bv} 0,14 m³/s. Diese Größen wurden an allen Querprofilen der 4 Gerinne ermittelt.

5.1.3 Flussleistung

BAGNOLD (1966) definierte die Flussleistung als den Betrag an Arbeit, den ein Fluss pro Zeiteinheit und Fließweg verrichtet. Die Flussleistung lässt sich wie folgt berechnen:

Gl. 5.3

mit Ω : Flussleistung [$W \cdot m^{-1} = J \cdot s^{-1} \cdot m^{-1} = N \cdot m \cdot s^{-1} \cdot m^{-1} = kg \cdot m \cdot s^{-3}$]
 ρ_w : Dichte von Wassers ≈ 1000 [$kg \cdot m^{-3}$]
 g : Gravitationskonstante = 9,81 [$m \cdot s^{-2}$]
 I : Gefälle [-]

Die Flussleistung Ω beschreibt die gesamte je Längeneinheit des Gerinnes und Zeiteinheit verfügbare Energie. Von Interesse ist jedoch nur die an einem durchströmten Querschnitt zur Verfügung stehende Energie. Deshalb wird die Flussleistung auf die Gewässerbreite bezogen, was einen Vergleich von Gerinnen mit verschiedenen Dimensionen ermöglicht

(HARNISCHMACHER, 2002). Diese Größe wird dann als spezifische Flussleistung ω bezeichnet. Sie wird nach Gleichung 5.4 berechnet (BAGNOLD, 1966).

$$\text{Gl. 5.4} \quad \omega = \Omega \cdot B^{-1}$$

mit ω : spezifische Flussleistung [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]
B: Gerinnebreite [m]

Für alle vier Gerinne beruht die Berechnung der Flussleistung auf den jeweils ermittelten Mittel- und Medianwerten für den bordvollen Abfluss. Als Gefälle gingen das Tal- und das mittlere Sohlgefälle in die Berechnung ein. Für die spezifische Flussleistung wurden die Mittel- und Medianwerte der Breite des bordvollen Abflusses benutzt.

5.2 Zielgrößen

Zu den wichtigsten Zielgrößen nach KNIGHTON (1984) zählen das Sohlgefälle, die Gerinnebettform mit Breite und Tiefe, die Fließgeschwindigkeit und die Sinuosität welche auch als Windungsgrad bekannt ist.

5.2.1 Sinuosität

Flüsse oder Gerinne lassen sich bezüglich ihrer Linienführung vereinfacht in drei wesentliche Gruppen einteilen: (1) in gerade, (2) verzweigte und (3) mäandrierende Gerinne. Welche Form ein Fluss annimmt, ist abhängig vom Talgefälle, von der Größe des Abflusses und vom Sedimenttransport (SCHUMM, 1977).

Die Unterscheidung zwischen geraden und mäandrierenden Gerinnen wird anhand der Sinuosität P vorgenommen. Sie beschreibt somit den Windungsgrad eines Gerinnes. Sie wird aus dem Verhältnis der Länge einer Flussstrecke L zur geradlinigen Distanz D zwischen zwei Punkten des entsprechenden Gewässers ermittelt (KNIGHTON, 1984) (s. Gleichung 5.5). ROSEN, 1994 beschreibt die Sinuosität als Verhältnis von Talgefälle zu Sohlgefälle. Für völlig geradlinige Flussstrecken ist P gleich 1 und für mäandrierende kann P größer als 2 sein (AHNERT, 1996).

$$\text{Gl. 5.5} \quad P = \frac{L}{D}$$

mit : P : Sinuosität [-]
L: Flussstrecke [m]
D: geradlinige Distanz [m]

5.2.2 Querprofil

Um das Querprofil eines Gerinnes zu charakterisieren benötigt man mehrere Parameter, welche Form und Größe beschreiben. Diese Parameter sind die Gerinnebreite B , die mittlere Gerinnetiefe T_{mit} , die durchströmte Querschnittsfläche A , der benetzte Umfang U_b und der hydraulische Radius R_h (KNIGHTON, 1984). Alle ein Querprofil beschreibender Variablen sind auf das bordvolle Niveau bezogen. In Kapitel 5.1.2 wurde auf die Bestimmung der auf das bordvolle Niveau bezogenen Querschnittsfläche A_{bv} , des benetzten Umfangs und des hydraulischen Radius eingegangen. Weiterhin ist auch die auf das bordvolle Niveau bezogene Gerinnebreite B_{bv} die in die Berechnung der spezifischen Flussleistung mit eingeht bekannt. Die mittlere Gerinnetiefe T_{mit} wird als Verhältnis von durchströmter Querschnittsfläche zu Gerinnebreite berechnet (s. Gleichung 5.6) (HARNISCHMACHER, 2002).

$$\text{Gl. 5.6} \quad T_{mit} = \frac{A_{bv}}{B_{bv}}$$

mit: T_{mit} : mittlere Gerinnetiefe

Nach der Berechnung aller Parameter der Querprofile konnten anschließend ein Mittelwert, ein Median, eine Standardabweichung und ein Variationskoeffizient bestimmt werden.

5.2.3 Längsprofil

Die Gefällelinie von der Quelle bis zur Mündung eines Flusses stellt das Längsprofil dar. Nimmt der Abfluss von der Quelle bis zur Mündung stetig zu, ist die ideale Form eines Längsprofils konkav. Im Allgemeinen weichen die Längsprofile jedoch von dieser Idealform ab. Die Stellen, an denen das Profil infolge lokaler Verstärkung oder Verminderung des Gefälles von der glatten konkaven Form abweichen, nennt man Knickpunkte. Auslöser oder Ursache dieser Knickpunkte können Unterschiede im Gestein oder lokale tektonische Störungszonen sein, welche abrupte Änderungen des Abflusses und kritische Stellen der Talentwicklung anzeigen. Da alle Knickpunkte Abweichungen von der Idealform darstellen eignen sie sich gut als Ansatzpunkte für geomorphologische Untersuchungen. Das Längsprofil der vier Untersuchungsgebiete wurde aus den LiDAR-Daten ermittelt und vorhandene interessante Knickpunkte in die Kartierung einbezogen.

6 Einstrahlung (Solar Radiation)

Unter Strahlung versteht man den Transport von Energie mit Hilfe von elektromagnetischen Wellen. Dem entsprechend wird die Strahlungsstromdichte oder kurz Strahlungsstrom als Energie pro Fläche und Zeit angegeben (W/m^2 oder $\text{mJ/cm}^2\cdot\text{s}$). Im Allgemeinen breitet sich Strahlung geradlinig aus. Streng genommen ist diese Annahme nur im Vakuum gültig, kann aber in einer ersten Näherung auch für Luft angenommen werden. Ein von einer punktförmigen Strahlungsquelle ausgehender Strahlungsstrom nimmt mit dem Quadrat der Entfernung ab.

In jeder Sekunde erhält die Erde $5 \cdot 10^{10}$ kWh Strahlungsenergie von der Sonne. Das sind circa $4,3 \cdot 10^{15}$ kWh/Tag (HÄCKEL, 1999).

Das atmosphärische Energiedargebot für die Wasserhaushaltsprozesse wird überwiegend durch die Sonneneinstrahlung bereitgestellt. Auf einer globalen Skala ist die Einstrahlung durch die Lage der Erde auf seiner elliptischen Umlaufbahn und durch die Erdrotation beeinflusst. Auf der kleinräumigen Einzugsgebietsskala, zu der die Untersuchungsgebiete zählen, ist die Topographie der wichtigste Einflussfaktor. Die Variabilität der Geländehöhen, die Oberflächenorientierung (Hangneigung und Exposition) und großräumige topografische Eigenschaften, wie Bergketten, welche Schatten bewirken können, verursachen starke lokale Unterschiede bei der Einstrahlung. Dies führt zu einer hohen räumlichen und zeitlichen Heterogenität der lokal verfügbaren Energie. Letztere beeinflusst wiederum Mikroumweltfaktoren, wie zum Beispiel die Luft- und Bodentemperatur, die Evapotranspiration oder die Bodenfeuchte. Aus diesem Grund sind präzise Einstrahlungskarten der Einzugsgebietsskalen für viele Anwendungen unerlässlich.

Für die meisten Regionen sind genaue Einstrahlungswerte jedoch nicht verfügbar. Eine einfache Interpolation und Extrapolation von spezifischen Punktmessungen auf die Fläche sind nicht sehr aussagekräftig, da die meisten Gebiete von den bereits erwähnten starken lokalen Schwankungen beeinträchtigt sind. Genaue Einstrahlungskarten benötigen ein dichtes Netz an Messungen, welches jedoch auf Grund hoher Kosten schwer durchzuführen ist. Daher wurden spezielle Einstrahlungsmodelle entwickelt, welche kostengünstig die räumliche und zeitliche Variabilität der Einstrahlung auf der Einzugsgebietsskala berechnen können (DUBAYAH & RICH, 1995). Solche Modelle werden idealerweise innerhalb eines geografischen Informationssystems (GIS) bereitgestellt, wodurch die Erzeugung noch kostengünstiger und schneller erfolgen kann.

Für die Berechnungen der Einstrahlung wurden in dieser Studie digitale Geländemodelle (DEM) mit der Rasterzellenauflösung von 1×1 m verwendet.

6.1 Modelltypen

Einstrahlungsmodelle können in zwei Typen eingeteilt werden: Punkt- oder Gebiets-basierend.

Die punktbasierten Modelle berechnen die Einstrahlung für eine bestimmte Position mit Hilfe der Oberflächengeometrie und des sichtbaren Himmelabschnitts. Die lokale Auswirkung der Topographie wird durch die empirischen Beziehungen der visuellen Abschätzung oder genauer der Zuhilfenahme von aufwärts schauenden hemisphärischen (Fischauge) Fotografien begründet. Auf eine spezifische Position angewendet, kann dieser Modelltyp sehr genau Ergebnisse liefern, jedoch ist es nicht möglich für mehrere Positionen ein Modell im gleichen Gebiet zu entwerfen (FU & RICH, 1999b).

Im Gegensatz dazu berechnen gebietsbasierte Modelle die Einstrahlung für ein gesamtes Gebiet, indem sie Informationen aus der Oberflächenorientierungsberechnung (Exposition) und der Berechnung des Hangschattens (Hillshade) nimmt (DUBAYAH & RICH, 1995; KUMAR ET AL., 1997).

6.2 ArcGIS Spatial Analyst Tool - Solar Radiation

Im Spatial Analyst Tool von ArcGIS (ESRI, 2009) ist das Modell Solar Analyst zur Berechnung der Einstrahlung (Solar Radiation) eingebettet. Dieses Modell arbeitet auf der Einzugsgebietsskala und kann punkt- und gebietsbasierend Einstrahlungskarten erzeugen. Das Modell generiert für jeden Rasterzellenwert eines DEM einen hemisphärische Sichtbereiche (Viewsheds) welcher im Wesentlichen ein Pendant zur hemisphärischen Fotografie (Fischauge) darstellt. Diese werden zur Berechnung der Einstrahlung an den einzelnen Rasterzellen genutzt um eine möglichst getreue Einstrahlungskarte für alle Zeitintervalle zu erzeugen. Ebenfalls benötigt wird die Breitenlage des Gebietes, die Höhenangaben, die Oberflächenorientierung, die Beschattung durch die umliegende Topographie, die täglichen und saisonalen Veränderungen des Sonnenwinkels und die durch die Atmosphäre verursachte Schwächung der Einstrahlung.

Im Solar Analyst sind folgende Funktionen enthalten:

- Vielseitige Ausgabe von: berechneter direkter- und diffuser Einstrahlung, Globalstrahlung, Sonnenscheindauer, Sonnenkarten (Sunmap), Himmelskarten (Skymap) und hemisphärische Sichtbereiche der betrachteten Gebiete/Flächen.
- Geringe Eingabedaten: DEM, atmosphärische Transmissivität und diffuse Verhältnisse am Standort
- Flexibilität: unterschiedliche Zeitschritte der Einstrahlungsberechnung (z. Bsp. täglich, wöchentlich, monatlich) und für unterschiedliche Gebiete (z. Bsp. ganzes DEM, eingegrenzte Flächen, einzelne Punkte) (FU & RICH, 1999b)

6.2.1 Berechnungsgrundlagen

Die Sonnenstrahlen dringen durch die Atmosphäre und werden durch die Topographie und weiteren oberflächlichen Eigenschaften modifiziert. Dementsprechend können sie die Erdoberfläche als direkte-, diffuse oder reflektierte Strahlung erreichen. Der größte Anteil an der Globalstrahlung macht die direkte Einstrahlung aus gefolgt von der wesentlich geringeren diffusen Einstrahlung und der vernachlässigbaren reflektierten Einstrahlung (KUMAR ET AL., 1997). In den weiteren Unterkapiteln werden Erläuterungen zum Modell Solar Analyst gegeben. In der Abbildung 6.1 ist das Flussdiagramm zum Ablauf des Modells aufgezeigt.

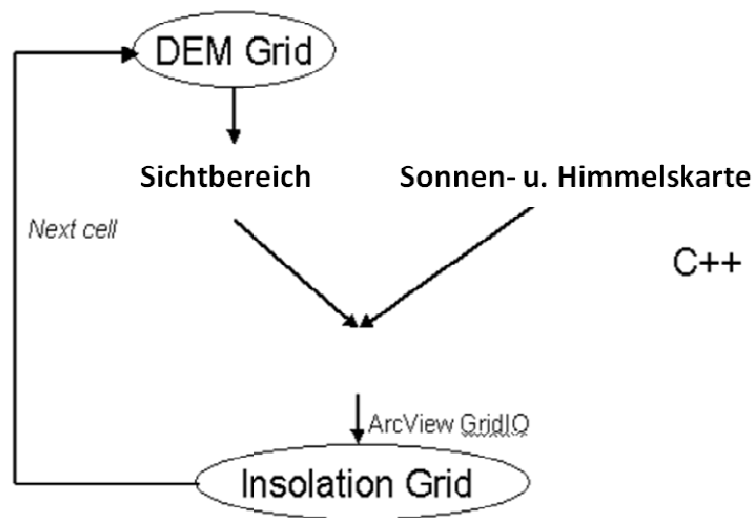
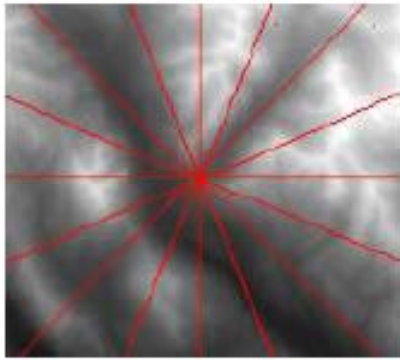


Abbildung 6.1: Flussdiagramm des Solar Analyst (verändert nach FU & RICH, 1999a)

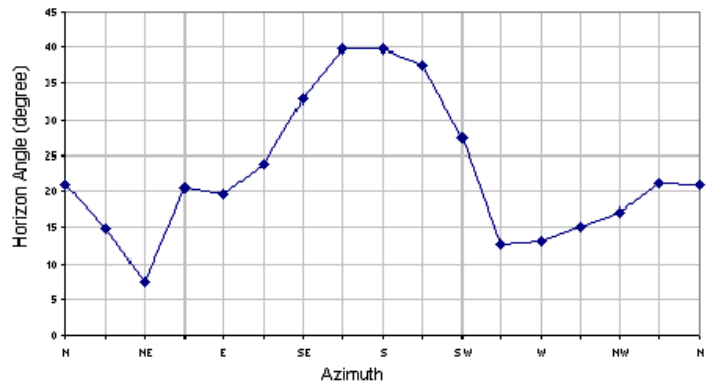
6.2.2 Sichtbereich-Berechnung

Der hemisphärische Sichtbereich wird für jede Rasterzelle eines DEMs (Abbildung 6.2) berechnet. Als Sichtbereich werden die Grenzen einer Fläche definiert, welche von einem bestimmten Punkt aus, bei gegebenem Geländere relief und unter Annahme, dass sich keine Hindernisse wie Bäume oder Gebäude auf der Erdoberfläche befinden noch erkennbar sind. In ArcGIS können die sichtbaren Flächen berechnet werden und die Ergebnisse als Karte ausgegeben werden.

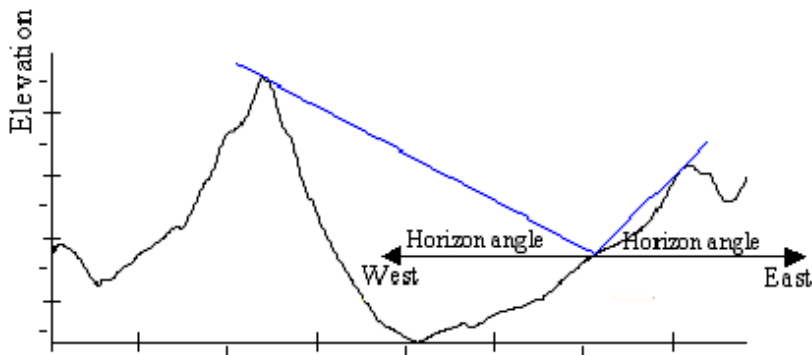
Die Sichtbereiche werden durch eine Vielzahl von Horizontwinkeln, welche in alle Richtungen weisen, berechnet. Der Horizontwinkel ist der maximale Winkel des Sichtbereichs. Alle Winkel einer bestimmten Position im DEM werden in eine gleichwinklige hemisphärische Projektion umgeformt und als Rasterkarte gespeichert (FU & RICH, 1999).



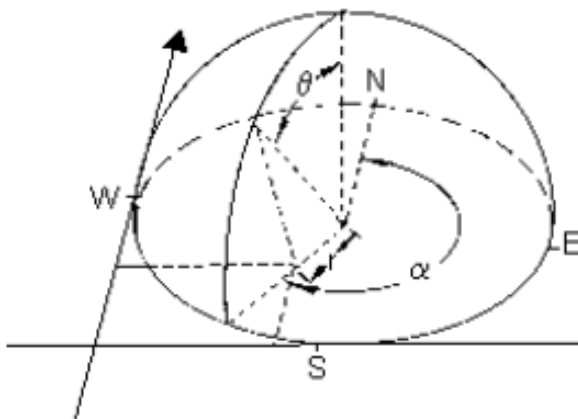
a) Richtungen zur Berechnung des Horizontwinkels



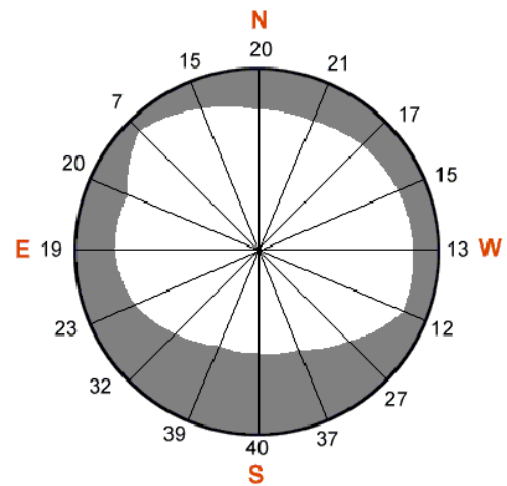
b) Berechnung des Horizontwinkels



c) Interpolation des Horizontwinkels



d) Umformung in hemisphärische Koordinaten



e) Berechneter Sichtbereich

Abbildung 6.2: Berechnungsablauf der Sichtbereiche für eine Rasterzelle vom DEM. a) Richtungen zur Berechnung des Horizontwinkels; b) Berechnung des Horizontwinkels; c) Interpolation des Horizontwinkels; d) Umformung in hemisphärische Koordinaten; und e) Berechneter Sichtbereich für eine Rasterzelle. Die Zahlen am Sichtbereich repräsentieren die berechneten Horizontwinkel (verändert nach Fu & Rich, 1999a).

Für Sichtbereiche wird eine gleichwinklige hemisphärische Projektion genutzt, in welcher die Himmelsbegrenzung als kreisförmige Karte dargestellt wird. In der Mitte befindet sich der Zenit und am Rand der Horizont. Der Zenitwinkel θ (Winkel bezüglich zum Zenit, Abbildung 6.2 d) ist proportional zum Längenabschnitt auf dem Radius und der Azimutwinkel α (Winkel Bezüglich der Nordrichtung) ist proportional zur Richtung vom Mittelpunkt (FU & RICH, 1999a).

6.2.3 Sonnenkartenberechnung

Die sogenannte direkte Einstrahlung kommt direkt von der Sonne. Für die Berechnung der Sonnenkarten müssen somit die Position der Sonne, der Sonnenstand und der Sonnenverlauf bestimmt werden. Sonnenkarten (Sunmaps) sind Rasterkarten der Himmelsrichtungen in einer hemisphärischen Projektion (Abbildung 6.3). Der Sonnenverlauf wird in Sektoren eingeteilt, welche jeweils für den Tag und die Tageszeit definiert werden. Jeder Sektor ist mit einem Einstrahlungswert verknüpft, der der jeweiligen Himmelsrichtung zu zuschreiben ist. Die Erstellung der Sonnenkarten basiert, wie schon erwähnt, zudem auf der Sonnenneigung, dem Sonnenaufgang und der Sonnenscheindauer, der Tageslänge und der Sonnenposition. Die Sonnenpositionsberechnung (Zenit- und Azimutwinkel) wird mittels des Breitenkreises, des Tages und der Tageszeit (Standard astronomische Zeit) bestimmt. Jeder Himmelssektor erhält eine Identifikationsnummer und eine vom Sektorenmittelpunkt aus werden die Zeitdauer, der Azimut und Zenit berechnet. Insgesamt sind diese Berechnungen sehr komplex und benötigen viel Rechenzeit.

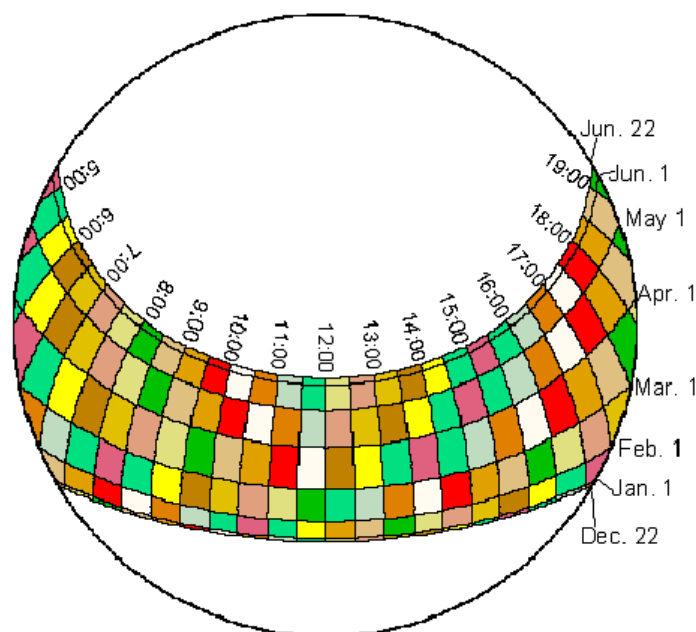


Abbildung 6.3: Sonnenkarte Wintersonnenwende zur Sommersonnenwende (verändert nach FU & RICH, 1999a)

6.2.4 Himmelskartenberechnung

Im Unterschied zur direkten Einstrahlung, welche immer nur aus der Richtung der Sonnen kommt, kann die diffuse Einstrahlung aus allen Himmelsrichtungen einwirken. Himmelskarten (Skymaps) sind ebenfalls Rasterkarten, welche über den gesamten Bereich in mehrere Sektoren eingeteilt werden. Die Himmelssektoren werden in Abhängigkeit von Zenit und Azimut eingeteilt (siehe Abbildung 6.4).

Jeder Sektor erhält eine Identifikationsnummer. Es werden die Zenit- und Azimutwinkel aller Sektoren berechnet. Die Sektoren müssen möglichst schmal sein, um eine gute Repräsentation der Winkel der Himmelsrichtung zu erreichen und damit eine gute Qualität der darauffolgenden Berechnungen zu erzielen. Als Beispiel, eine Himmelskarte mit 16 gleichmäßig breiten Zenit- und Azimuteinteilungen bewirkt, dass das Zenitintervall $5,625^\circ$ und das Azimutintervall $22,5^\circ$ annimmt.

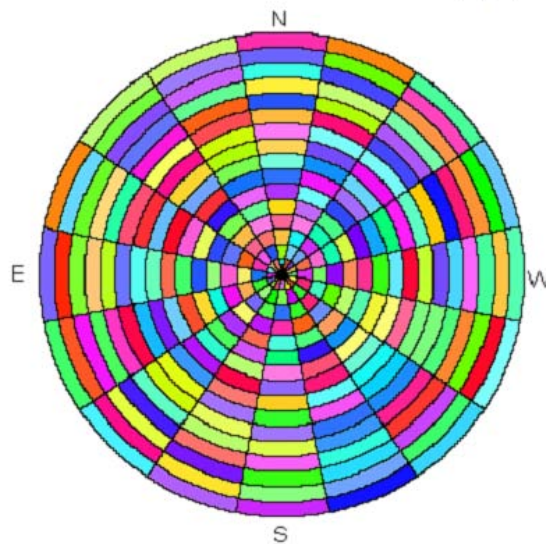


Abbildung 6.4: Himmelskarte mit den Sektoren (verändert nach Fu & Rich, 1999)

6.2.5 Verschneidung drei Karten: Sichtbereich, Sonnen- und Himmelskarte

Um die Berechnung der direkten und diffusen Einstrahlung aus jeder Himmelsrichtung zu ermöglichen, wird der jeweilige Sichtbereich mit der Sonnenkarte und mit der Himmelskarte verschnitten (siehe Abbildung 6.5).

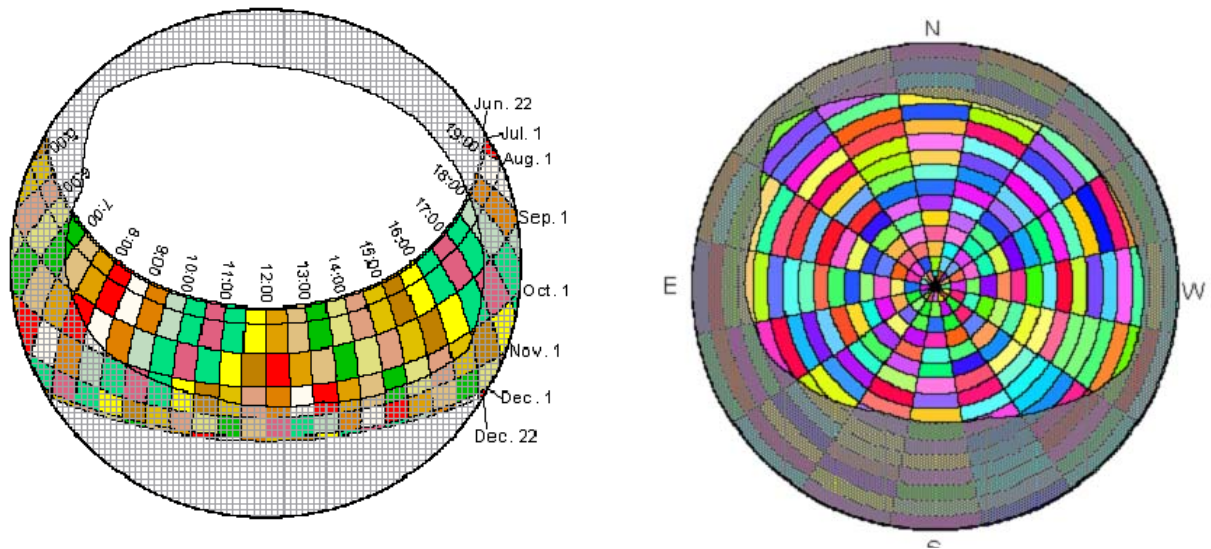


Abbildung 6.5: Verschneidung Sichtbereich mit Sonnenkarte (links) und Verschneidung Sichtbereich mit Himmelskarte (rechts)

Die Bruchstücke, die bei der Verschneidung entstehen, werden aus dem Verhältnis der Anzahl an unbeeinflussten Zellen zur Gesamtanzahl von Zellen in einem Sektor ermittelt (FU & RICH, 1999a).

6.2.6 Direkte-, Diffuse Einstrahlung und Globalstrahlung

Wie bereits erwähnt, werden, nachdem die ganzen Kartenelemente erzeugt wurden, die einzelnen Einstrahlungen für die Zellen berechnet. Eine genaue Beschreibung dieser Berechnungen ist bei FU & RICH 1999a und 1999b nachzulesen

6.3 TreesVis

TreesVis ist eine Software zur Berechnung, Analysierung und Visualisierung von Laserscanningdaten (LiDAR). Mit diesem Programm können DEMs und DSMs aus den Firstpulse- und Lastpulsedatensätzen erzeugt werden. Diese werden in 3D visualisiert. TreesVis wurde ursprünglich für forstwissenschaftliche Fragestellungen entwickelt, ist jedoch aufgrund der Nähe zu hydrologischen Fragestellungen auch für letztere ein nützliches Programm.

Für die vorliegende Arbeit war nur die Erzeugung des DSM aus den Firstpulsedatensätzen von Bedeutung. Erst durch LiDAR stehen flächendeckende Vegetationsdaten zur Verfügung, welche dann auf der Einzugsgebietsskala betrachtet werden können. Die Funktion *Sun Calculation with Raytracing* wurde für die Berechnung der Einstrahlung herangezogen. Verwendet wurde die TreesVis-Version 74b von WEINACKER ET AL. (2004).

6.3.1 Berechnung von DSM

Das DSM wird in TressVis aus den Rohdatensätzen der Firstpulse (Vegetations- und Bodenpunkte) erstellt. Dabei kann zwischen mehreren Ermittlungsmethoden gewählt werden um ein geeignetes Vegetationsmodell oder DSM zu erstellen. In dieser Arbeit wurde die Methode „beschönigt_reiss“ angewendet. Dabei wird das DSM nicht exakt von Punkt zu Punkt errechnet, sondern es findet eine Abtastung der oberen Punktwolke statt. Dadurch entsteht eine Glättung der Vegetationsoberfläche und deutlichere Herausbildung von Baumformen. In der Abbildung 6.6 sind die Methoden „beschönigt_reiss und exact_reiss“ dargestellt. Die Methode „exact_reiss“ verbindet alle Rohdatenpunkte ohne Filterung miteinander. Dadurch entstehen schärfere Abbildungen der Vegetationsoberfläche.

Anschließend wurden das DSM und das DEM, welches in ArcGIS erzeugt wurde, in identische Gebiete eingeteilt.

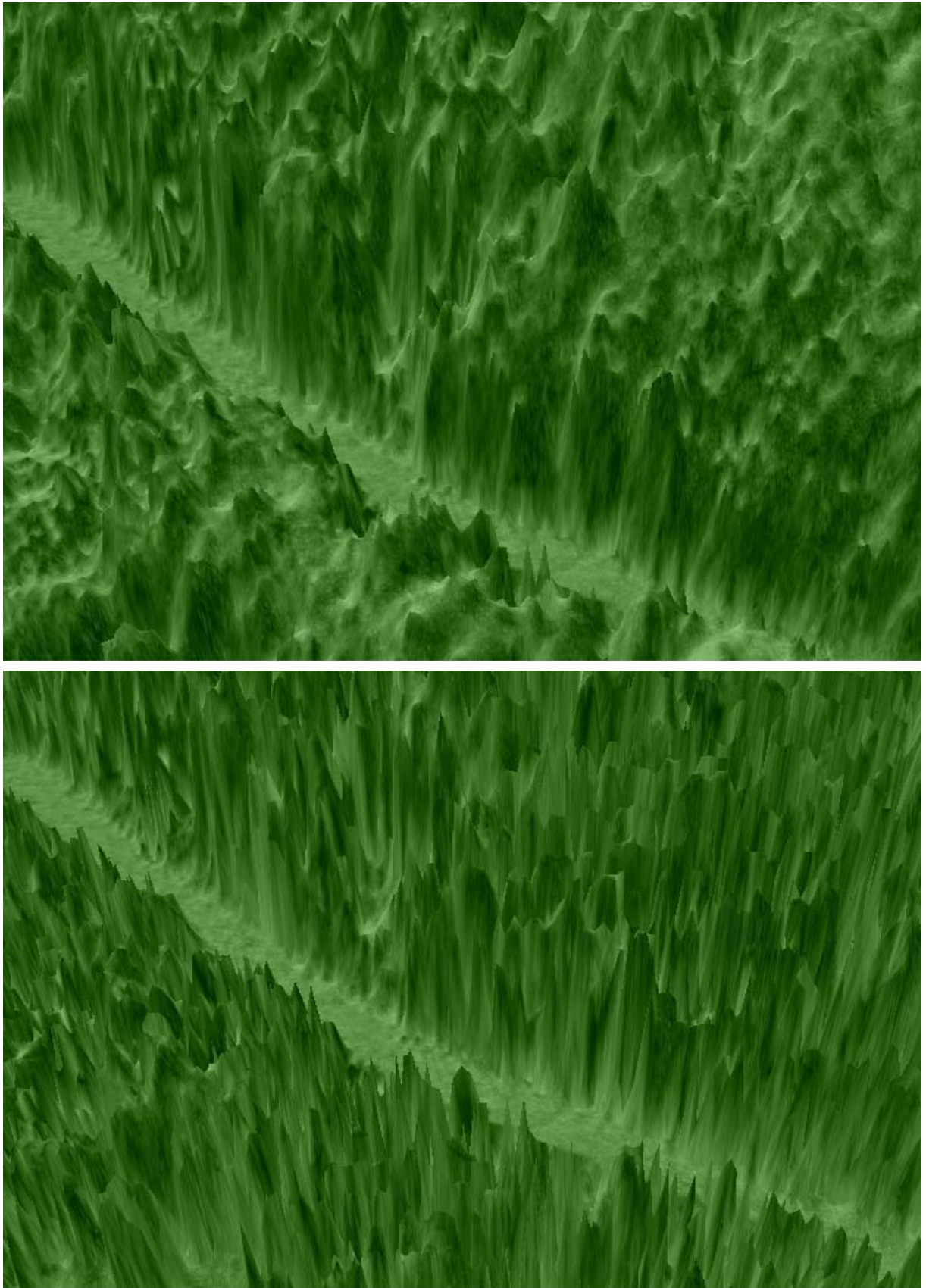


Abbildung 6.6: DSM, oben Methode „bschönigt_reis“ unten Methode „exact_reis“

6.3.2 Einstrahlungsberechnung (Sun Calculation with Raytracing)

Als Eingabedaten für die Einstrahlungsberechnung (*Sun Calculation with Raytracing*) werden das DSM, das DEM und Flusspolygone benötigt. Weitere Eingabedaten sind Anfangs- und Enddatum, sowie den Zeitraum mit Startzeit und Endzeit, indem die Berechnung abläuft. Weiterhin kann man die Strahlendichte der Abstrahlfläche (Strahlen pro m²) bestimmen und einen Zeitintervall (z.Bsp. 10 min) eingeben. Die Flusspolygone wurden mittels eines neuen Werkzeuges (*Splei Polygon*) in ArcGIS erzeugt. Dies wurde von Ahmad Yousef mit der Programmiersprache Python für die aktuelle Studie geschrieben. Das *Splei Polygon* Werkzeug berechnet Punkte im Gerinne, durch die rechtwinklige Hilfsgeraden gelegt werden. Diese werden dann mit einem großen Flusspolygon verschnitten, welcher anschliessend in viele, fast gleichmäßig kleine Polygone eingeteilt wird.

In diesem einfachen Model für die Berechnung der Einstrahlung wird nur die direkte Sonneneinstrahlung betrachtet. Dabei werden die Strahlen als Parallelen angenommen. So wird ein Bündel von parallelen Sonnenstrahlen erzeugt, welche einen vorgefertigten orthogonalen Abstand von 1x1 m aufweisen (THIES ET AL., 2006). Diese treffen auf die Vegetationsoberfläche oder auf den Flusspolygon. Der Modellablauf ist in der Abbildung 6.7 dargestellt.

Graphischer Ablauf

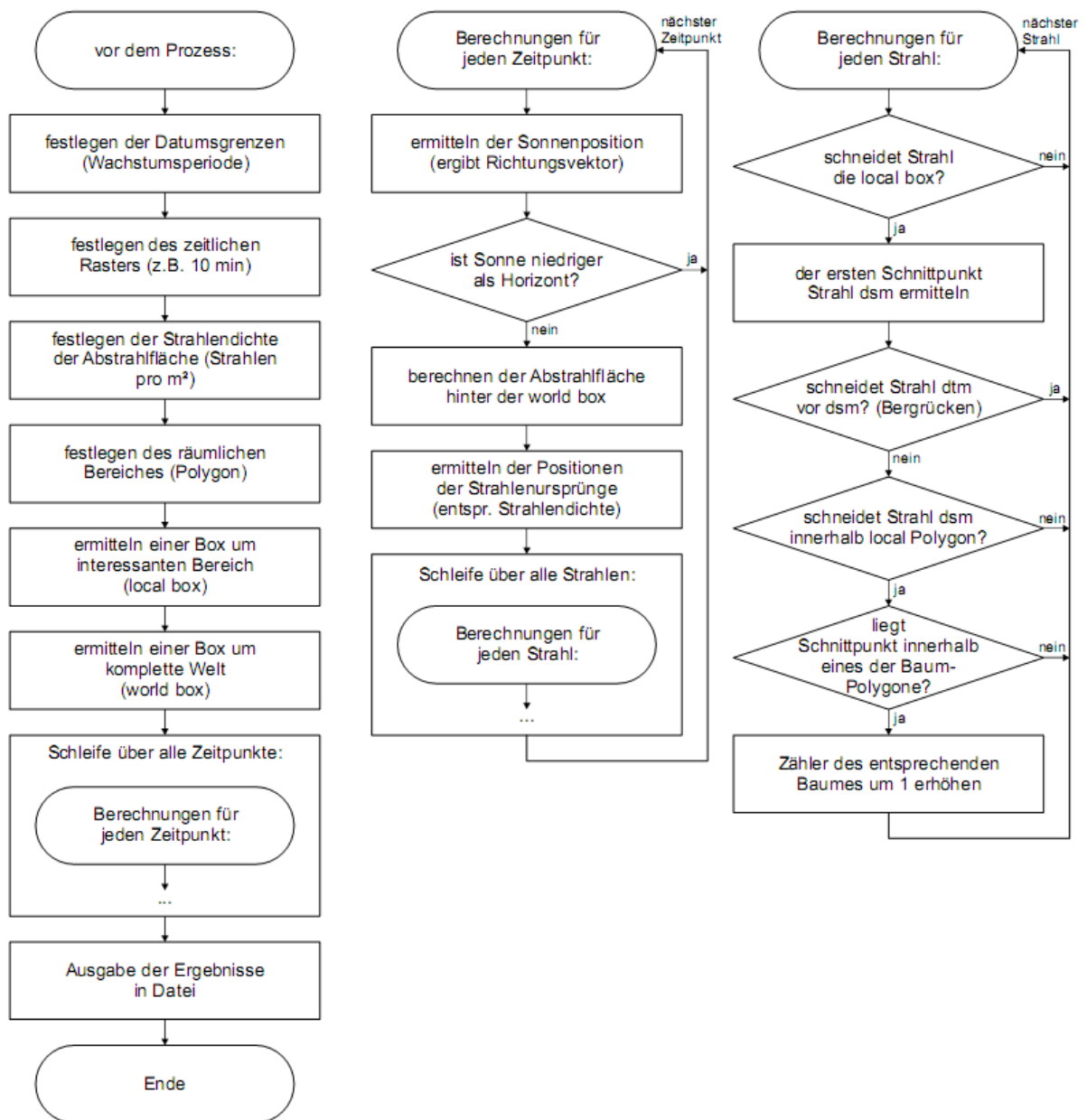


Abbildung 6.7: Graphischer Ablauf der Einstrahlungsberechnung in TreesVis (WEINACKER, 2009)

In der Ausgabedatei sind die Eingabedaten aufgelistet, wie z.Bsp. DSM, DEM und Flusspolygone. Danach folgen die Ausgabedaten mit:

- Polygonnummer
- Polygonfläche [m²]
- Treffer pro Polygon
- Treffer pro m²

6.3.3 Verschneidung der Berechnungen von ArcGis mit TreesVis

Das gesamte Gebiet des Prägbachs wurde in drei kleinere Gebiete Ober-, Mittel- und Unterlauf eingeteilt. Für diese Teilstücke wurden jeweils die Berechnungen in ArcGIS und TreesVis durchgeführt. In ArcGIS waren die Parameter für diese Berechnungen:

- DEM
- mittlerer Breitenkreis des Einzugsgebietes
- Rastergröße des Himmels (200 m x 200 m, sky size)
- Berechnung für einen Tag (within a day)
- Datum: 172 Tag, 21.06.2009
- Startzeit: 0.00 Uhr
- Endzeit: 24.00 Uhr
- Stundenintervall: 0,5

Die weiteren Parameter, wie topographische Parameter und Einstrahlungsparameter, wurden nicht verändert, damit die Berechnungen ablaufen/durchlaufen konnten. Bei Veränderung der Parameter, wird eine Vielzahl von weiteren internen Berechnungen durchgeführt. Durch wahrscheinlich zu geringer Speicherleistung oder Arbeitsspeicher im Programm, kommt es dann zu Berechnungsabbrüchen.

Dieselben Teilgebiete wurden in TreesVis mit der Strahlungstrefferanzahl für die Flusspolygone einmal mit Vegetation und ohne Vegetation berechnet. Um diese beiden Ergebnisse ArcGis und TreesVis miteinander in Verbindung zu bringen. Der Grund für die Berechnung ohne Vegetation (TreesVis) ist, dass bei ArcGIS keine Vegetation berücksichtigt wird/Berücksichtigung findet.

In den Ausgabedateien von TreesVis wurde das Polygon mit der höchsten Trefferzahl pro Quadratmeter herausgesucht. Anschließend wurde dieses Polygon dann in ArcGIS mit der erstellten Einstrahlungskarte verschnitten, so dass aus der Verschneidung ein Mittelwert der Einstrahlung berechnet werden kann. Da es sich um dieselben Gebiete handelt, können sie in Bezug auf den Mittelwert der Einstrahlung und der höchsten Trefferzahl pro Quadratmeter gleichgesetzt werden. In Abbildung 6.8 ist die berechnete Einstrahlungskarte AS_Oberlauf des Prägbaches, der ausgewählte Flusspolygon und das Verschneidungsergebnis dargestellt. Der Mittelwert für diesen Verschnitt im Oberlauf beträgt 6340 W/m².

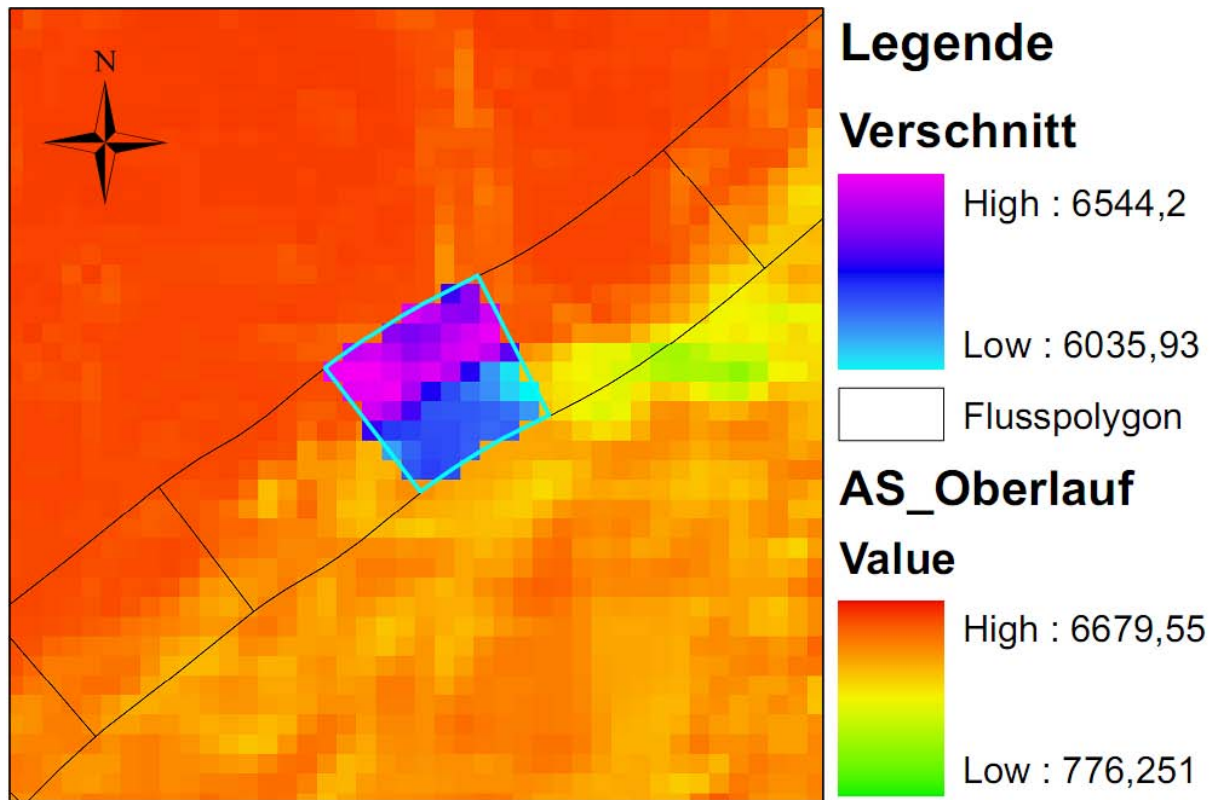


Abbildung 6.8: Einstrahlungskarte des Oberlaufes des Prägbaches

7 Ergebnisse

Im folgenden Kapitel werden im Einzelnen die Ergebnisse der Geländekartierung und der fluvialmorphologischen Untersuchungen betrachtet. Die Ergebnisse der Einstrahlung beziehen sich (exemplarisch) auf das Prägbach Untersuchungsgebiet.

7.1 Ergebnisse der Kartierung

Bei der Kartierung wurden Querprofile des Gerinnes und Baumhöhen bestimmt, in der Tabelle 7.1 werden diese aufgelistet. Die Kartierung der Köhlgartenwiese erfolgte von der Quelle zur Mündung. In ihrem Verlauf ist keine eindeutige Verbreiterung des Gerinnebettes auszumachen. Im Durchschnitt wurde eine Breite von circa 4 m gemessen. Die Baumhöhen an den Kartierabschnitten der Köhlgartenwiese lagen zwischen 12-20 m, wobei eine Tendenz zu erkennen ist. Die Abschnitte, die an einen Wald grenzen weisen höhere Baumhöhen auf, im Gegensatz zu Abschnitten mit einfacher Uferrandvegetation.

Die Kleine Wiese wurde entgegengesetzt der Fließrichtung aufgenommen im Gegensatz zu den anderen drei Gerinnen. Hier zeigt sich deutlich, wie die Gerinnebreite in Richtung Mündung sich vergrößert. Im oberen Bereich des Einzugsgebietes fließt die Kleine Wiese immer entlang von Waldflächen mit relativ hohen Baumhöhen zwischen 15-25 m.

Beim Prägbach lagen die ersten beiden Kartierabschnitte (PGB1, PGB2) nah beieinander, so ist keine Änderung der Gerinnebreite ersichtlich. Dies ändert sich beim dritten Kartierabschnitt (PGB3), wo eine deutliche Verbreiterung zu erkennen ist. Das Einzugsgebiet des Prägbaches hat von den vier betrachteten Gerinnen die höchste Höhenlage. Hier wurden Baumhöhen von vereinzelt repräsentativen Bäumen gemessen. Dabei entstand eine relativ hohe Spanne der Baumhöhen von 41,7-19,5 m. Deutlich zeigt sich eine Tendenz bei der Abnahme der Baumhöhen zwischen einzelnen Kartierabschnitten. Der Prägbach fließt beim ersten Abschnitt (PGB1) in einem engen Kerbtal, welches komplett bewaldet ist. Somit wurden dort die höchsten Werte gemessen. Mit der langsamen Weitung des Kerbtals nehmen auch die Baumhöhen im Verlauf ab.

Die Wilde Gutach zeigt ähnlich wie die Kleine Wiese, eine stetige Verbreiterung des Gerinnebettes. Die Baumhöhen waren niedriger als bei den anderen Gerinnen und lagen nur zwischen 12-15 m.

Tabelle 7.1: Ergebnisse der Feldaufnahme

Kartierabschnitt	Querprofil (Q)	Breite [m]	Baumhöhe [m]
Köhlgartenwiese (KG)			
KG 1	Q ₁	1,9	15-18
KG 1	Q ₂	3,9	
KG 1	Q ₃	3,7	
KG 1	Q ₄	3,4	
KG 2	Q ₅	4,1	18
KG 2	Q ₆	3,0	
KG 2	Q ₇	4,1	
KG 3	Q ₈	5,0	20
KG 3	Q ₉	5,9	
KG 3	Q ₁₀	5,1	
KG 4	Q ₁₁	4,6	12-15
KG 4	Q ₁₂	4,1	
KG 4	Q ₁₃	4,2	
Kleine Wiese (KLW)			
KLW 1	Q ₁	10,8	20
KLW 1	Q ₂	12,50	
KLW 2	Q ₃	7,2	25
KLW 2	Q ₄	9,5	
KLW 3	Q ₅	4,3	20
KLW 3	Q ₆	5,6	
KLW 3	Q ₇	4,2	
KLW 4	Q ₈	2,9	15
KLW 4	Q ₉	2,3	
KLW 4	Q ₁₀	3,1	
Prägbach (PGB)			
PGB 1	Q ₁	8,9	41,6
PGB 2	Q ₃	6,0	31,7
PGB 2	Q ₄	5,7	27,4
PGB 3	Q ₅	7,5	20,3
PGB 3	Q ₆	8,7	19,5
Wilde Gutach (WG)			
WG 1	Q ₁	8,1	15
WG 1	Q ₂	8,3	
WG 1	Q ₃	7,0	
WG 2	Q ₄	8,5	15
WG 2	Q ₅	12,2	
WG 2	Q ₆	7,50	
WG 3	Q ₇	8,1	12-15
WG 3	Q ₈	10,2	
WG 4	Q ₉	10,4	12-15
WG 4	Q ₁₀	10,9	

7.2 Ergebnisse der fluvialmorphologischen Berechnungen und Betrachtungen

In Tabelle 7.2 sind die Ergebnisse der insgesamt 33 Querprofile des Prägbaches aufgelistet. Für das Gerinne wurde das Minimum und Maximum, der Mittelwert und Median sowie die Standardabweichung und der Variationskoeffizient berechnet.

Tabelle 7.2: Ergebnisse aus der Auswertung der Querprofile des Prägbachs

n=33	$A_{bv}[\text{m}^2]$	$U_b[\text{m}]$	$R_h[\text{m}]$	$V_{mit}[\text{m}\cdot\text{s}^{-1}]$	$Q_{bv}[\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}]$
Minimum	0,10	3,10	0,03	0,0001	0,00001
Mittelwert	5,01	8,70	0,50	1,80	14,489
Median	4,42	9,00	0,50	0,05	0,178
Maximum	15,15	15,10	1,30	9,10	103,762
Standardabweichung	3,91	3,4	0,3	2,7	25,913
Variationskoeffizient[-]	0,78	0,4	0,6		

Aus der Kombination von Mittel- und Medianwerten sowie des Sohl- und Talgefälles ergeben sich, exemplarisch für den Prägbach, folgende Ergebnisse zu den berechneten Flussleistungen und spezifischen Flussleistungen (s. Tabelle 7.3 und Tabelle 7.4).

Tabelle 7.3: Berechnete Flussleistung des Prägbachs

Flussleistung $\Omega [\text{W}\cdot\text{m}^{-1}]$	Median Q_{bv}	Mittelwert Q_{bv}
Sohlgefälle	78,4	6375,7
Talgefälle	171,6	12960,1

Tabelle 7.4: Berechnete spezifische Flussleistung des Prägbachs

spez. Flussleistung $\omega [\text{W}\cdot\text{m}^{-2}]$	Median Q_{bv}		Mittelwert Q_{bv}	
	Median B_{bv}	Mittelwert B_{bv}	Median B_{bv}	Mittelwert B_{bv}
Sohlgefälle	9,0	9,4	735,4	765,4
Talgefälle	19,8	20,6	1610,2	1675,9

Durch die Verwendung von Mittelwert oder Median des bordvollen Abflusses und dem Sohlgefälle bzw. dem Talgefälle zeigt die Flussleistung im betrachteten Fall sehr große Spannweiten auf. Dies wird bereits aus den großen Unterschieden zwischen Median und Mittelwert ersichtlich. Weitere Ergebnisse zu den fluvialmorphologischen Berechnungen sind im Anhang A.2 aufgelistet.

Nach der in Kapitel 5.1.2 vorgestellten Berechnung des bordvollen Abflusses einzelner Querprofile, werden die für jedes Gerinne ermittelten Werte dargestellt, indem die Gerinnebreite, Gerinnetiefe, mittlere Fließgeschwindigkeit und das Breiten-Tiefen-Verhältnis gegen den bordvollen Abfluss aufgetragen werden. Dies ist am Beispiel der Köhlgartenwiese

in Abbildung 7.1 - Abbildung 7.5 dargestellt (die Abbildungen für den Prägbach und für die Kleine Wiese sind im Anhang siehe A.16-A.23).

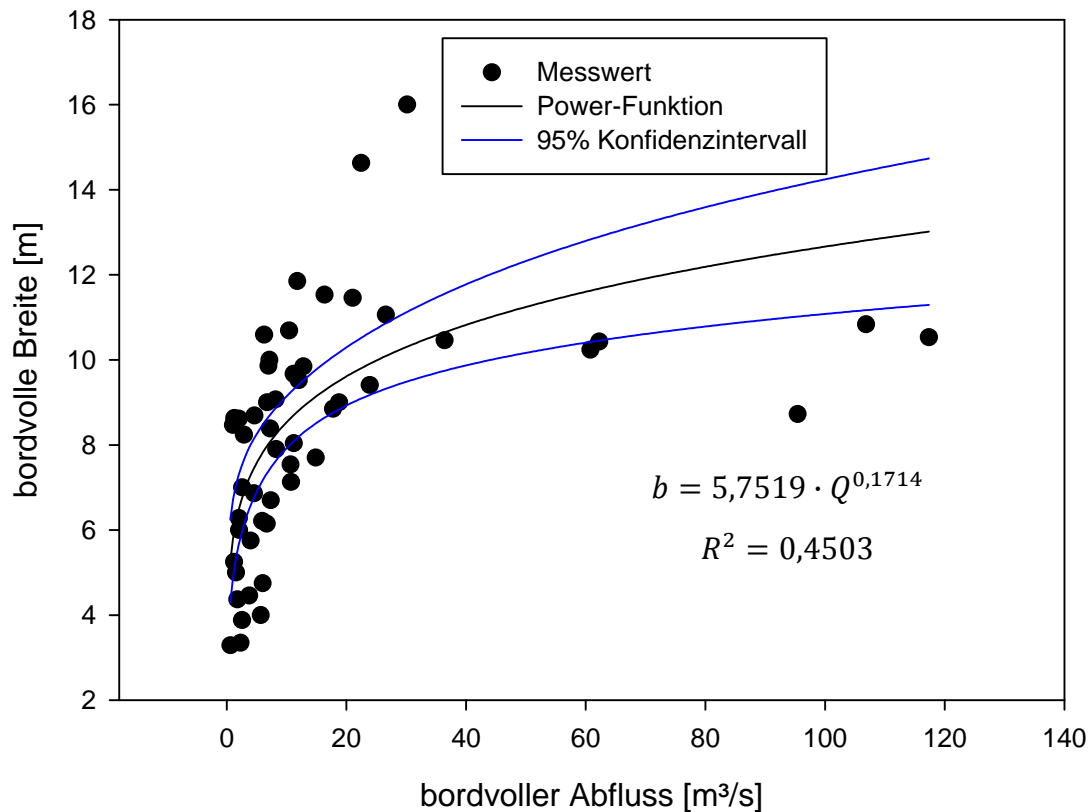


Abbildung 7.1: Zusammenhang zwischen bordvoller Breite und bordvollem Abfluss der Köhlgartenwiese

Die dargestellte Beziehung zwischen bordvollem Abfluss und bordvoller Gerinnebreite der Köhlgartenwiese in Abbildung 7.1 wurde mit Hilfe einer zwei-parametrischen Potenzfunktion (Power-Funktion) an die Wertepaare von bordvoller Breite und Abfluss angepasst. Dabei wurde ein Bestimmtheitsmaß von 0,4503 ermittelt. Ersichtlich ist bei geringen bordvollen Abflüssen von 0-20 m³/s, dass die Potenzfunktion eine höhere Anpassung hat als bei großen Abflüssen. Bis etwa 8 m der bordvollen Breite und 20 m³/s des bordvollen Abflusses sind geringe Schwankungen in den Messwerten ersichtlich. Ab circa 40 m³/s bordvollen Abfluss schwankt die bordvolle Breite bis zu 8 m.

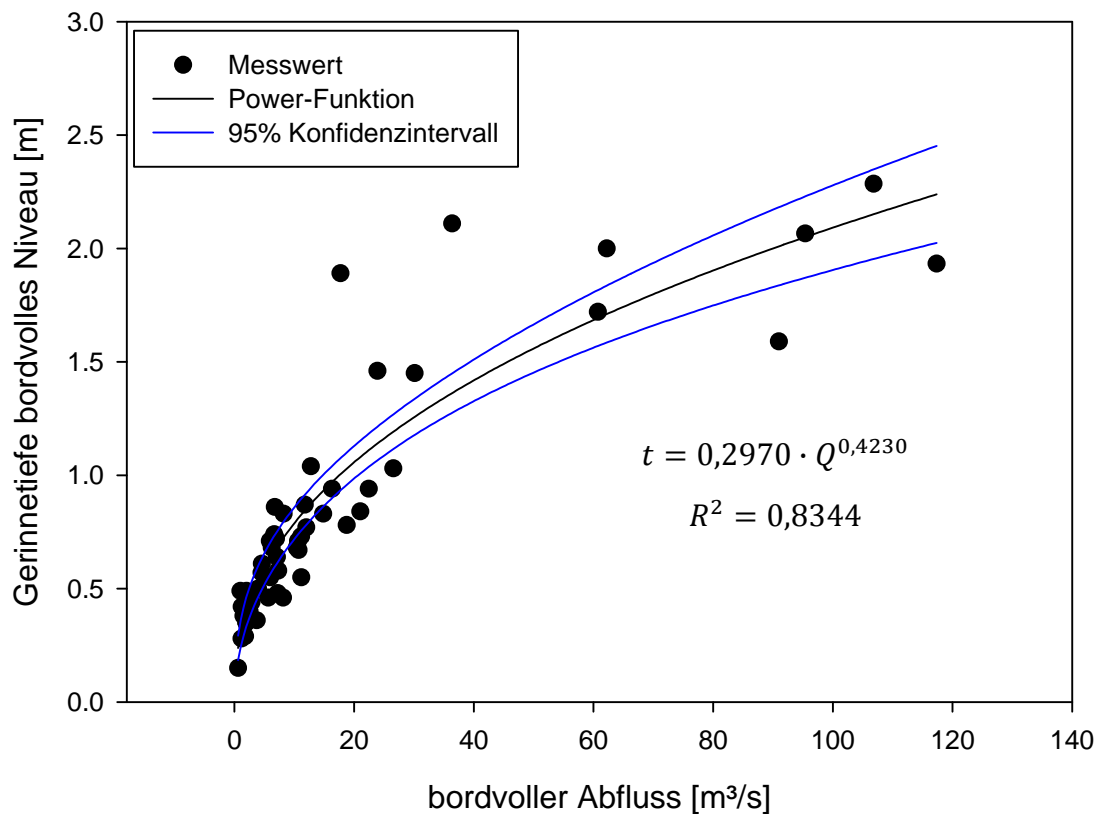


Abbildung 7.2: Zusammenhang zwischen Gerinnetiefe und bordvollem Abfluss der Köhlgartenwiese

Der Zusammenhang zwischen bordvollem Abfluss und der auf das bordvolle Niveau bezogenen Gerinnetiefe der untersuchten Gerinne (Abbildung 7.2) weist für die Köhlgartenwiese ein Bestimmtheitsmaß von 0,8344 auf. Dies gilt für das nicht-lineare Regressionsmodell, dem eine zwei-parametrische Potenzfunktion zugrunde liegt. Die Messwerte der Gerinnetiefe des bordvollen Niveaus beginnen mit Werten bei etwa 0,2 m und erreichen Werte von bis zu 2,3 m. Der bordvolle Abfluss liegt etwa zwischen 0,3 und 120 m³/s. In der Köhlgartenwiese überwiegen die kleineren Gerinnetiefen des bordvollen Niveaus bis zu 1,0 m und bordvolle Abflüsse bis etwa 30 m³/s.

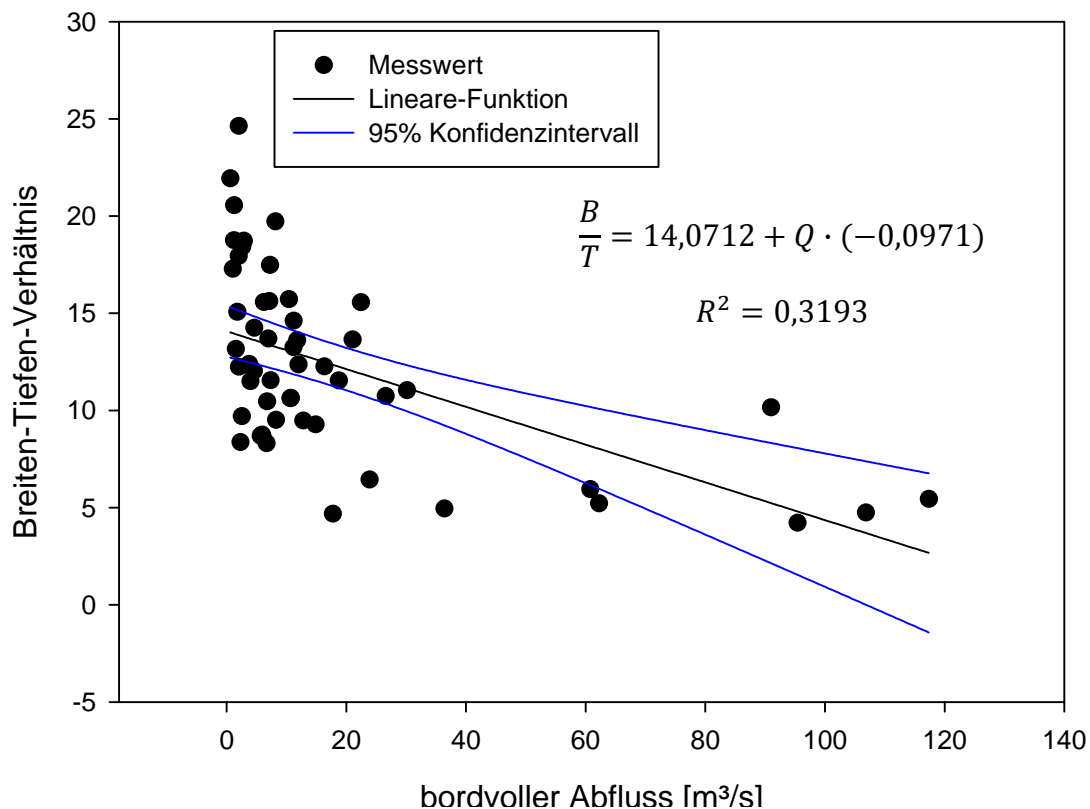


Abbildung 7.3: Zusammenhang zwischen Breiten-Tiefen-Verhältnis und bordvollem Abfluss der Köhlgartenwiese

Das Breiten-Tiefen-Verhältnis im Zusammenhang mit bordvollem Abfluss (Abbildung 7.3) zeigt ein Bestimmtheitsmaß von 0,3193 auf. Dies gilt für das lineare Regressionsmodell, da bei der 2-parametrigte Potenzfunktion ein Korrelationskoeffizienten von 0 ermittelt wurde. Ersichtlich ist, dass kleine Breiten-Tiefen-Verhältnisse eine höhere Korrelation aufweisen als große Verhältnisse. Bei niedrigen bordvollen Abflüssen bis etwa 30 m³/s ist eine hohe Schwankung der Werte des Breiten-Tiefen-Verhältnisses erkennbar. Die Schwankung liegt im Bereich von circa 8-25 m.

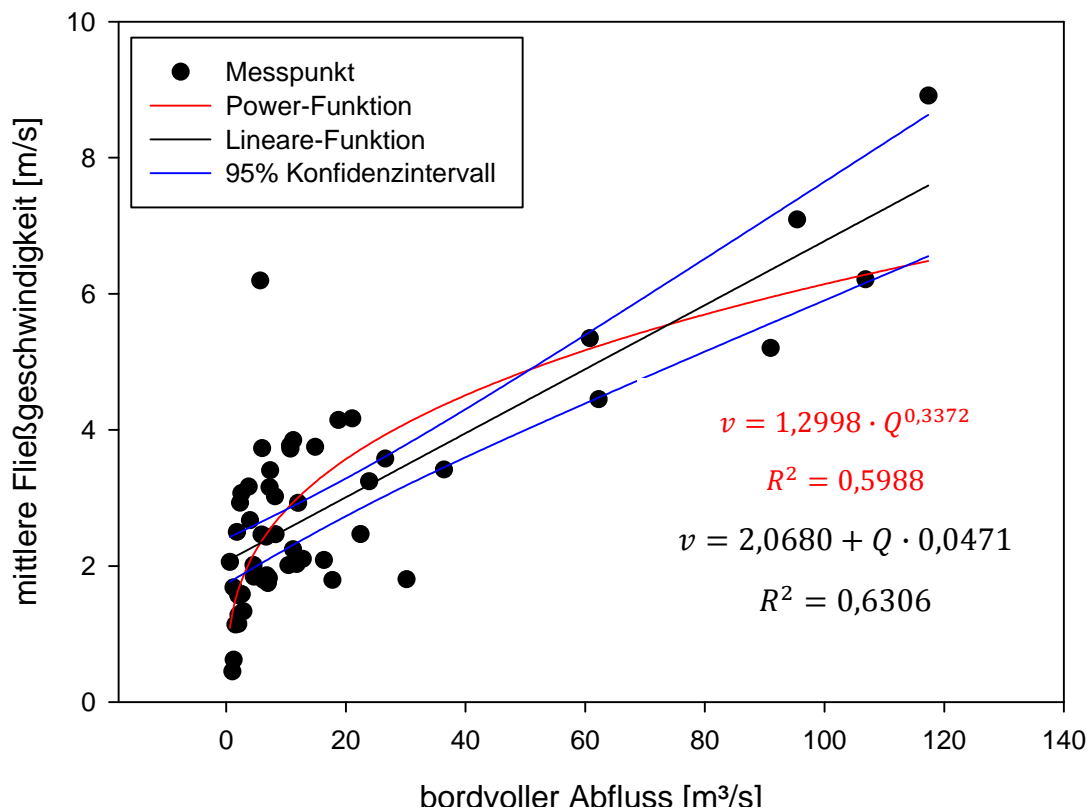


Abbildung 7.4: Zusammenhang zwischen mittlerer Fließgeschwindigkeit und bordvollem Abfluss der Köhlgartenwiese

Für den Zusammenhang der mittleren Fließgeschwindigkeit zum bordvollen Abfluss (Abbildung 7.4) wurden zwei Bestimmtheitsmaße ermittelt. Zur linearen Funktion, welche einen Wert von 0,6306 erzielt und zum anderen mit einer Potenzfunktion, welche den Wert 0,5988 erreichte. Die Messwerte der mittleren Fließgeschwindigkeit reichen von Werten von 0,5 m/s bis zu Werte von bis zu 8,9 m/s. Der bordvolle Abfluss liegt etwa zwischen 0,3 und 120 m³/s. Auch hier überwiegen die kleineren mittleren Fließgeschwindigkeiten bis zu 4m/s und bordvolle Abflüsse bis etwa 20 m³/s.

Die Sinuosität der vier untersuchten Gerinne liegt zwischen 1,35 und 1,63 (s. Tabelle 7.5). Sie wurden wie in Kapitel 5.2.1 berechnet. Nur beim Prägbach wurde das Verfahren leicht umgewandelt. Durch seine eiszeitliche Prägung hat er einen sehr untypischen Verlauf, knickt im Mittellauf um 90° nach Westen ab, welcher bei der Berechnung einen sehr hohe Sinuosität verursacht mit $P > 2$. Diesen Wert erreichen sonst Flüsse in der Ebene mit sehr geringem Gefälle. Aus diesem Grund wurde der Prägbach in zwei Abschnitte eingeteilt, für welche die Sinuosität getrennt berechnet und gemittelt wurde.

Tabelle 7.5: Sinuositäten

Gerinne	Sinuosität P
Prägbach	1,39 (gemittelt)
Köhlgartenwiese	1,55
Kleine Wiese	1,35
Wilde Gutach	1,63

Eine weitere Betrachtung, in der die Flusslauflänge einbezogen wird, ist der Zusammenhang zwischen Lauflänge und Einzugsgebietsfläche. Dabei wird auf die Beziehung zwischen kontinuierlich zunehmender Einzugsgebietsfläche und stetig ansteigender Flusslänge eingegangen. Dafür wurden die vier Gerinne mit zehn weiteren Flüssen aus dem Schwarzwald verglichen. Diese Flüsse variieren in Größe und Lauflänge. Mit der angewendeten zweiparametrischen Potenzfunktion wird ein Bestimmtheitsmaß von 0,9932 erreicht. Die Flusslauflänge wird mit L und die Einzugsgebietsfläche mit A_{EG} bezeichnet, welche in Abbildung 7.5 dargestellt ist.

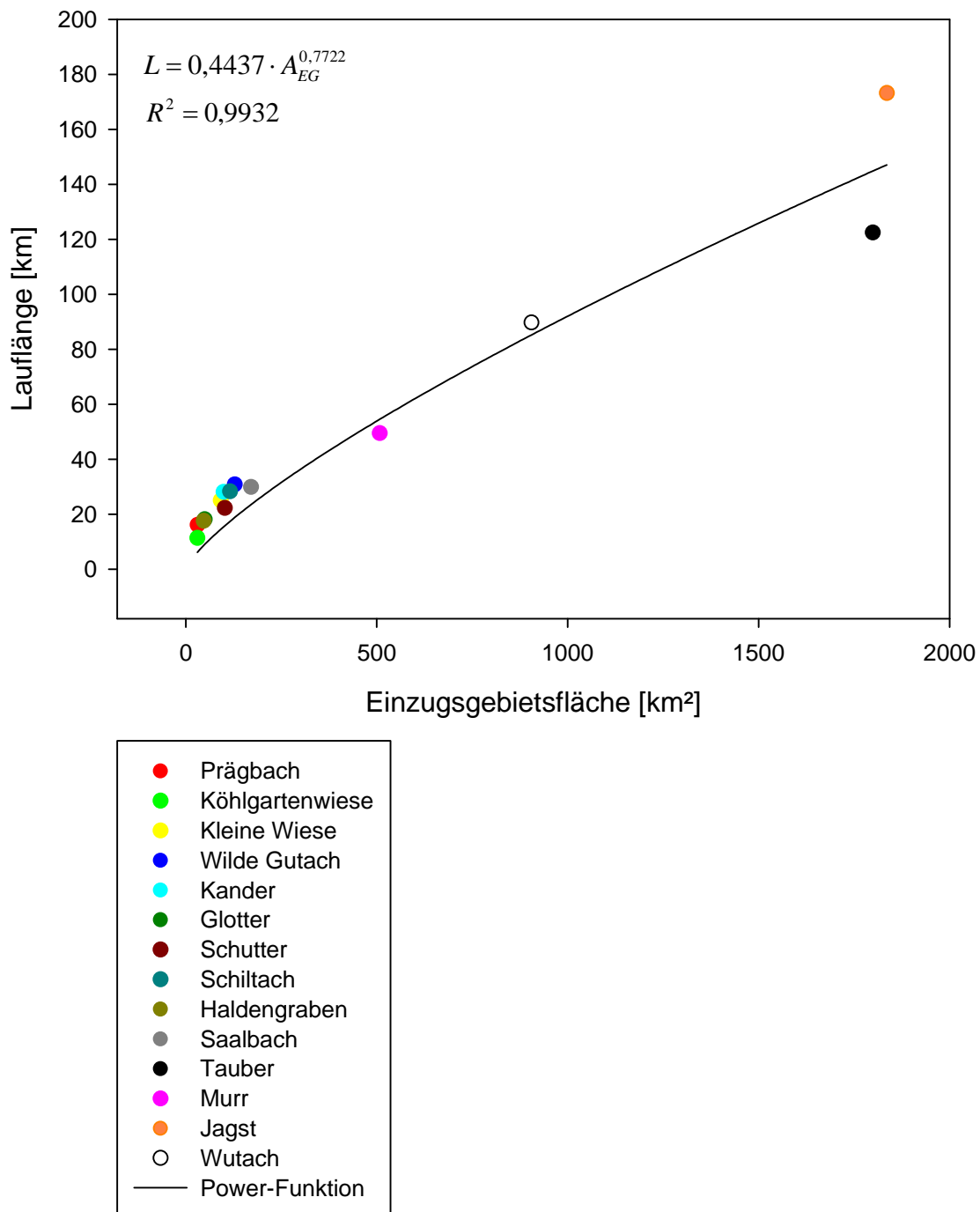


Abbildung 7.5: Zusammenhang zwischen Lauflänge und Einzugsgebietsfläche von 14 Flüssen im Schwarzwald

7.3 Ergebnisse der Einstrahlung

Durch die Verschneidung der Einstrahlungsdaten (vergleiche Kapitel 6.3.3) von ArcGIS mit TreesVis, konnte in TreesVis die Strahlentreffer pro Quadratmeter für die Einheit Watt pro Quadratmeter zugewiesen werden. In Abbildung 7.6 sind die drei Einstrahlungsergebnisse aus

ArcGIS und TreeVis gegenüber den Flusspolygonen dargestellt. Die beiden Berechnungen ohne Vegetation nähern sich einander an, im Gegensatz zur Einstrahlungsberechnung mit Vegetation. Hier ist ein deutlicher Unterschied in den Einstrahlungswerten erkennbar. In der Graphik der Einstrahlung zeigen Bereiche mit Vegetation, wie etwa von 320-400 Flusspolygone, sehr hohe Einstrahlungswerten oder Bereich, wie 80-120 Flusspolygone, Einstrahlungswerten mit Werten von 0 oder nahe 0. Die Abbildungen für den Mittellauf und Unterlauf des Prägbaches sind im Anhang unter Abbildung A.24 und A.25 zu finden.

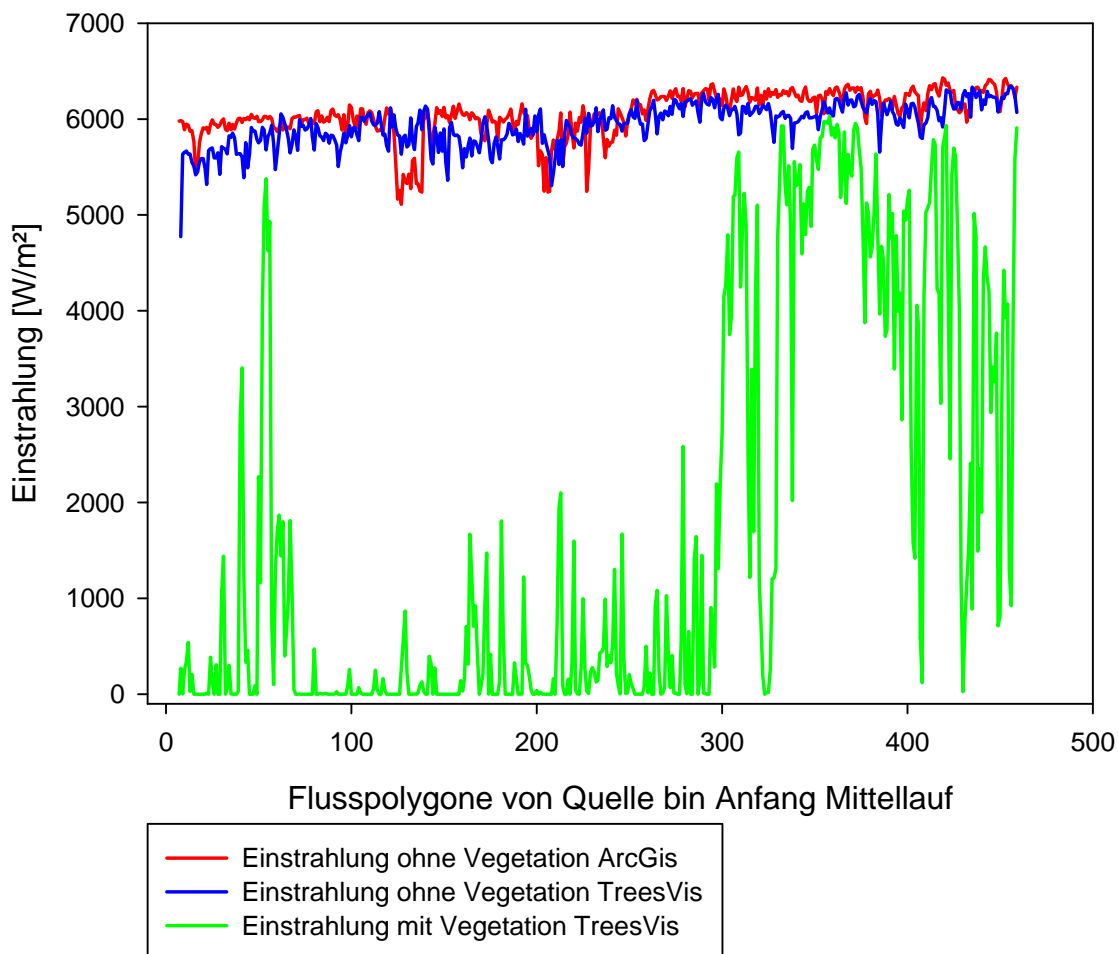


Abbildung 7.6: Einstrahlung ohne Vegetation (ArcGis), Einstrahlung ohne Vegetation (TreesVis), Einstrahlung mit Vegetation (TreesVis) gegen den Flussverlauf anhan der Flusspolygone

8 Diskussion

Im diesem Kapitel werden die Resultate aus Kapitel 7 zusammengefasst und diskutiert. Es werden zunächst die Profilbreiten der Kartierung mit denen aus ArcGIS verglichen. Im Anschluss daran wird eine Diskussion hinsichtlich der fluvialmorphologischen Berechnungen aus den gewonnenen Daten durchgeführt. Zuletzt werden die Ergebnisse der Einstrahlungsberechnungen der Programme ArcGIS und TreesVis ausgewertet und diskutiert.

8.1 Diskussion der morphologischen Kartierung

In der Abbildung 8.1 werden die gemessenen Gerinnebreiten (runde Symbole) der kartierten Flussläufe (Prägbach, Kleine Wiese, Köhlgartenwiese) mit den jeweilig ermittelten Gerinnebreiten aus ArcGIS (eckige Symbole) verglichen, indem sie gegen die Flusslängen aufgetragen werden.

Aus den Kartierungsdaten und den ArcGIS-Daten ist eindeutig ersichtlich, dass die Gerinnebreiten in GIS überschätzt werden. 84,6% der Gerinnebreiten aus ArcGIS liegen mehr als 1,5 m über den Messwerten der Kartierung. In nur zwei Fällen wurde die Gerinnebreite unterschätzt. Die Überschätzung der Gerinnebreite ist wohl auf die Erstellung des digitalen Geländemodells zurückzuführen. Für eine Rasterzelle (1x1 m) wird nur ein Höhenwert hinterlegt und somit wird das Gerinne automatisch breiter dargestellt als in der Realität. Dies führt zu einem umso größeren Fehler, je schmaler das Gerinne ist. Bei einem breiten Gerinne sollte der relative Fehler irgendwann vernachlässigbar sein. Dies wird aus der Tatsache ersichtlich, dass die absoluten Unterschiede zwischen Kartierungswerten und ArcGIS-Werten nicht im gleichen Maß steigen wie die Gerinnebreiten selbst. In der Natur kommt es in vielen Fällen zu einer starken Variation der Wasser-Land-Grenze. Das heißt die Gewässerbreite schwankt zwischen zwei Querprofilen mehr oder weniger stark, wobei die lokalen Unregelmäßigkeiten bei kleinen unregulierten Flüssen meist wesentlich stärker sind als bei breiten und regulierten Flüssen.

Im Allgemeinen wird angenommen, dass sich die Fließgewässergestalt einem gegebenen Abfluss anpasst, der den Gerinnequerschnitt genau auszufüllen vermag (KNIGHTON, 1984). Aus diesem Grund wird der effektive oder dominante, gerinneformende Abfluss auch häufig mit dem bordvollen Abfluss gleichgesetzt. Durch diese relativ großen Fehler entstehen jedoch in den anschließenden Berechnungen der mittleren Fließgeschwindigkeit und des bordvollen Abflusses teilweise sehr unrealistische Werte, wie z. Bsp. 8 m/s und 476 m³/s für die Kleine

Wiese. Dabei beträgt der HQ_2 der Kleinen Wiese 22 m³/s (Daten aus dem WABOA, 2007), welcher dem bordvollen Abfluss laut LEOPOLD ET AL. (1964) entspricht.

Die Überschätzung der Gerinnebreiten, könnte durch die Rastererzeugung systematischer Natur sein, so dass bei einer größeren Datenlage vielleicht eine empirische Fehlerkorrektur denkbar wäre, um trotzdem mit den vorhandenen LiDAR-Daten auch für kleine, schmale Gerinne aussagekräftige Ergebnisse produzieren zu können.

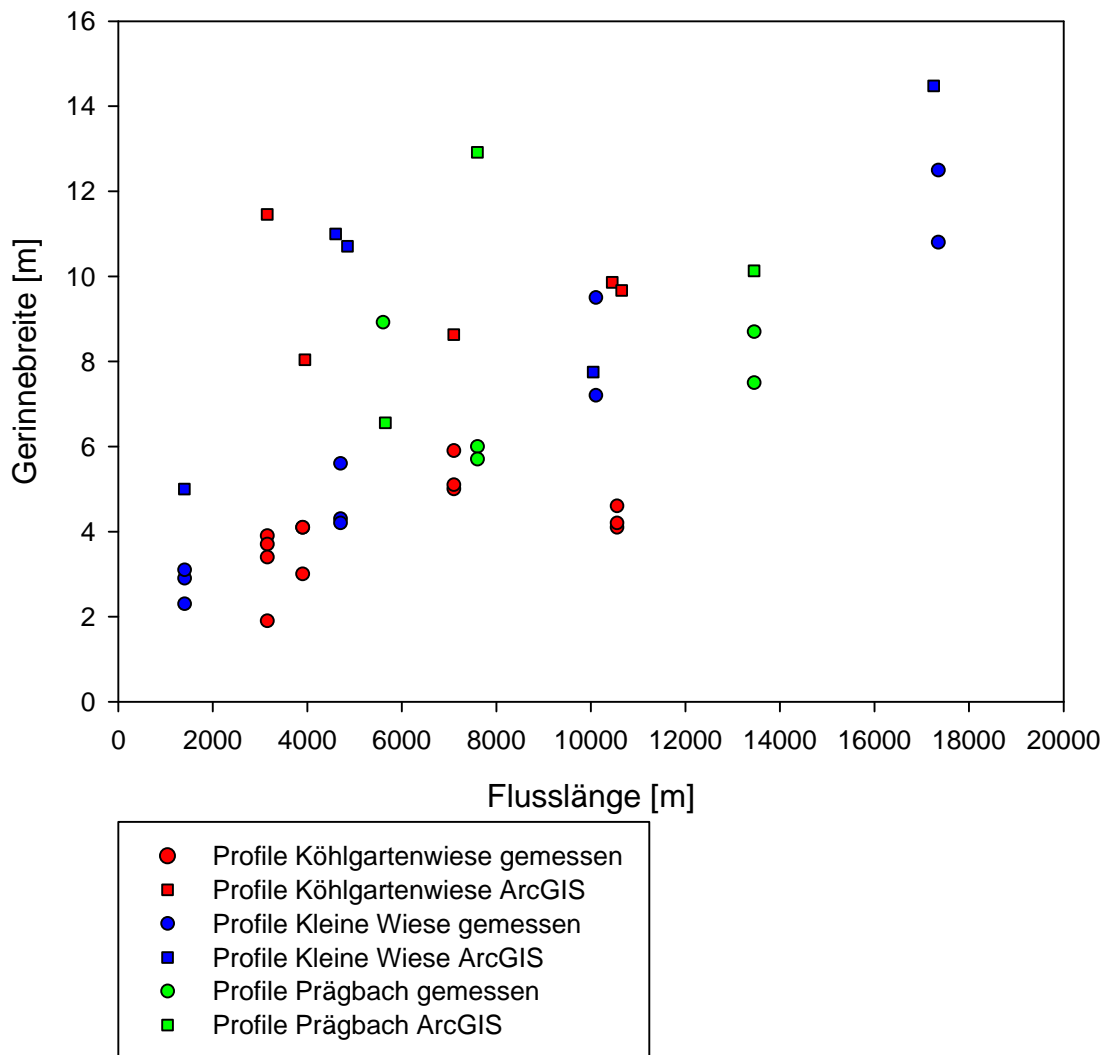


Abbildung 8.1: Vergleich von gemessenen und extrahierten Gerinnebreiten entlang der Flusslänge

In Abbildung 8.2 werden die gemessenen und extrahierten Gerinnebreiten gegenübergestellt. Bei geringen Gerinnebreiten ist eine höhere Überschätzung der Daten durch ArcGIS deutlich erkennbar. Diese haben zu Anfang einen Wert von 503%. Im Mittel werden die Daten um 108% überschätzt. Wenn die extrahierten und gemessenen Daten übereinstimmen würden, würde eine Ursprungsgerade mit einer Steigung von eins entstehen. Diese Gerade würde die Daten etwa bei einer Gerinnebreite von 10 m schneiden. Bis zu diesem Wert ist mit einer

Überschätzung der Gerinnebreiten auszugehen und es kommt bei ArcGIS ab diesem Schnittpunkt eher zu einer Unterschätzung.

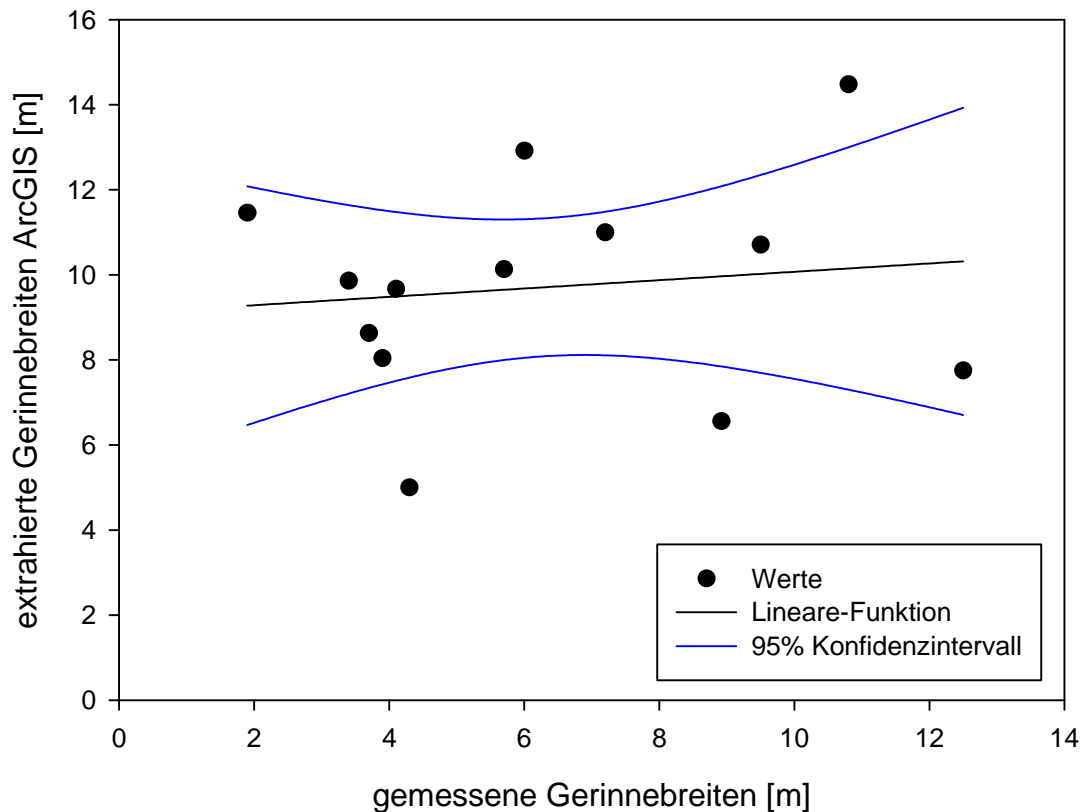


Abbildung 8.2: Gegenüberstellung der gemessenen und extrahierten Gerinnebreite

Lokale interessante Querschnittsformen wie tiefe Kolke, Flachwasserstellen oder gar inselförmige Schotterbänke können nur dann flächenmäßig korrekt aufbereitet werden, falls sich diese Details auch in den zur Verfügung stehenden Profildaten widerspiegeln.

Ein weiterer Punkt der Kartierung war die Bestimmung der Baumhöhen. Zum einen durch Messung und Schätzung im Gelände und zum anderen aus den LiDAR-Daten. In Tabelle 8.1 sind die Daten der Baumhöhen aus der Messung am Prägbach und exemplarischen Messungen im Modell aufgelistet.

Tabelle 8.1: Gemessene und extrahierte Baumhöhen am Prägbach

Kartierabschnitt	gemessene Baumhöhe [m]	extrahierte Baumhöhe [m]
PGB1	41,6	31 und 34
PGB2	27,4	24
PGB2	31,7	30
PGB3	20,3	16
PGB3	19,5	20

Die gemessenen Werte stimmen gut mit den extrahierten Werten überein. Nur der erste Messwert mit 41,6 m ist höher als die Werte aus dem Modell. Im Modell konnte jedoch nicht exakt der Baum bestimmt werden, der in der Kartierung gemessen wurde. Der Mittelwert der gemessenen Baumhöhen liegt bei 28 m mit einer Standardabweichung von 9 m und der der extrahierten bei 25 m mit einer Standardabweichung von 7 m. Dementsprechend kann man aus dem DSM die Baumhöhen für die betrachteten Gebiete gut bestimmen.

8.2 Diskussion der fluvialmorphologischen Berechnungen und Betrachtungen

In den Ergebnissen der fluvialmorphologischen Berechnungen und Betrachtungen pflanzt sich der Fehler aus der Querprofilbetrachtung fort. Aus diesem Grund sind sehr hohe Spannweiten in den berechneten Daten vorzufinden. Wie in Tabelle 7.2 des Prägbaches angegeben, beträgt das Minimum des bordvollen Abflusses $0,00001 \text{ m}^3/\text{s}$ und das Maximum $103 \text{ m}^3/\text{s}$. Beide Werte entsprechen nicht dem HQ_2 , welcher laut WABOA (2007) bei $19,32 \text{ m}^3/\text{s}$ an der Mündung des Prägbaches liegt. Unter der Annahme einer konstanten Abflussspende verringert sich dieser Wert entsprechend für flussaufwärts liegende Profile. Diese Schwankungen sind auch bei der Köhlgartenwiese in ähnlicher Dimension und der Kleinen Wiese in viermal höherer Dimension vorzufinden. Die schwierige Feststellung der Uferbegrenzungen in GIS verursacht diese großen Fehler. Begrenzt werden könnten die Fehler ein wenig, indem an nicht bewaldeten Abschnitten Orthophotos der Gerinne hinzugezogen würden. Eine andere Möglichkeit wäre, an den gewählten Profilen den HQ_2 als Hilfe anzusetzen, um auf den vorherrschenden Wasserstand bei bordvollem Abfluss zu schließen.

Die berechnete Flussleistung der betrachteten Gerinne ist auch, auf Grund der oben genannten Fehler, von den durchschnittlichen Werten abgewichen. Auch in der Studie von HARNISCHMACHER (2002) wurden sehr große Spannen für die Flussleistung und die spezifische Flussleistung errechnet. Untersucht wurden Bäche mit unterschiedlichen Gefällen. Vier Wertebeispiele aus seiner Studie für enge Kerbsohlen- und Kerbtalbach des Sauer- und Siegerlandes werden zum Vergleich in Tabelle 8.2 aufgelistet.

Tabelle 8.2: Werte der Flussleistung und spezifischen Flussleistung

Gerinne	Talgefälle [%]	Flussleistung [W/m]	Spezifische Flussleistung [W/m ²]
Bommecke	12,1	2294	891
Hallenbach	10,6	48129	5604
Jentmecke	6,0	1714	465
Seitenbach	9,8	5231	1522

Die Flussleistung wurde bei HARNISCHMACHER (2002) aus dem Mittelwert Q_{bv} und dem Sohlgefälle berechnet. In die spezifische Flussleistung flossen die Flussleistung und der Mittelwert der bordvollen Gerinnebreite B_{bv} ein.

Je nach Verwendung von Mittelwert oder Median des bordvollen Abflusses und des Sohl- oder Talgefälles, kann die Flussleistung im betrachteten Fall des Prägbaches Werte zwischen 78 und 13960 W/m annehmen, die spezifische Flussleistung zwischen 9 und 1675 W/m². Diese Spannweiten werden angesichts der bereits relativ großen Unterschiede zwischen Median und Mittelwert des bordvollen Abflusses (s. Tabelle 7.2) verständlich. Die Unterschiede zwischen Median und Mittelwerte folgen aus der Schiefe der Verteilung der Gefällewerte und somit des daraus berechneten Abflusses. Der Prägbach hat ein Talgefälle von 9,8% und ist somit gut mit dem Seitenbach aus der Tabelle 8.2 vergleichbar. Beim Vergleich der berechneten Wertepaare Mittelwert Q_{bv} und Sohlgefälle für die Flussleistung und den Mittelwert B_{bv} für die spezifische Flussleistung, beträgt die Flussleistung des Prägbachs 6375 W/m und die spezifische Flussleistung 765 W/m², im Gegensatz zum Seitenbach mit einer 22% höheren Flussleistung und einer 52% niedrigeren spezifischen Flussleistung. Dieser niedrigere Wert ist auf eine geringere mittlere bordvolle Breite zurückzuführen.

8.2.1 Diskussion der Zusammenhänge der Querschnittsform

Das Verfahren der sogenannten „hydraulischen Geometrie“ haben LEOPOLD & MADDOCK (1953) (in AHNERT, 1996) entwickelt. Im Mittelpunkt stehen dabei die Komponenten der Abflussgleichung Q , B ; T und v , wobei Q der Abfluss, B die Gerinnebreite, T die Gerinnetiefe und v die mittlere Fließgeschwindigkeit im Querschnitt ist. B und T sind geometrische Größen. Ihr Produkt ergibt die Querschnittsfläche des Gerinnes. V enthält die in einer Sekunde zurückgelegte Weglänge. In einer Flussstrecke ohne zusätzliche Wasserzufuhr und ohne Wasserverlust bleiben der Abfluss und das Produkt aus BT und v konstant. Die Änderung einer Komponente bedingt daher eine kompensierende Veränderung der anderen Komponenten. Die Abhängigkeit der Querprofilgeometrie vom Abfluss lässt sich mittels der von LEOPOLD & MADDOCK (1953) entwickelten drei Potenzfunktionen ausdrücken. Diese sind in den Abbildungen zur fluvialmorphologischen Berechnungen und Betrachtung in Kapitel 7.2 als Power-Funktion enthalten.

Die daraus entstanden Zusammenhänge zwischen bordvoller Breite und bordvollem Abfluss (s. Abbildung 7.1, Abbildung A. 16 und Abbildung A. 20) zeigen nur geringe Korrelationen zwischen 0,41 und 0,45 des Bestimmtheitsmaßes R^2 . In Studien von HICKIN (1996) und HARNISCHMACHER (2002) wurden Korrelationskoeffizienten von 0,9 für die bordvolle Gerinnebreite erreicht. Dieser Unterschied ist auf die Datenerhebung zurückzuführen. Bei HARNISCHMACHER (2002) zum Beispiel wurden an allen Untersuchungsstrecken die Gerinnebreiten vermessen.

Einen besseren Zusammenhang zwischen bordvoller Gerinnetiefe und bordvollem Abfluss konnte aus den gewonnenen Daten ermittelt werden. Die Köhlgartenwiese und die Kleine Wiese zeigen Werte von 0,83 und 0,77 (R^2), dahingegen weicht der Prägbach ab mit einem Bestimmtheitsmaß von lediglich 0,47. Beim Prägbach ist dies auf hohe Gerinnetiefen mit geringem bordvollem Abfluss zurückzuführen (Abbildung A. 17). Im Gegensatz dazu ist bei

den Wieseflächen (Kleine Wiese und Köhlgartenwiese) ein kontinuierlicher Anstieg in der Gerinnetiefe gegenüber dem bordvollen Abfluss ersichtlich.

Das Ergebnis des Zusammenhangs zwischen Breiten-Tiefen-Verhältnis und bordvollem Abfluss entspricht nicht den Erwartungen. Im Allgemeinen haben die untersuchten Gerinne Anfangs ein geringes Breiten-Tiefen-Verhältnis, da sie sich tief ins Tal einschneiden und nur geringe Breiten entwickelten. Im Normalfall vergrößert sich im Verlauf eines Gerinnes die Gerinnebreite, während die Gerinnetiefe nicht im gleichen Maße zunimmt, so dass das Breiten-Tiefen-Verhältnis größere Werte annehmen müsste. Der Zusammenhang zwischen Breiten-Tiefen-Verhältnis und bordvollem Abfluss, sollte daher einen positiven Trend aufweisen und nicht wie in Abbildung 7.3 einen negativen Trend. HARNISCHMACHER (2002) konnte einen positiven Trend für diesen Zusammenhang darstellen, welcher nach den allgemeinen Bedingungen auch als sinnvoll erscheint. Dieser negative Trend wurde auch für den Prägbach und die Kleine Wiese berechnet. Warum ist dieser Trend negativ? Ein Grund könnte die Überschätzung der Gerinnebreite sein, denn dadurch wird ein höherer Abfluss berechnet. Ein weiterer Grund könnte die Ungenauigkeit des DEMs sein. Diese Ungenauigkeit liegt bei 25 cm für jeden Punkt, diese Ungenauigkeit nimmt bei schwierigen Reliefverhältnissen, wie in Kerbtälern zu und kann Ungenauigkeiten über 50 cm erreichen. Dieser Fehler wirkt sich unmittelbar auf die berechnete Gerinnetiefe aus. Wenn diese Fehler der Überschätzung und der Ungenauigkeiten wirken und diese ausgeglichen werden könnten, dann würde sich der Gradient vielleicht verschieben. Insgesamt ist der Zusammenhang mit dem Breiten-Tiefen-Verhältnis doppelt und der bordvolle Abfluss sogar dreifach fehlerbehaftet.

Für den Zusammenhang der mittleren Fließgeschwindigkeit und des bordvollen Abflusses wurden die Lineare-Funktion und die Power-Funktion verwendet. HICKIN (1996), LEOPOLD ET AL. (1964) und KNIGHTON (1984) benutzten für diesen Zusammenhang die zwei parametrische Potenzfunktion. Nur HARNISCHMACHER (2002) und (2007) verwendete zusätzlich eine lineare Regression. Der lineare Zusammenhang ergibt zwar einen höheren Korrelationskoeffizienten und Bestimmtheitsmaß, ist aber nicht sinnvoll, da der Abfluss das Produkt aus der Fließgeschwindigkeit und der durchflossenen Fläche darstellt. Somit ist die durchflossene Fläche gleich der Quotient aus Abfluss und Fließgeschwindigkeit. Daraus folgt, dass die Steigung dieser Geraden dem Kehrwert des durchflossenen Querschnitts entspricht. Beim linearen Zusammenhang bedeutet das also, dass die Querschnittsfläche als durchgehend konstant angenommen wird. Die Power-Funktion zeigt dahingegen eine kontinuierlich steigende Querschnittsfläche an. Sie ist sinnvoller, trotz schlechterer Korrelation, weil sie bei großen Abflüssen einen abflachenden Verlauf hat. Der Prägbach weist den höchsten Korrelationskoeffizienten und Bestimmtheitsmaß mit 0,95 und 0,90 auf (siehe Abbildung A. 19).

8.2.2 Diskussion der Linienführung mit der Sinuosität

Generell nimmt die natürliche Gleichgewichtskrümmung mit abnehmendem Talgefälle zu. Die Sinuosität hat bei den Gebirgsbächen die Form einer leichten und zumeist sehr gleichmäßigen Laufschrägelung (s. Abbildung 8.3). Die Mittelgebirgsbäche bilden je nach Talgefälle und Talform gestreckte oder auch weit ausholende Krümmungen (NADOLNY, 1994).

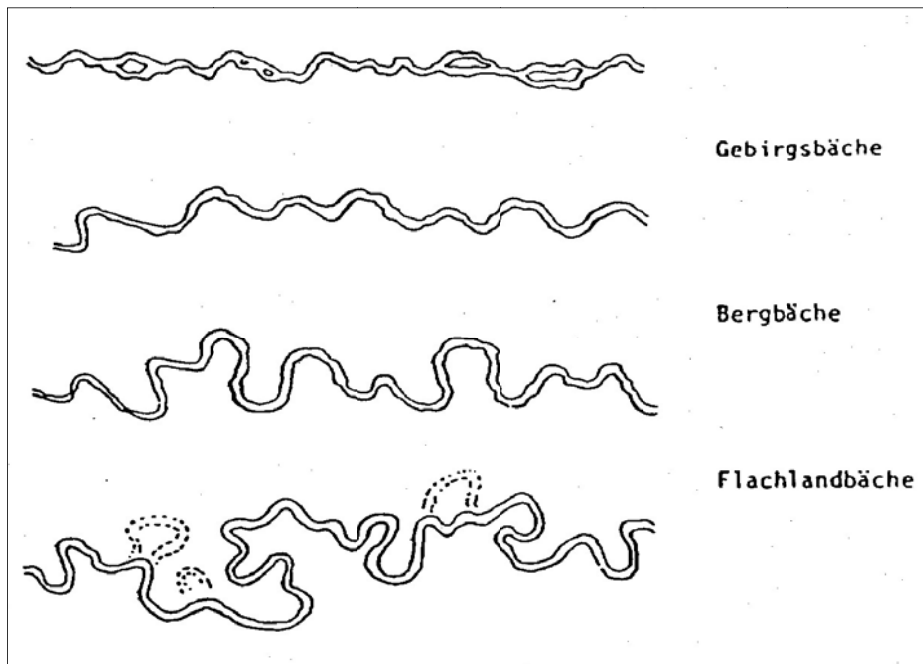


Abbildung 8.3: Typische Grundmuster der Sinuosität bei Gebirgsbächen, Mittelgebirgsbächen und Flachlandbächen (OTTO, 1991)

Die Sinuosität ist sehr von der betrachteten Skale abhängig. Üblich ist es sie über das gesamte Einzugsgebiet zu betrachten. Insgesamt muss die betrachtete Skale größer als die einzelnen Mäander sein, aber kleiner als z.Bsp die durch Gebirge vorgegebenen Schleifen und Knicke (s. Prägbach). Für die Kleine Wiese, die Köhlgartenwiese und die Wilde Gutach wurde das klassische Verfahren angewendet. Einzig der Prägbach wurde wegen seiner speziellen Form in mehrere Abschnitte eingeteilt. Für die einzelnen Abschnitte wurde die Sinuosität berechnet und gemittelt. Sie stimmte mit der Berechnung der Sinuosität, indem der Prägbach nur in zwei Abschnitte eingeteilt wurde, überein.

Als letzten Punkt soll der Zusammenhang der Lauflänge zur Einzugsgebietsfläche diskutiert werden. Nach LEOPOLD ET AL. (1964) kann mittels dieses Zusammenhangs die Lauflänge bestimmt werden, welche einen Quadratkilometer der Einzugsgebietsfläche entwässert. Für die vier Gerinne ergab sich, dass 1,22 km Lauflänge einen Quadratkilometer der Einzugsgebietsfläche entwässern (s. Abbildung A. 24). Der Exponent ermöglicht eine Aussage über die Form des Einzugsgebietes. Bei zunehmender Einzugsgebietsgröße ist das Einzugsgebiet eher langgestreckt und liegt über 0,5. Bei 0,5 wäre das Einzugsgebiet bei zunehmender Größe immer noch formgleich. Die Tatsache, dass er jedoch größer als 0,5 ist, bedeutet, dass die Länge des Einzugsgebietes schneller wächst als die Breite. Daraus folgt,

dass das Einzugsgebiet zunehmend langgestreckter wird. Denn, im Allgemeinen nimmt die Einzugsgebietslänge schneller zu als die Einzugsgebietsbreite. Durch das Einbeziehen von zehn weiteren Schwarzwaldflüssen hat sich dieser Zusammenhang stark verändert. Die Lauflänge, welche einen Quadratmeter entwässert, hat sich um 64% verringert. Vermutlich spielt hier die Geologie eine wichtige Rolle, sowie hydroklimatische Bedingungen, wie Niederschlag, Verdunstung, Luftfeuchte und Temperatur.

8.3 Diskussion der Einstrahlung

Die Einstrahlungswerte, die mit ArcGIS ermittelt wurden liegen im Mittel 7% über den Einstrahlungswerten, die mit TressVis ermittelt wurden. Dies ist auf die beiden unterschiedlichen Berechnungsalgorithmen zurückzuführen. In ArcGIS werden die direkte und die diffuse Sonneneinstrahlung in der Berechnung der Einstrahlung berücksichtigt. In TreesVis wird ein vereinfachter Berechnungsalgorithmus verwendet, der allein die direkte Einstrahlung betrachtet. Die Verfahren haben dementsprechend Vor- und Nachteile. Der größte Vorteil für den vereinfachten Berechnungsalgorithmus ist die Rechenzeit. ArcGIS benötigt für die gleichen Gebiete mit denselben Parametern eine 15-fache höhere Rechenzeit als TreesVis. Ein weiterer Punkt der für TreesVis spricht ist eine einfache Erzeugung des DSM. In ArcGIS könnte ein DSM auch erzeugt werden, aber um es in die Berechnung der Einstrahlung einfließen zu lassen, müsste es erst aufwendig mit dem DEM verschnitten werden. Der Grund dafür ist, dass in der Berechnung der Einstrahlung nur ein Geländemodell Berücksichtigung findet. In TreesVis können zwei Geländemodelle gleichzeitig berücksichtigt werden.

Aufgrund der Berechnung, dass die Vegetationsoberfläche als undurchlässig angenommen wird, erhalten einige Flusspolygone den Einstrahlungswert 0. Dies könnte schon eine richtige Betrachtung sein, wenn man bedenkt, dass schmale Gerinne, die durch einen Wald und in einem engen Kerbtal fließen, von den Kronen der Bäume komplett überspannt werden. So erreicht die direkte Sonneneinstrahlung nicht den Erdboden.

Aus der Abbildung 7.6 sind die Bereiche der Flusspolygone gut erkennbar, welche viel oder wenig Vegetation vorweisen. Somit können Bereiche eingegrenzt werden an denen es zu einer potentiellen Erwärmung des Gewässers kommt.

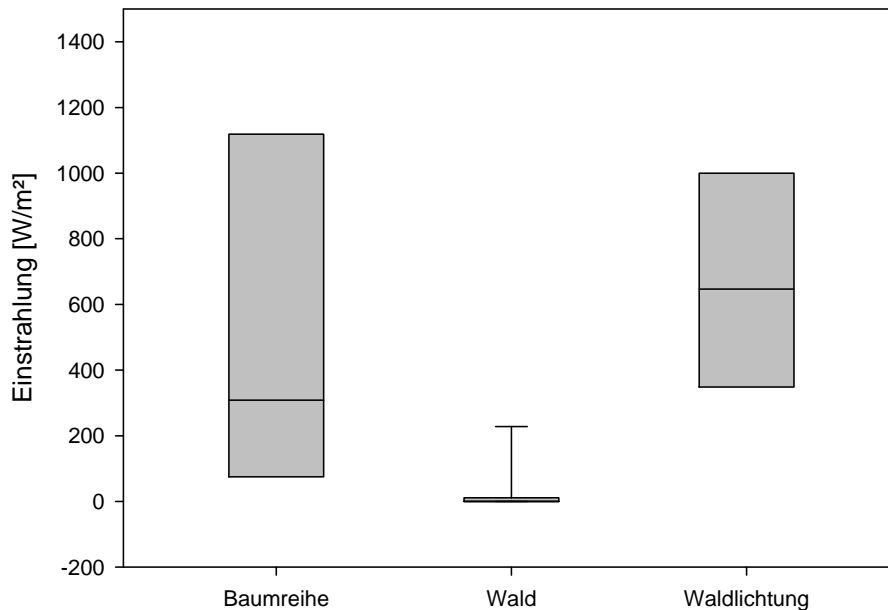


Abbildung 8.4: Einstrahlungswerte an den drei Kartierabschnitten PBG1-PBG3 des Prägbaches (von rechts nach links)

Zur weiteren Betrachtung der Einstrahlungswerte mit den Vegetationsinformationen werden die einzelnen Einstrahlungswerte an den kartierten Gerinneabschnitten des Prägbaches in Abbildung 8.4 aufgetragen. Der erste Kartierabschnitt PGB1 liegt im Kerbtal an einer Lichtung, welche durch eine Straße 10 m neben dem Gerinne verläuft. Durch diese Öffnung der Vegetationsdecke ist eine Einstrahlung mit den Werten von etwa 300-1000 W/m² möglich. Ein völlig anderes Bild zeigt der zweite Kartierabschnitt PGB2, welcher ganz im Wald liegt. Hier liegen die Werte zum größten Teil bei 0 oder nahe 0. Ein Ausreißer ist in diesem Bereich zu beobachten und zwar liegt dieser circa bei 230 W/m². Dies bedeutet, dass auch in Waldgebieten mit dichter Kronenbedeckung die direkte Sonneneinstrahlung bis zum Erdboden vordringen kann oder jedoch, dass der Wald sich dort etwas gelichtet hat. Am dritten Kartierstandort ist auf beiden Seiten entlang des Gerinnes eine Baum-Strauchreihe vorzufinden. Ihre Breite beträgt circa 1,5-2 m bei einer Höhe bis zu 20 m. In diesem Abschnitt ist die größte Spannweite der Einstrahlung zu erwarten. Sie reicht von 50 W/m² bis circa 1150 W/m². Dies bedeutet, dass auch eine dichte Ufervegetation die direkte Sonneneinstrahlung stark beeinflussen kann, indem eine hohe Beschattung des Gerinnes verursacht wird. Hohe Schwankungen in den Werten sind darauf zurückzuführen, da die Ufervegetation nicht so eine große Kronenbedeckung bewirken kann wie ein Wald.

Ein Problem bei der Zusammenführung der Daten aus ArcGis und der Daten aus TreesVis ist, dass für jeden Abschnitt die Werte neu normiert werden mussten. Ein Ansatz wäre, den höchsten Trefferwert/m² von allen Abschnitten für die Normierung der gesamten Einstrahlungswerte zu verwenden. Dieser Ansatz könnte in weiterführenden Untersuchungen betrachtet werden.

9 Fazit

Ausgangspunkt der vorliegenden Arbeit war die Fragestellung, ob sich die flugzeuggetragenen Laserscannerdaten zur Erkennung von fluvialmorphologischen Größen eignen. Eine weitere Aufgabe war die Information über Vegetation in die Einstrahlungsberechnung einfließen zu lassen. Um dieser Fragen nachzugehen, wurden verschiedene Methoden und Algorithmen entwickelt und angewendet.

Die Eignung von flugzeuggetragenen Laserdaten zur Erkennung von Gerinnebreiten und Gerinnetiefen kann nur bedingt bestätigt werden. Bei der Betrachtung der Gerinnebreiten wurde eine Überschätzung für die untersuchte Skale festgestellt. Damit das Ziel, eine Begehung der Gebiete zu vermeiden, erreicht wird, müsste untersucht werden, ob diese Überschätzung systematischen Ursprungs ist, um dann eine Korrekturfunktion für diesen Fehler zu finden. Eine weitere Möglichkeit wäre die vorhandenen Daten aus dem WABOA (2007) für Kontrollberechnungen an einzelnen Profilen im Gerinne durchzuführen.

Berechnungen zur hydraulischen Geometrie und die daraus entwickelten Zusammenhänge spiegeln im Allgemeinen Aussagen aus anderen fluvialmorphologischen Untersuchungen wieder. Zu diesen zählen die Aussagen, dass positive Zusammenhänge zwischen bordvoller Gerinnebreite, bordvoller Gerinnetiefe zum bordvollen Abfluss bestimmt werden konnten. Nur das Breiten-Tiefen-Verhältnis zeigt nicht das typische Verhalten, welches auf die Fehler aus der Extraktion der Gerinnebreite und Gerinnetiefe aus dem DEM zurückzuführen ist. Probleme in der Betrachtung bereitete teilweise eine zu genaue oder fehlerhafte Darstellung der Erdoberfläche. Aus den LiDAR-Daten wird jede Brücke und jeder Steg der über das Gewässer führt abgebildet. Diese werden dann als Geländeoberkante betrachtet und führen daher zu fehlerhaften Berechnungen der Gerinneläufe. Große Brücken verursachen diese Fehler nicht, da das LVA diese schon herausgerechnet hat. Die kleinen Brücken wurden bei der Überarbeitung des Geländemodells nicht berücksichtigt. Eine Lösung dieses Problems wären halbautomatische und automatische Modellberechnungen zur Findung des tiefsten Punktes im Gelände.

Die Sinuosität ist in der Fluvialmorphologie ein wichtiger Parameter der Linienführung und kann schnell und gut aus den LiDAR-Daten bestimmt werden. Über die Linienführung der Gerinne können so gute Aussagen getroffen werden.

Aus den LiDAR-Daten können aussagekräftige DSMs erstellt werden, mit denen weitere Berechnungen zur Einstrahlung durchgeführt werden können. So konnten mit TreesVis einige Aussagen zur Einstrahlung mit Vegetationsinformationen getroffen werden. Diese müssten durch weitere Untersuchungen, wie z. Bsp. durch direkte Messungen der Einstrahlung im

Gelände mit unterschiedlicher Vegetation (Wald, Baumreihen, Sträucher und Wiese) quantifiziert werden. Die Einstrahlungsberechnung in ArcGIS ist sehr zeitintensiv. Für ein Gebiet von etwa 3x3,5 km wird eine Rechenzeit von 25 h benötigt. Der Berechnungsalgorithmus ist sehr genau, daher auch sehr anfällig. Der Prägbach hat eine Einzugsgebietsfläche von 30 km², wenn das DEM als Berechnungsgrundlage genutzt wird, kann ArcGIS es nicht berechnen und gibt eine Fehlermeldung wegen zu wenig Speicher aus. Aus diesem Grund wurde an verschiedenen Computern mit unterschiedlichen Systemvoraussetzungen das Programm getestet. Das Testergebnis war, dass es nicht am Arbeitsspeicher liegen kann, sondern intern im Programm ein Speicherproblem auftritt. Die Firma ESRI gibt an, dass bei DEMs kleiner 30x30 m Probleme in der Berechnung auftreten und es zu sehr langen Rechenzeiten kommt. TreesVis hat dagegen denselben Ausschnitt innerhalb von 3h und weniger berechnet. Das Berechnungstool in ArcGIS als auch in TreesVis könnten weiterentwickelt werden, um eine bessere Nutzung zu ermöglichen.

Von Vorteil wäre in ArcGIS eine Möglichkeit, ein zweites Geländemodell auszuwählen. In TreesVis könnte noch die Berechnung für Stundenwerte implementiert werden. Ein weiterer Aspekt der verändert oder weiterentwickelt werden könnte, ist, dass das DSM bei der Einstrahlungsberechnung nicht als undurchlässig angesehen wird, sondern teilweise eine Durchlässigkeit angegeben werden könnte. Die Probleme, die im Programm ArcGIS aufgetreten sind, sollten mit frei zugänglicher GIS-Software, wie SAGA gelöst werden. Doch auch dies erwies sich nicht als Lösung, da bei SAGA, wie schon bei ArcGIS Speicherprobleme auftraten. Ein weiteres Problem für SAGA waren die Dateigrößen der DEMs, so dass es schon zu Komplikationen bei der Darstellung der Einzugsgebiete kam. Aus dieser Gegebenheit könnte man noch weitere frei zugängliche GIS-Software, wie GRASS-GIS und Quantum-GIS ausprobieren.

Schlussfolgernd kann man sagen, dass das in TreesVis entwickelte Tool einen guten Anfang darstellt um die Einstrahlung relativ schnell und effizient zu berechnen und so später in den WABOA mit implementiert werden kann.

10 Literatur

ABTEILUNG LANDESBESCHREIBUNG DES STAATSARCHIVES FREIBURG I. BR., 1994

ABTEILUNG LANDESBESCHREIBUNG DES STAATSARCHIVES FREIBURG I. BR.: Kreisbeschreibung des Landes Baden-Württemberg – Der Landkreis Lörrach. Hrsg. Landesarchivdirektion Baden-Württemberg in Verbindung mit dem Landkreis Lörrach, Jan Thorbecke Verlag, Sigmaringen, 972 S., 1994

AHNERT, 1996

AHNERT, F.: Einführung in die Geomorphologie. Stuttgart, 440 S., 1996

BAGNOLD, 1966

BAGNOLD, R.A.: An approach to the sediment transport problem from general physics. In: Geological Survey Professional, Paper 422-1, S. 37, 1966

BAUMGARTNER & LIEBSCHER, 1996

BAUMGARTNER, Albert ; LIEBSCHER, Hans-Jürgen: Allgemeine Hydrologie – Quantitative Hydrologie. (Lehrbuch der Hydrologie, Band 1). 2. Gebr. Borntraeger, Berlin-Stuttgart, 694 S., 1996

COMITI ET AL., 2009

COMITI, F., CADOL, D., WOHL, Ellen E.: Flow regimes, bed morphology, and flow resistance in self-formed step-pool channels. In: Water Resources Research, Vol. 45, W04424, doi:10.1029/2008WR007259, 2009

DUBAYAH & RICH, 1995

DUBAYAH, R., RICH, Paul M.: "Topographic solar radiation models for GIS" In: International Journal of Geographic Information Systems Vol. 9, S.405-419, 1995

FU & RICH, 1999a

FU, Pinde, RICH, Paul M.: Design and implementation of the Solar Analyst: an ArcView extension for modeling solar radiation at landscape scales. Proceedings of the Nineteenth Annual ESRI User Conference, 52 S., 1999

FU & RICH, 1999b

FU, Pinde, RICH, Paul M.: TopoView, Version 1.0 Manual. Helios Environmental Modeling Institute (HEMI), USA, 52 S., 1999

GAJSKI, 2004

GAJSKI, Dubravko: Rasterbasierte Geländeoberflächenanalysen. Technischen Universität Wien, Dissertation, 167 S., 2004

GREGORY & WALLING, 1973

GREGORY, K.J., WALLING, D.E.: Drainage Basin Form and Process – a geomorphological approach. Edward Arnold, London, 458 S., 1973

GOLDEN & SPRINGER, 2006

GOLDEN, Leslie A., SPRINGER, Gregory S.: Channel geometry, median grain size, and stream power in small mountain streams. In: Geomorphology, Vol. 78, S. 64-78, 2006

HABBE & MOHR, 1982

HABBE, Karl A., MOHR, Bernhard : Südschwarzwald (Feldberg-Gebiet und Wiesetäler): Geographischer Exkursionsführer der Region Basel. Hrsg. von der. Geograph.-Ethnolog. Gesellschaft Basel, Wepf Verlag Basel, 120 S., 1982

HARNISCHMACHER, 2002

HARNISCHMACHER, Stefan: Fluvialmorphologische Untersuchungen an kleinen, naturnahen Fließgewässern in Nordrhein-Westfalen– Eine empirische Studie In: Bochumer Geographische Arbeiten, Heft 70, 304 S., 2002

HARNISCHMACHER, 2007

HARNISCHMACHER, Stefan: Threshold in small rivers? Hypothesis developed from fluvial morphological research in western Germany. In: Geomorphology, Vol. 92, S. 119-133, 2007

HARMAN ET AL., 2008

HARMAN, Ciaran, STEWARDSON, Michael, DEROSE, Ronald: Variability and uncertainty in reach bankfull hydraulic geometry. In: Journal of Hydrology, Vol. 351, S. 13-25, 2008

HÄCKEL, 1999

HÄCKEL, Hans: Meteorologie. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, 448 S., 1999

HICKIN, 1996

HICKIN, Edward J.: Hydraulic Geometry and Channel Scour, Fraser River, British Columbia, Canada. In: River Geomorphology. John Wiley & Sons, Chichester, S. 155-167, 1996

HOLLHAUS, 2006

HOLLHAUS, Markus: Large Scale Application of Airborne Laser Scanning for a Complex Mountain Environment. Technische Universität Wien, Dissertation, 111 S.; 2006

HÜTTNER, 1994

HÜTTNER, R.: Geologische Karte des Landkreises Lörrach. Herausgegeben von der Landesarchivdirektion Baden-Württemberg, Stuttgart, 1994

KNIGHTON, 1984

KNIGHTON, David. (1984): Fluvial forms and processes. Edward Arnold, Victoria, 218 S., 1984

KUMAR ET AL., 1997

KUMAR, Lalit, SKIDMORE, Andrew K., KNOWLES, Edmund: Modeling topographic variation in solar radiation in a GIS environment. In: International Journal of Geographic Information Science, Vol. 11, S.475–497, 1997

LEOPOLD ET AL, 1964

LEOPOLD, Luna B., WOLMAN, M. Gordon, Miller, John P.: Fluvial Processes in geomorphology. – A serie of books in geology. W.H.Freeman &Co., San Fransisco, 522 S., 1964

LEOPOLD & MADDOCK, 1953

LEOPOLD, L.B., MADDOCK, T.: The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications. United States Geological Survey, Professional Paper 252, 56 S., 1953

MANDELBURGER, 2006

MANDELBURGER, Gottfried: Topographische Modelle für Anwendungen in Hydraulik und Hydrologie. Technische Universität Wien, Dissertation, 159 S., 2006

MANGELSDORF & SCHEURMANN, 1980

MANGELSDORF, Joachim, SCHEURMANN, Karl: Flußmorphologie – Ein Leitfaden für Naturwissenschaftler und Ingenieure. R. Oldenbourg Verlag München Wien, 262 S., 1980

NADOLNY, 1994

NADOLNY, Ina: Morphologie und Hydrologie naturnaher Flachlandbäche unter gewässertypologischen Gesichtspunkten. In: Mitteilungen des Instituts für Wasserbau und Kulturtechnik der Universität Fridericiana zu Karlsruhe, Heft 189/1994. Karlsruhe, 188 S., 1994

NAGEL, 2001

NAGEL, J.: Skript Waldmesslehre. Fassung 27. Juni 2001, 55 S., 2001

ORR ET AL., 2008

ORR, H.G., LARGE, A.R.G., NEWSON, M.D., WALSH, C.L.: A predictive typology for characterizing hydromorphology. In: Geomorphology, Vol. 100, S. 32-40, 2008

OTTO, 1991

OTTO, A.: Grundlagen einer Typologie der Bäche. In: Mitteilungen des Instituts für Wasserbau und Kulturtechnik, Heft 180, Universität Karlsruhe, S. 1-94, 1991

POTTGIESSER & SOMMERHÄUSER, 2004

POTTGIESSER, T., SOMMERHÄUSER, M.: Fließgewässertypologie Deutschlands: Die Gewässertypen und ihre Steckbriefe als Beitrag zur Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie. In: Steinberg, C., W. Calmano, R.-D. Wilken & H. Klapper (Hrsg.): Handbuch der Limnologie. 19. Erg.Lfg. 7/04. VIII-2.1: 1-16 + Anhang, 2004

RAHM, 1989

RAHM, G., SCHLAGETER, A., DÖRFLINGER, B., WITTMANN, H.: Todtnau : Stadt und Ferienland im südlichen Hochschwarzwald. Rombach, Freiburg, 368 S., 1989

ROSGEN, 1994

ROSGEN, David L.: A classification of natural rivers. In: Catena, Vol. 22, S. 169-199, 1994

SCHLEYER, 2001

SCHLEYER, Andreas: Das Laserscan-DGM von Baden-Württemberg. 2001, online unter URL: <<http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo01/Schleyer.pdf>> S. 219 (22.06.2009).

SCHNEIDER, 2000

SCHNEIDER, Rafaël: Landschafts- und Umweltgeschichte im Einzugsgebiet der Elz. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br., Dissertation, 178 S., 2000

SCHUMM, 1977

SCHUMM, Stanley A.: The fluvial system. The Blackburn Press, New Jersey, 338 S., 1977

THORNE, 1997

THORNE, C.R.: Channel types and morphological classification. In: Thorne, C.R., Hey, R.D. & M.D. Newson (Eds.): Applied fluvial geomorphology for river engineering and management. Chichester a.o., S. 175-222, 1997

THIES ET AL., 2006

THIES, Michael, WEINACKER, Holger, WEINACKER, Rudi, PFEIFER, Norbert: Predicting Forest Growth Processes By Using laserscanner derived stand models and Simulating Sun ecliptic. Workshop on 3D Remote Sensing in Forestry, Wien, 7 S., 14. und 15. Februar 2006

UHLMANN, 2003

UHLMANN, Bernd: Feuer und Eis. In: Die Geschichte von Simonswald Hrsg. im Auftr. der Gemeinde Simonswald von Gerhard A. Auer. - Simonswald : Gemeinde Simonswald, 376 S., 2003

WABOA, 2007

Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg. Umweltministerium, Baden-Württemberg. 2007

WEINACKER ET AL., 2004

WEINACKER, H., KOCH, B., HEYDER, U., WEINACKER, R.: TREESVIS – A Software System for Simultaneous 3D-Real-Time Visualization of DTM, DSM, Laser Raw Data, Multispectral Data, Simple Tree and Building Models. In: International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 36, S. 90-95, 2004

WEINACKER, 2009

WEINACKER, Rudi: SunPosition.h und SunPosition.cpp, persönliche email vom 15.07.2009

WILLIAMS, 1978

WILLIAMS, G.P.: Bank-full discharge of rivers. In: Water Resources Research, Vol. 14, No. 6, S.1141-1154, 1978

WOLMAN & GERSON, 1978

WOLMAN, M. Gordon, GERSON, Ron: Relative scales of time and effectiveness of climate in watershed morphology. In: Earth Surface Processes, Vol. 3, S. 189-208, 1978

WOHL & MERRITT, 2001

WOHL, Ellen E., MERRITT, David M.: Bedrock channel morphology. In: Geological Society of America Bullentin, Vol. 113, S. 1205-1212, 2001

WOHL & DAVID., 2008

WOHL, Ellen E., DAVID, Gabrielle C.L.: Consistency of scaling relations among bedrock and alluvial channels. In: Journal of Geophysical Research, Vol. 113, F04013, doi:10.1029/2008JF000989, 2008

ZIMMERMANN ET AL., 2008

ZIMMERMANN, Andre E., CHURCH, Michael, HASSAN, Marwan A.: Identification of step and pools from stream longitudinal profile data. In: Geomorphology, Vol. 102, S. 395-406, 2008

Anhang

A1 Kartierung

Aufnahmebogen der Geländekartierung (HARNISCHMACHER, 2002)

Sektion 1 - Allgemeine Angaben

Bach	Ort	Datum
	Von	Bis
	Abschnitt	
Bearbeitet von		
Wasserstand	Beginn	Ende

Anmerkungen

Sektion 2 - Kennzeichnung des Einzugsgebiets und Talabschnitts

Teil 1: Einzugsgebiet (Geländebetrachtung und Auswertung von TOP-Karten / Geolog. Karten)

Gebiet	Entwässerung	Geologie	Gesteinstyp	Landnutzung	Vegetation
Hochgebirge <input type="checkbox"/>	dendritisch <input type="checkbox"/>	ansteigendes Gestein <input type="checkbox"/>	Sedimentgestein <input type="checkbox"/>	natürlich <input type="checkbox"/>	Nadelwald <input type="checkbox"/>
Mittelgebirge <input type="checkbox"/>	parallel <input type="checkbox"/>	verwittertes Gestein <input type="checkbox"/>	metamorph <input type="checkbox"/>	bewirtschaftet <input type="checkbox"/>	Laubwald <input type="checkbox"/>
Hügelland <input type="checkbox"/>	gitterförmig <input type="checkbox"/>	Moräne <input type="checkbox"/>	magmatisch <input type="checkbox"/>	bebaut <input type="checkbox"/>	Mischwald <input type="checkbox"/>
Flachland <input type="checkbox"/>	rehtwinklig <input type="checkbox"/>	glazi-fluvial <input type="checkbox"/>	keins <input type="checkbox"/>	urban <input type="checkbox"/>	Wiese <input type="checkbox"/>
Tiefebene <input type="checkbox"/>	radial <input type="checkbox"/>	fluvial <input type="checkbox"/>		sub-urban <input type="checkbox"/>	Weide <input type="checkbox"/>
	kreisförmig <input type="checkbox"/>	Seeablagerung <input type="checkbox"/>			Ackerland <input type="checkbox"/>
	Binnenentwässerung <input type="checkbox"/>	äolisch <input type="checkbox"/>	spezifischer Gesteinstyp <input type="checkbox"/>		
	unregelmäßig <input type="checkbox"/>				

Anmerkungen:

Teil 2: Talabschnitt und Talränder

Lage des Flußabschnittes	Höhe der Talflanken	Hangneigung (links)	Talform	Hangneigung (rechts)
im Tal <input type="checkbox"/>	< 5 m <input type="checkbox"/>	< 5 Grad <input type="checkbox"/>	symmetrisch <input type="checkbox"/>	< 5 Grad <input type="checkbox"/>
auf Schwemmfächer <input type="checkbox"/>	5 - 10 m <input type="checkbox"/>	5-10 Grad <input type="checkbox"/>	asymmetrisch <input type="checkbox"/>	5-10 Grad <input type="checkbox"/>
auf Schwemmebene <input type="checkbox"/>	10 - 30 m <input type="checkbox"/>	10-20 Grad <input type="checkbox"/>		10-20 Grad <input type="checkbox"/>
in einem Delta <input type="checkbox"/>	30 - 60 m <input type="checkbox"/>	20-50 Grad <input type="checkbox"/>		20-50 Grad <input type="checkbox"/>
auf ehem. Seeboden <input type="checkbox"/>	60 - 100 m <input type="checkbox"/>	> 50 Grad <input type="checkbox"/>		> 50 Grad <input type="checkbox"/>
	> 100 m <input type="checkbox"/>			

Anmerkungen:

Teil 3: Talboden, Aue

Talboden	Maße	Geologie	Landnutzung	Vegetation	Ufervegetation
keiner <input type="checkbox"/>	keiner <input type="checkbox"/>	Anstehendes <input type="checkbox"/>	natürlich <input type="checkbox"/>	keine <input type="checkbox"/>	keine <input type="checkbox"/>
undefinierbar <input type="checkbox"/>	< 1 Bachbreite <input type="checkbox"/>	Moräne <input type="checkbox"/>	bewirtschaftet <input type="checkbox"/>	Wiese <input type="checkbox"/>	undefinierbar <input type="checkbox"/>
vereinzelt <input type="checkbox"/>	1 - 5 Bachbreite <input type="checkbox"/>	glazi-fluvial <input type="checkbox"/>	bebaut <input type="checkbox"/>	Weide <input type="checkbox"/>	vereinzelt <input type="checkbox"/>
durchgehend <input type="checkbox"/>	5-10 Bachbreite <input type="checkbox"/>	alluvial-fluvial <input type="checkbox"/>	urban <input type="checkbox"/>	Sonderkulturen <input type="checkbox"/>	durchgehend <input type="checkbox"/>
	>10 Bachbreite <input type="checkbox"/>	versumpft <input type="checkbox"/>	sub-urban <input type="checkbox"/>	Ackerland <input type="checkbox"/>	
		Seeablagerung <input type="checkbox"/>	industriell <input type="checkbox"/>	Sträucher, Büsche <input type="checkbox"/>	
		äolisch <input type="checkbox"/>		Laubwald <input type="checkbox"/>	Breite
				Nadelwald <input type="checkbox"/>	keine <input type="checkbox"/>
				Mischwald <input type="checkbox"/>	< 1 Bachbreite <input type="checkbox"/>
					1 - 5 Bachbreite <input type="checkbox"/>
					> 5 Bachbreite <input type="checkbox"/>

(Bachbreite = bordvolle Bachbreite)

Anmerkungen:

Teil 4: Verhältnis Gerinnebett - Talabschnitt (vertikal)

Terrassen	Hochwasser-ablagerungen	Uferwälle	Ausmaß der Uferwälle
keine <input type="checkbox"/>	keine <input type="checkbox"/>	keine <input type="checkbox"/>	Höhe (m) <input type="checkbox"/>
undefinierbar <input type="checkbox"/>	Schluff <input type="checkbox"/>	natürlich <input type="checkbox"/>	Wallneigung <input type="checkbox"/>
vereinzelt <input type="checkbox"/>	Feinsand <input type="checkbox"/>	anthropogen <input type="checkbox"/>	
durchgehend <input type="checkbox"/>	Mittelsand <input type="checkbox"/>		
Anzahl der Niveaus <input type="text"/>	Grobsand <input type="checkbox"/>	Verbreitung	Uferwallzustand
	Kies <input type="checkbox"/>	keine <input type="checkbox"/>	keine <input type="checkbox"/>
HQ-Marken	Steine <input type="checkbox"/>	undefinierbar <input type="checkbox"/>	intakt <input type="checkbox"/>
vorhanden <input type="checkbox"/>		vereinzelt <input type="checkbox"/>	einzelne Abbrüche <input type="checkbox"/>
nicht vorhanden <input type="checkbox"/>		durchgehend <input type="checkbox"/>	wiederkehrende <input type="checkbox"/>
Höhe über <input type="text"/>		linkes Ufer <input type="checkbox"/>	Abbrüche <input type="checkbox"/>
Aue (m) <input type="text"/>		rechtes Ufer <input type="checkbox"/>	
		beide Ufer <input type="checkbox"/>	

Anmerkungen:

Teil 5: Verhältnis Gerinnebett - Talabschnitt (horizontal)

Aufsicht	Position im Tal	seitliche Aktivität	Kennzeichen des Talbodens
gerade <input type="checkbox"/>	links <input type="checkbox"/>	keine <input type="checkbox"/>	keine <input type="checkbox"/>
geschlängelt <input type="checkbox"/>	Mitte <input type="checkbox"/>	Mäanderwanderung <input type="checkbox"/>	Mäandermarke <input type="checkbox"/>
unregelmäßig <input type="checkbox"/>	rechts <input type="checkbox"/>	wachsende Amplitude <input type="checkbox"/>	versumpfter Wasserlauf <input type="checkbox"/>
regelmäßige Mäander <input type="checkbox"/>		Wanderung + Lauferkürzung <input type="checkbox"/>	Altarme <input type="checkbox"/>
unregelmäßige Mäander <input type="checkbox"/>		unregelmäßige Seitenerosion <input type="checkbox"/>	unregelmäßiges Gelände <input type="checkbox"/>
gewundene Mäander <input type="checkbox"/>		Laufveränderung nach Gerinnebettanfrhöhung <input type="checkbox"/>	angrenzende Gerinnebetten <input type="checkbox"/>
braided <input type="checkbox"/>		braiding <input type="checkbox"/>	Ablagerungen aus braided river <input type="checkbox"/>
anastomisierend <input type="checkbox"/>			

Anmerkungen:

Sektion 3 - Beschreibung des Gerinnebetts

Teil 6: Allgemein				
Fließzustand	vertikale Zwangspunkte	Widerstandstyp	horizontale Zwangspunkte	Widerstandstyp
keiner <input type="checkbox"/>	keine <input type="checkbox"/>	keine <input type="checkbox"/>	keine <input type="checkbox"/>	keine <input type="checkbox"/>
gleichförmig/ruhig <input type="checkbox"/>	vereinzelt <input type="checkbox"/>	Anstehendes <input type="checkbox"/>	vereinzelt <input type="checkbox"/>	Anstehendes <input type="checkbox"/>
gleichförmig/schnell <input type="checkbox"/>	regelmäßig <input type="checkbox"/>	verwittertes Anstehendes <input type="checkbox"/>	regelmäßig <input type="checkbox"/>	Blöcke <input type="checkbox"/>
Pool+Riffle <input type="checkbox"/>	durchgängig <input type="checkbox"/>	Blöcke <input type="checkbox"/>	durchgängig <input type="checkbox"/>	Panzerung <input type="checkbox"/>
steil + tosend <input type="checkbox"/>	Anzahl <input type="text"/>	Sohlenpanzerung <input type="checkbox"/>	Anzahl <input type="text"/>	Uferschutz <input type="checkbox"/>
steil + Step/Pool <input type="checkbox"/>		kohäsives Material <input type="checkbox"/>		kohäsives Material <input type="checkbox"/>
		Brückenschutz <input type="checkbox"/>		Brückenpfeiler <input type="checkbox"/>
		Sohlbauwerke <input type="checkbox"/>		Buhnen <input type="checkbox"/>
n-Wert (Manning): <input type="text"/>				
Anmerkungen:				

Teil 7: Sediment			
Korngröße	Sohlen- panzerung	Sohlstrukturen	Banktypen
Ton <input type="checkbox"/>	keine <input type="checkbox"/>	keine <input type="checkbox"/>	keine <input type="checkbox"/>
Schluff <input type="checkbox"/>	statisch <input type="checkbox"/>	Rippelmarken <input type="checkbox"/>	Pools und Riffles <input type="checkbox"/>
Sand <input type="checkbox"/>	mobil <input type="checkbox"/>	Dünen <input type="checkbox"/>	wechselnd <input type="checkbox"/>
Sand und Kies <input type="checkbox"/>		Höhe (m) <input type="text"/>	Gleithang <input type="checkbox"/>
Kies + Steine <input type="checkbox"/>	Inseln / Bänke		mittlere <input type="checkbox"/>
Steine + Blöcke <input type="checkbox"/>	keine <input type="checkbox"/>		diagonal <input type="checkbox"/>
Blöcke + Anstehendes <input type="checkbox"/>	vereinzelt <input type="checkbox"/>	Bänke am Zusammenfluß <input type="checkbox"/>	
Anstehendes <input type="checkbox"/>	regelmäßig <input type="checkbox"/>		
Anmerkungen:			

Sektion 4 - Beschreibung der Ufer

Teil 8: Allgemein			
Typ	Material	Risse	Uferschutz
nicht kohäsiv <input type="checkbox"/>	Schluff/Ton <input type="checkbox"/>	keine <input type="checkbox"/>	ungeschützt <input type="checkbox"/>
kohäsiv <input type="checkbox"/>	Sand/Schluff/Ton <input type="checkbox"/>	vereinzelt <input type="checkbox"/>	punktuell <input type="checkbox"/>
gemischt <input type="checkbox"/>	Sand/Schluff <input type="checkbox"/>	regelmäßig <input type="checkbox"/>	am Hangfuß <input type="checkbox"/>
geschichtet <input type="checkbox"/>	Sand <input type="checkbox"/>		mauerartig <input type="checkbox"/>
gleiche Schichten <input type="checkbox"/>	Sand/Kies <input type="checkbox"/>		Buhnen <input type="checkbox"/>
dicke+dünne Schicht <input type="checkbox"/>	Kies <input type="checkbox"/>		
Zahl der Schichten <input type="text"/>	Kies/Steine <input type="checkbox"/>		
	Steine <input type="checkbox"/>		
	Steine/Blöcke <input type="checkbox"/>		
	Blöcke/Anstehendes <input type="checkbox"/>		
Anmerkungen:			

Teil 9: Ufervegetation

Typ	Baumtypen	Bewuchsdichte	Standort	Zustand	Höhe
keine/brach	keine	keine	gesamtes Ufer	gesund	gering
künstlich gelichtet	Laubbäume	dünn/Gruppen	oberes Ufer	gut	mittel
Gras	Nadelbäume	dicht/Gruppen	mittleres Ufer	schlecht	groß
Schilf	gemischt	dünn/durchgängig	unteres Ufer	abgestorben	Höhe (m)
Sträucher	Spezies	dicht/durchgängig			
Sprößlinge	(falls bekannt)				
Bäume					
Orientierung		Wurzeln	Diversität	Alter	Ausdehnung
Wuchswinkel(°)		normal	einzelne Art	jung	breiter Gürtel
		exponiert	gemischte Arten	mittel	enger Gürtel
		adventiv	Klimax-Vegetation	alt	einzelne Reihe

Anmerkungen:

Teil 10: Erosion am Ufer

Erosionsorte	aktueller Zustand
überall	intakt
außerhalb Mäander	Erosion ruhend
innerhalb Mäander	Erosion aktiv
gegenüber Bank	Fortschreiten ruhend
hinter Bank	Fortschreiten aktiv
gegenüber Struktur	
angrenzend Struktur	
bachabw. Struktur	
bachaufw. Struktur	
anderer	

Anmerkungen:

Teil 11: Uferabbrüche

Vorkommen	Status	Bruchflächen + Blöcke
überall	stabil	keine
außerhalb Mäander	unvorhersagbar	alt
innerhalb Mäander	instabil: ruhend	jung
gegenüber Bank	instabil: aktiv	neu
hinter Bank		
gegenüber Struktur		
angrenzend Struktur		
bachabw. Struktur		
bachaufw. Struktur		
anderes		

Anmerkungen:

Teil 12: Sedimentation am Fuß des Ufers

Versturzmasse	Vegetation	Alter	Zustand
keine <input type="checkbox"/>	keine/brach <input type="checkbox"/>	jung <input type="checkbox"/>	gesund <input type="checkbox"/>
einzelne Partikel <input type="checkbox"/>	künstlich geichtet <input type="checkbox"/>	mittel <input type="checkbox"/>	krank <input type="checkbox"/>
kleine Aggregate <input type="checkbox"/>	Gras und Pflanzen <input type="checkbox"/>	alt <input type="checkbox"/>	abgestorben <input type="checkbox"/>
Wurzelklumpen <input type="checkbox"/>	Schilf + Ried <input type="checkbox"/>	Alter <input type="text"/>	
kleine Bodenaggregate <input type="checkbox"/>	Sträucher <input type="checkbox"/>		Wurzeln
mittlere Bodenaggregate <input type="checkbox"/>	junge Bäume <input type="checkbox"/>	Baumart	normal <input type="checkbox"/>
große Bodenaggregate <input type="checkbox"/>	Bäume <input type="checkbox"/>	(wenn bekannt)	aufgesetzt <input type="checkbox"/>
Steine/Blöcke <input type="checkbox"/>			exponiert <input type="checkbox"/>
Blöcke <input type="checkbox"/>			

Anmerkungen:

Kartierabschnitte der Köhlgartenwiese

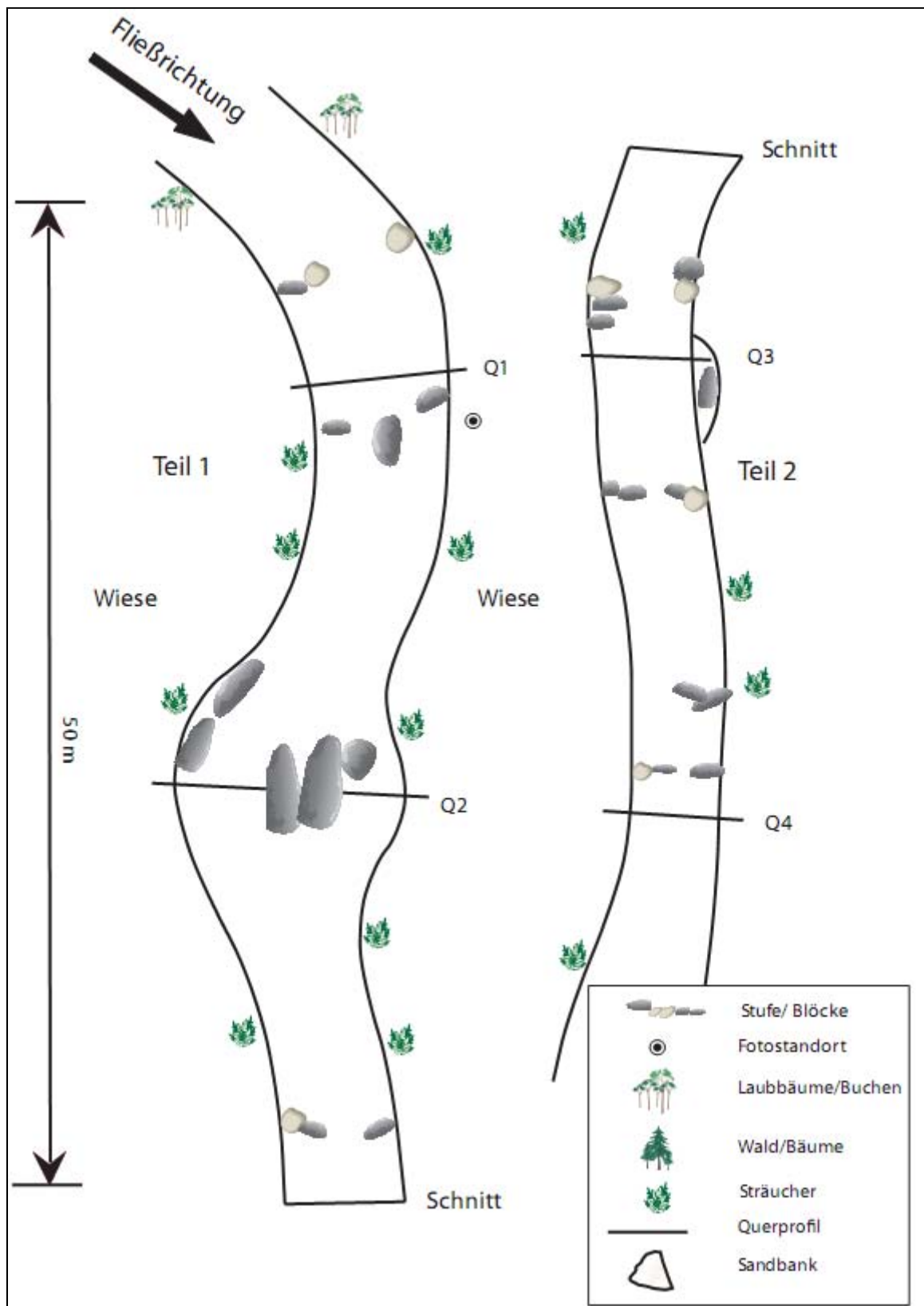


Abbildung A. 1: Köhlgartenwiese Kartierabschnitt 1 (KG1)

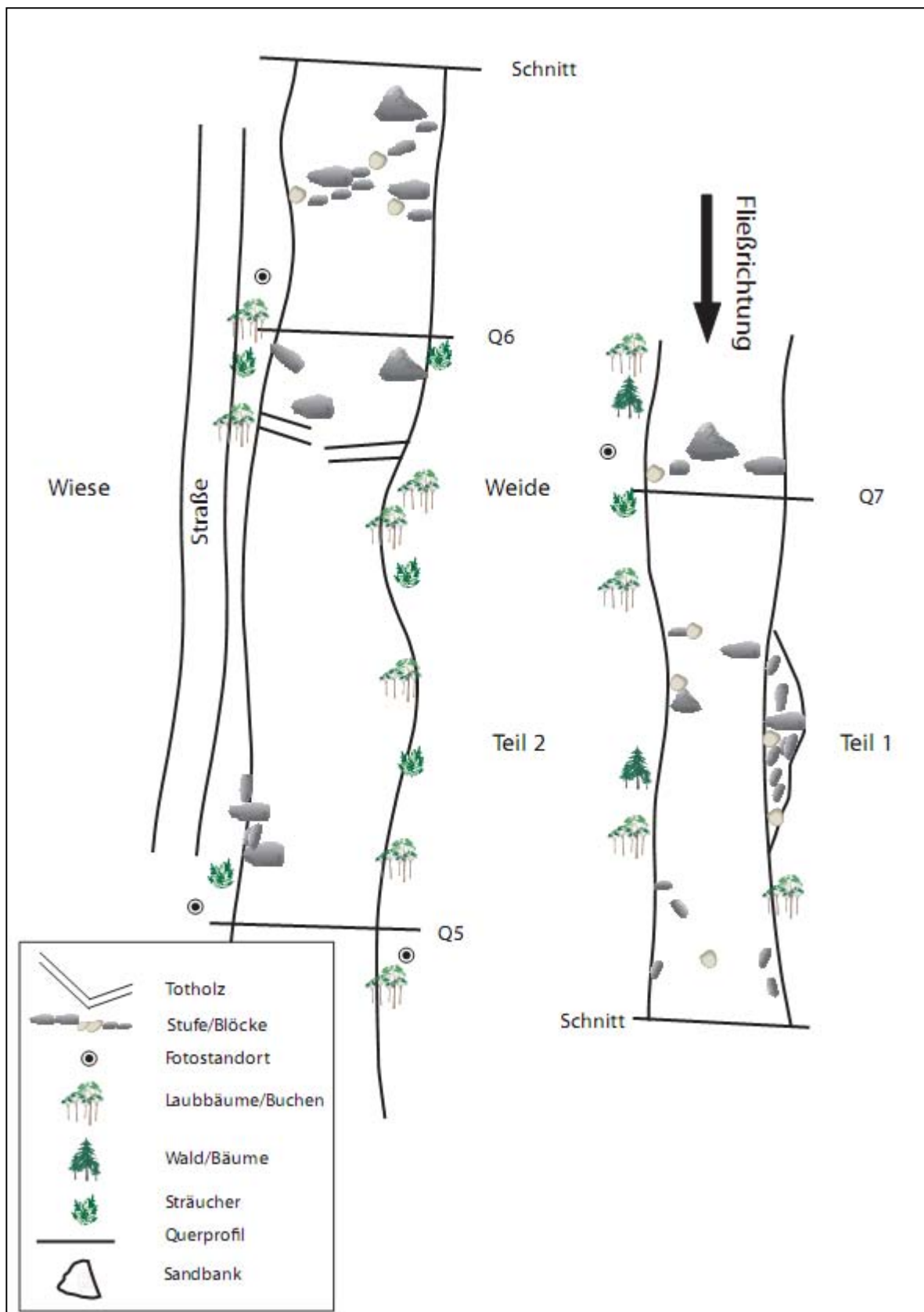


Abbildung A. 2: Köhlgartenwiese Kartierabschnitt 2 (KG2)

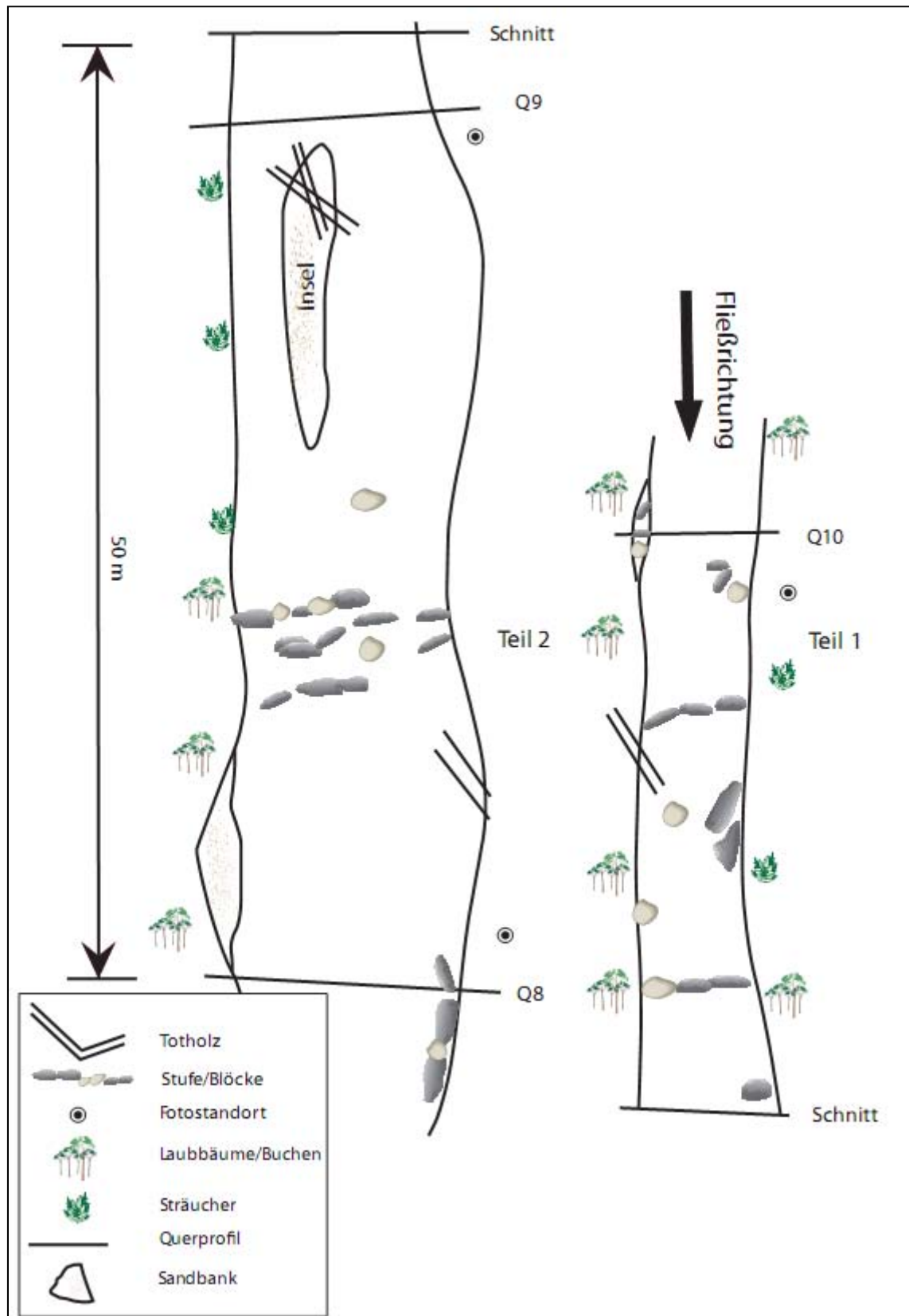


Abbildung A. 3: Köhlgartenwiese Kartierabschnitt 3 (KG3)

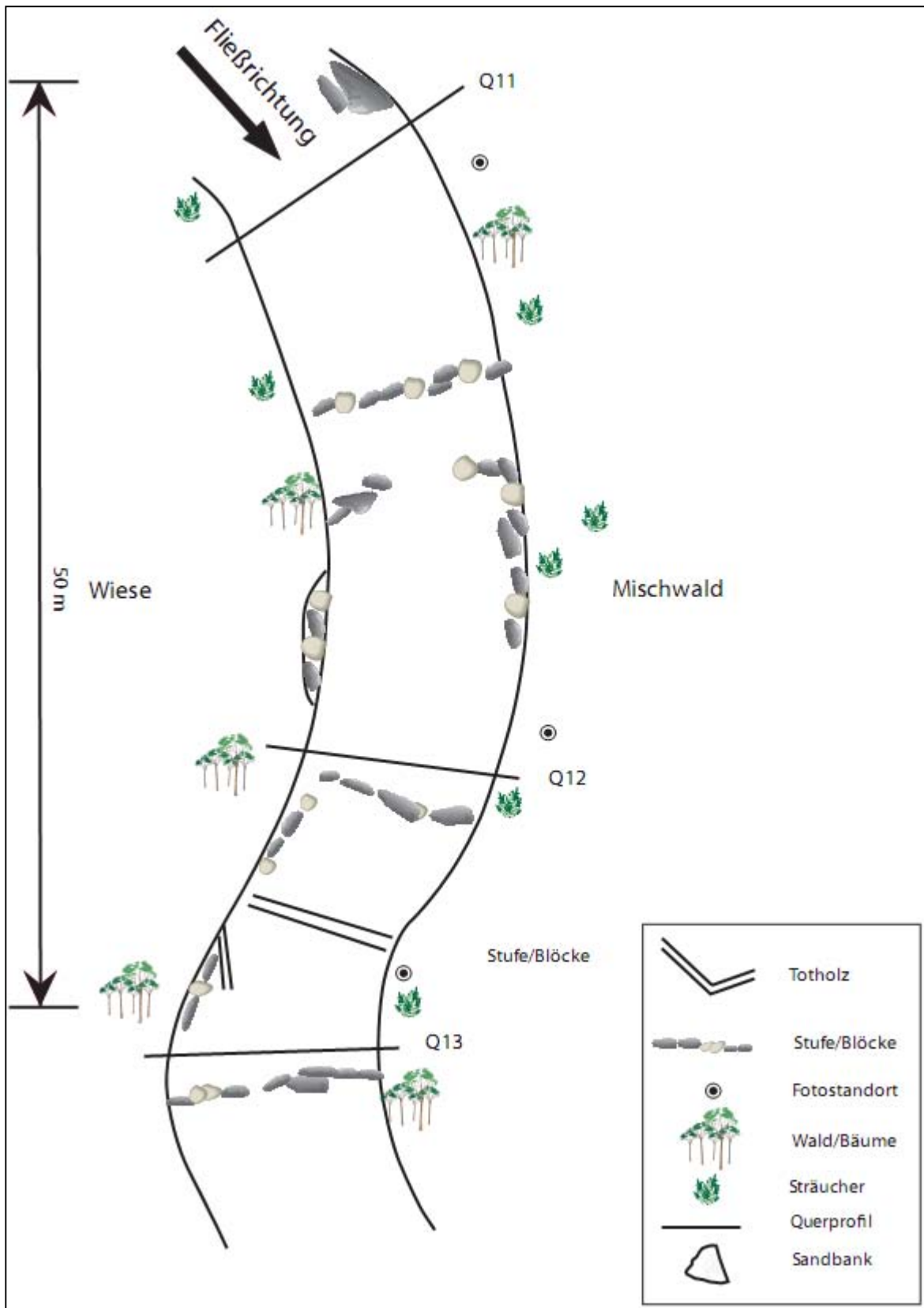


Abbildung A. 4: Köhlgartenwiese Kartierabschnitt 4 (KG4)

Kartierabschnitte der Kleinen Wiese

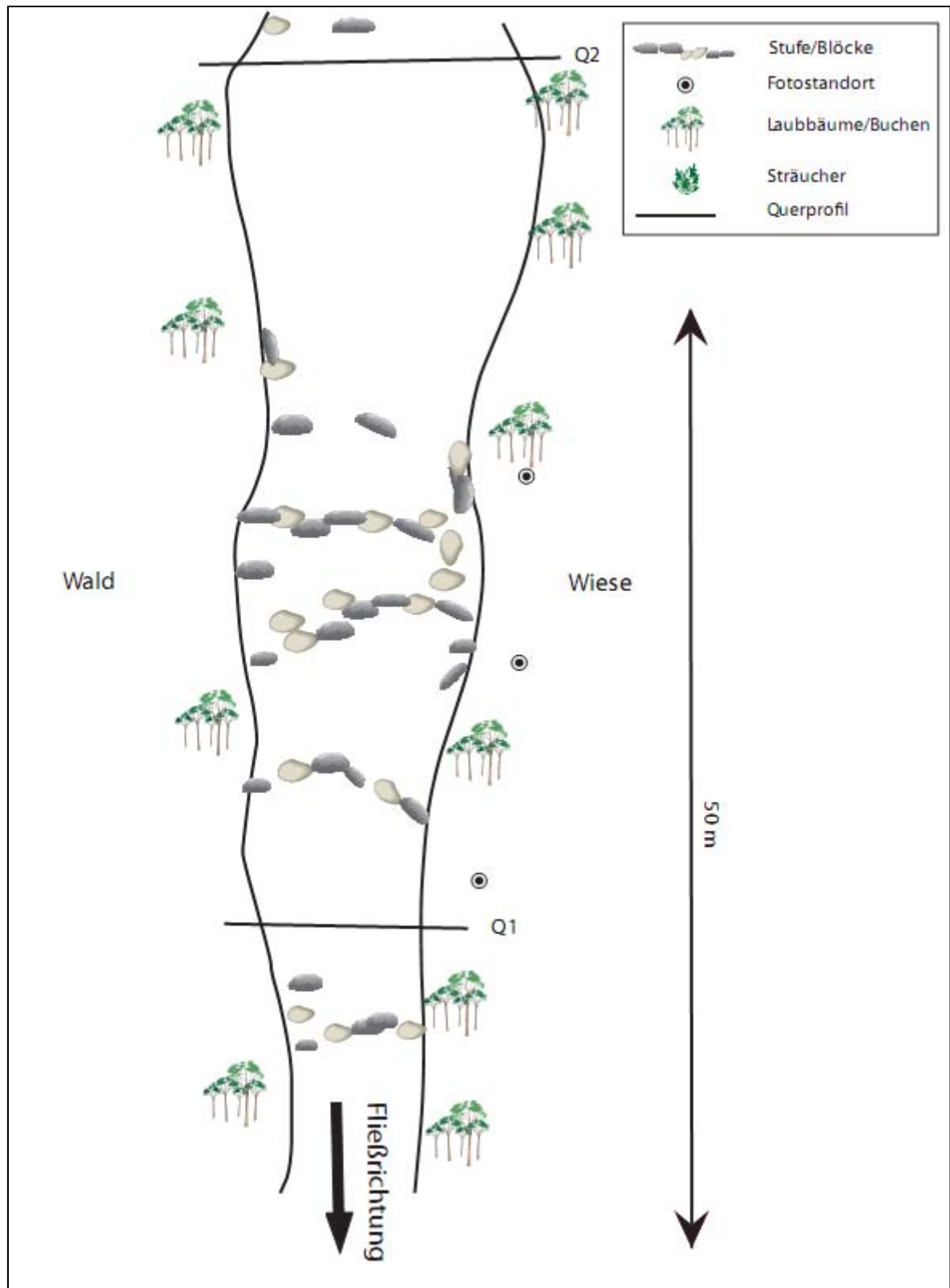


Abbildung A. 5: Kleine Wiese Kartierabschnitt 1 (KLW1)

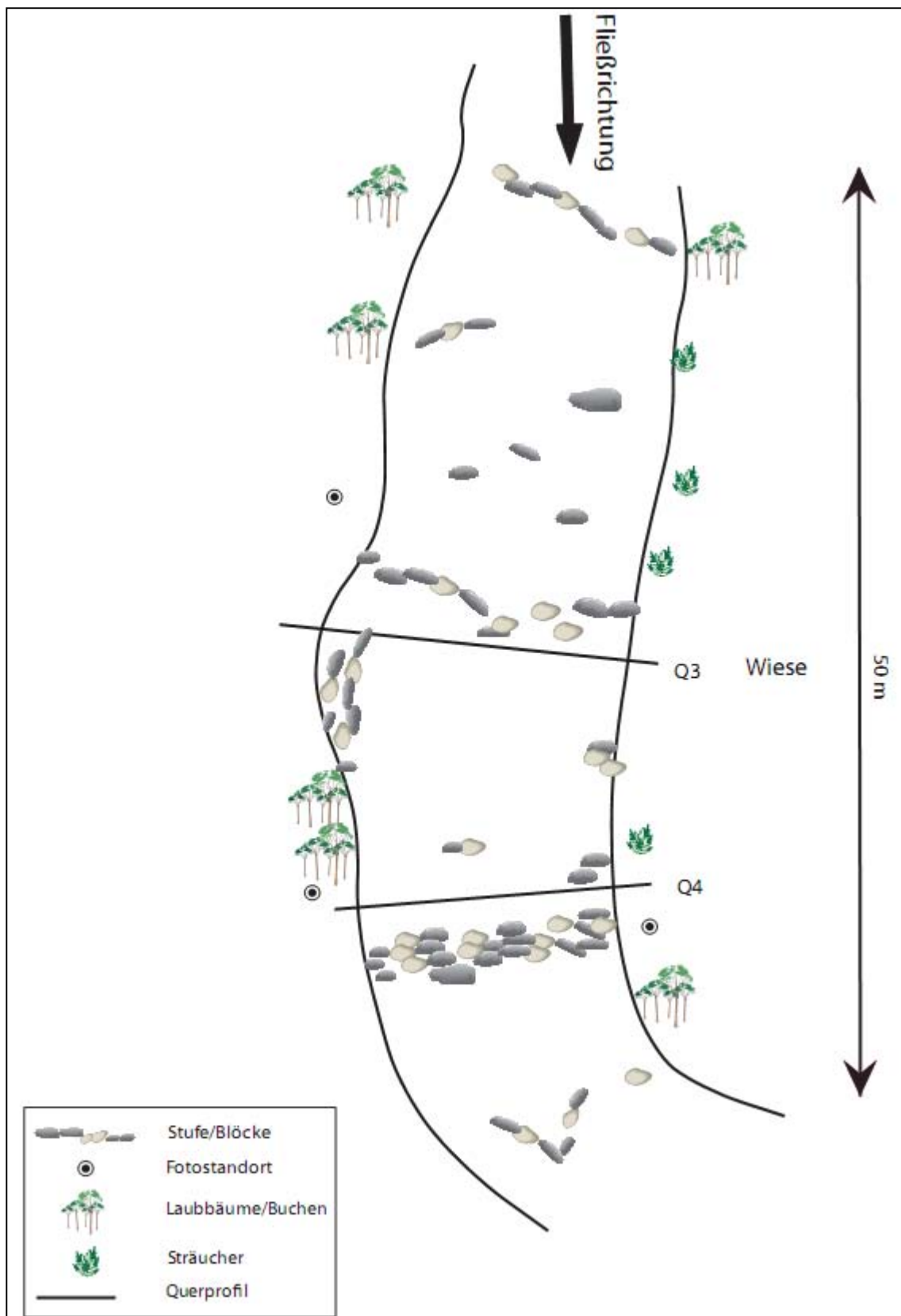


Abbildung A. 6: Kleine Wiese Kartierabschnitt 2 (KLW2)

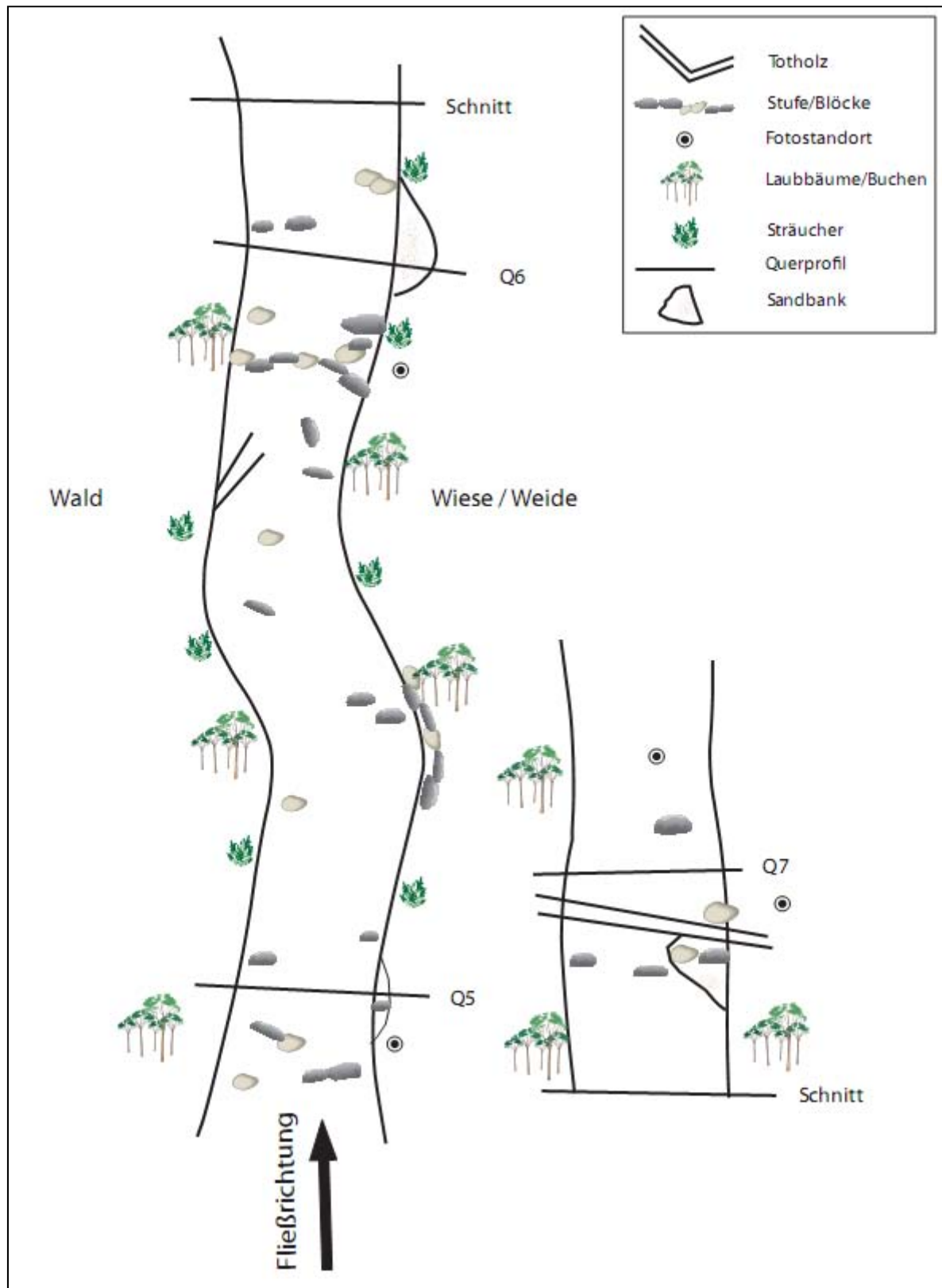


Abbildung A. 7: Kleine Wiese Kartierabschnitt 3 (KLW3)

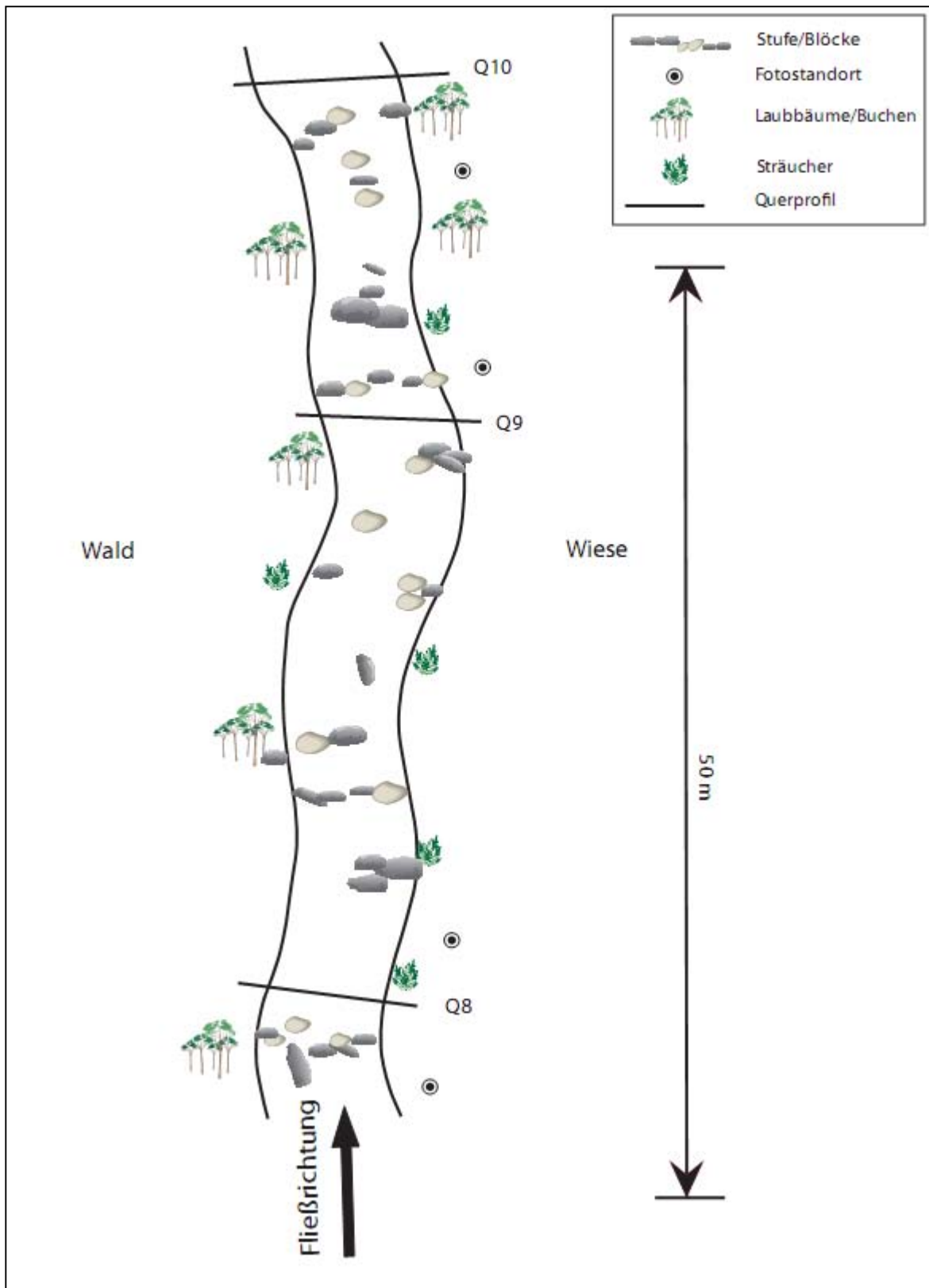


Abbildung A. 8: Kleine Wiese Kartierabschnitt 4 (KLW4)

Kartierabschnitte des Prägbaches

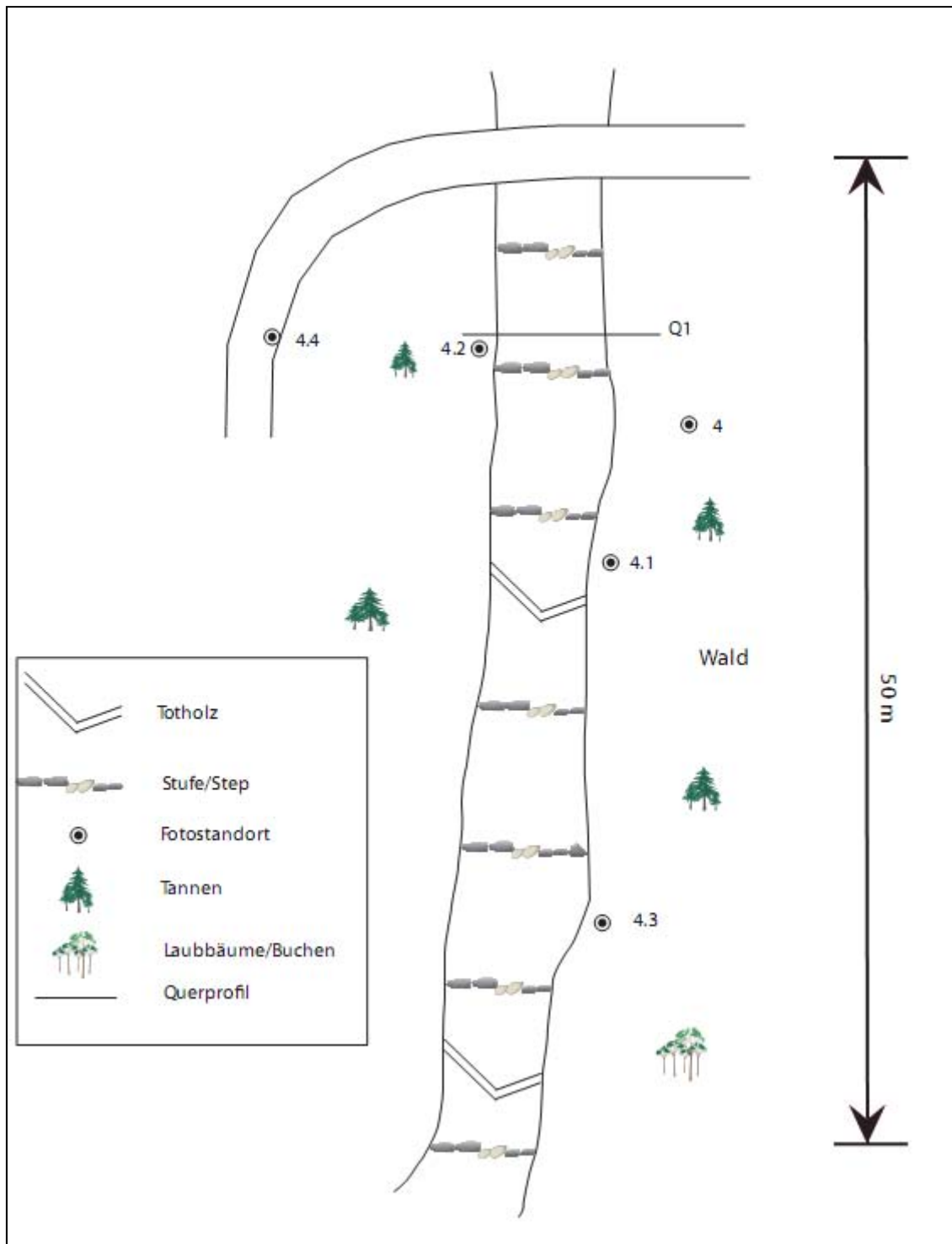


Abbildung A. 9: Prägbach Kartierabschnitt 1 (PGB1)

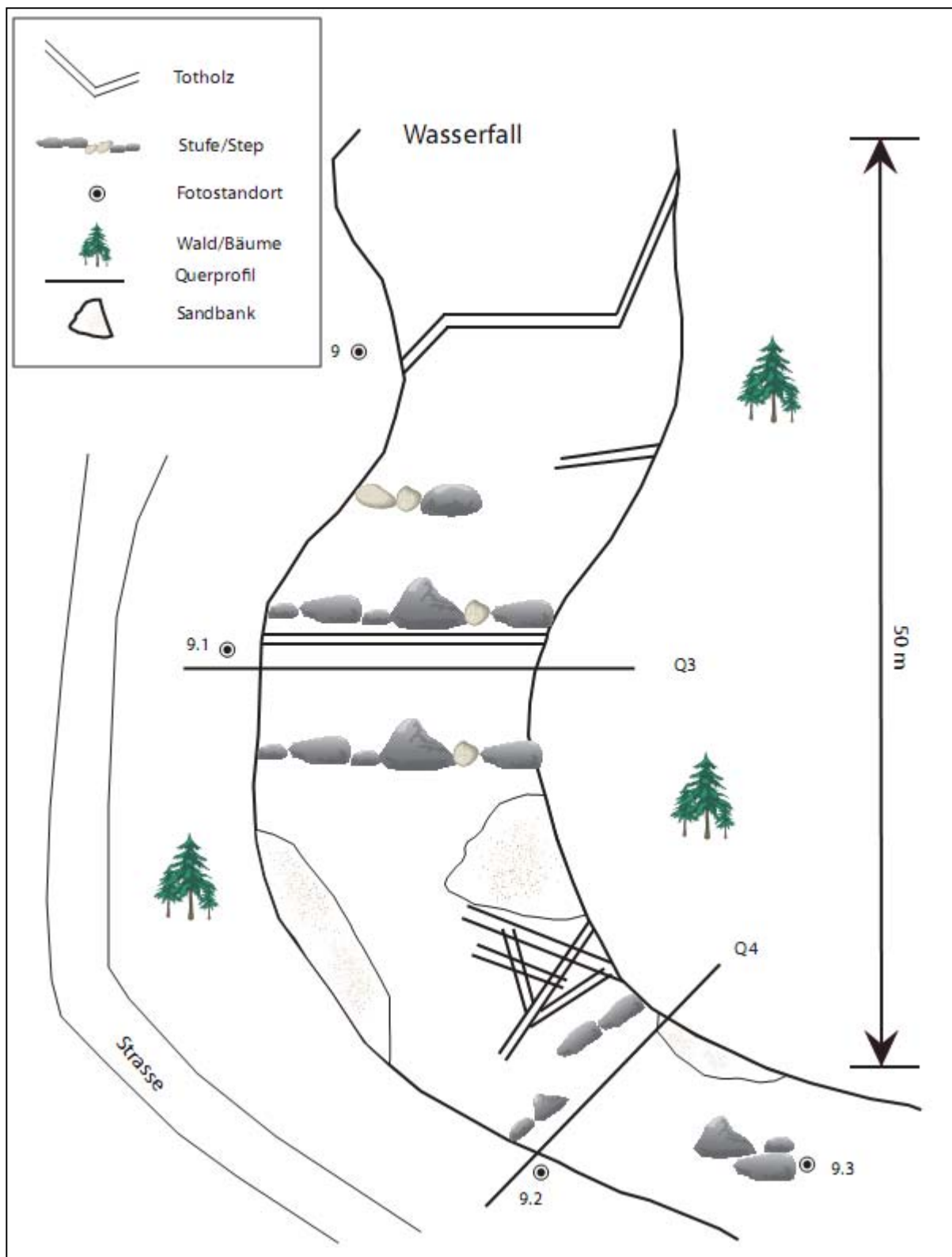


Abbildung A. 10: Prägbach Kartierabschnitt 2 (PGB2)

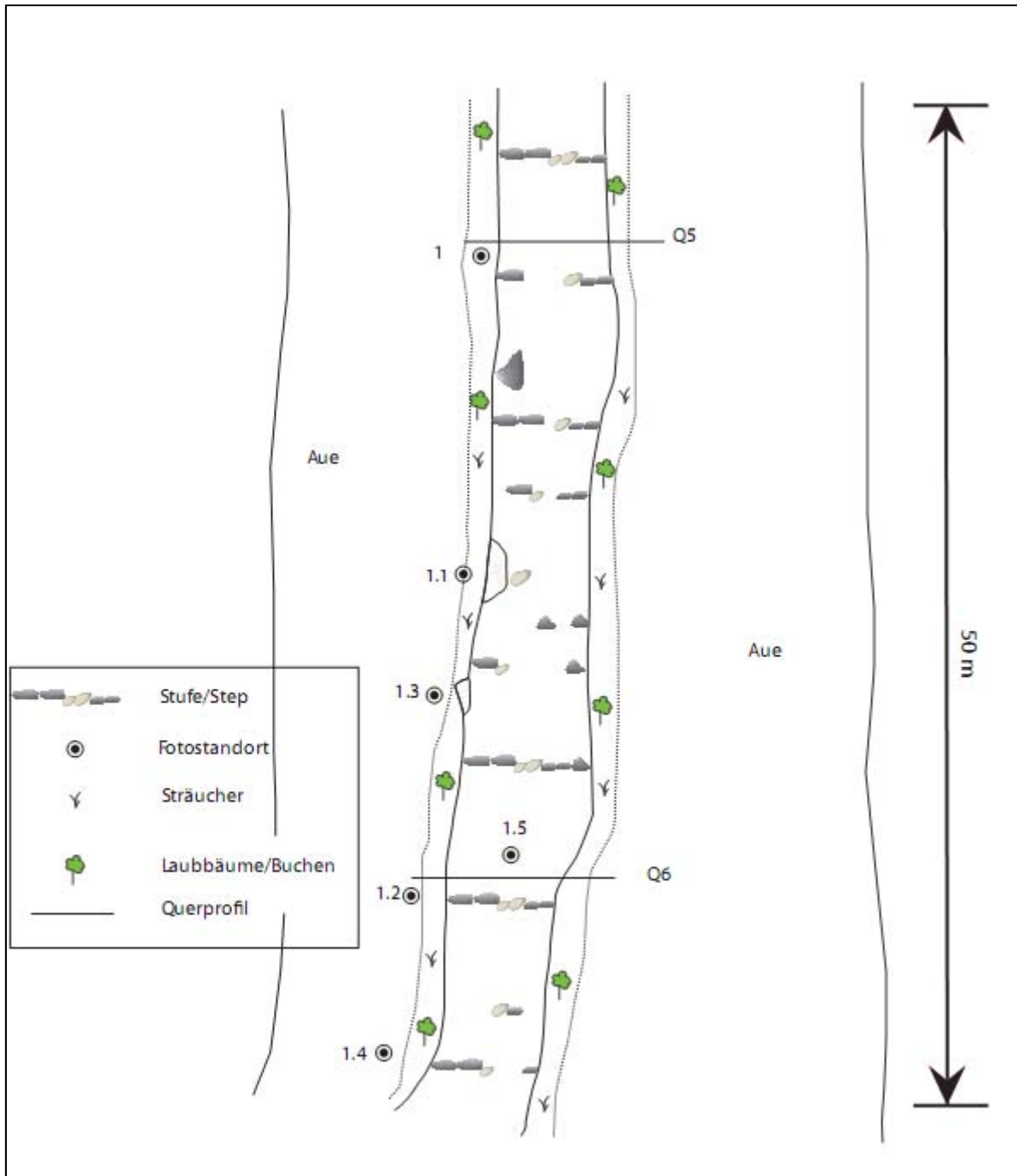


Abbildung A. 11: Prägbach Kartierabschnitt 3 (PGB3)

Kartierabschnitte der Wilden Gutach

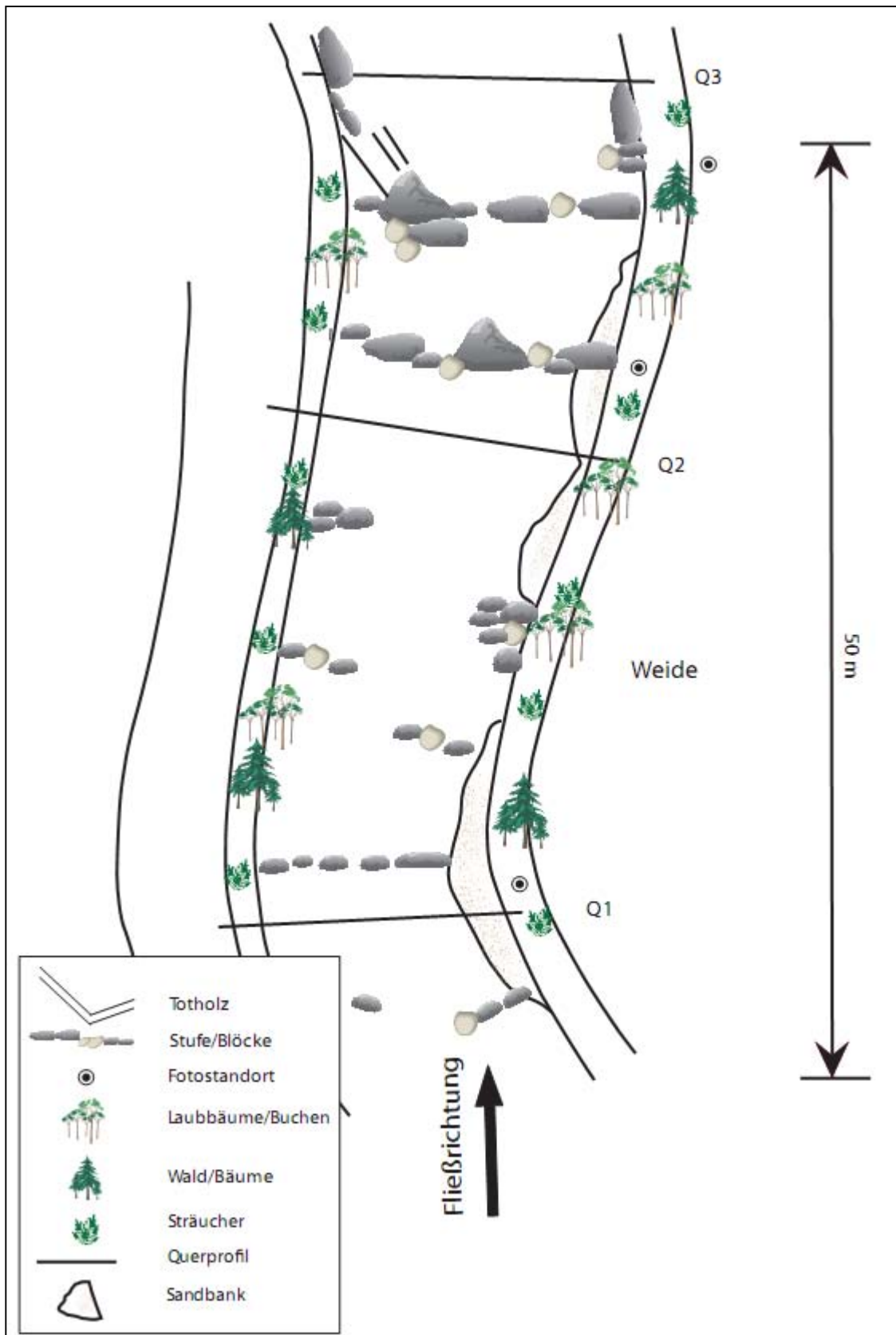


Abbildung A. 12: Wilde Gutach Kartierabschnitt 1 (WG1)

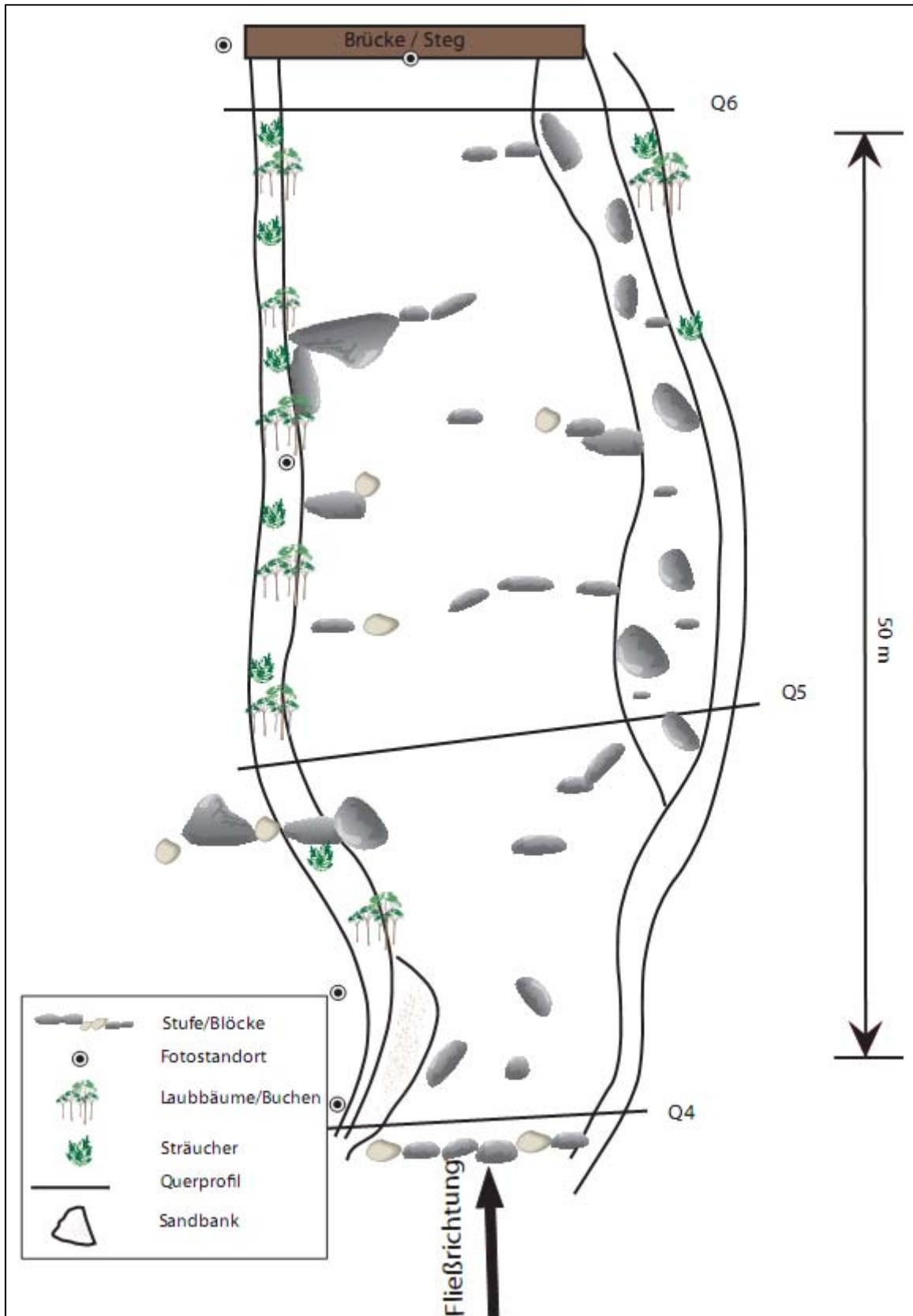


Abbildung A. 13: Wilde Gutach Kartierabschnitt 2 (WG2)

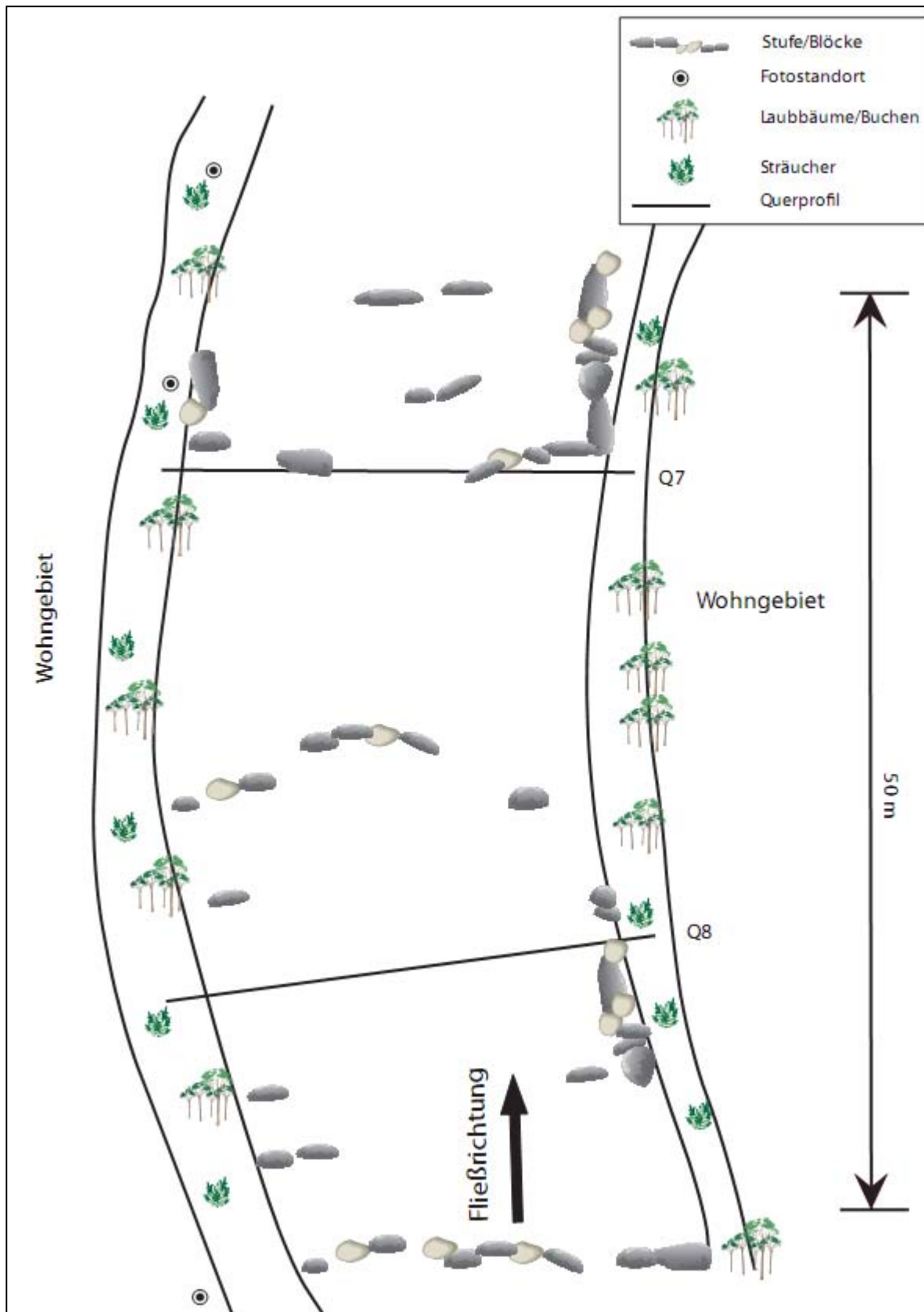


Abbildung A. 14: Wilde Gutach Kartierabschnitt 3 (WG3)

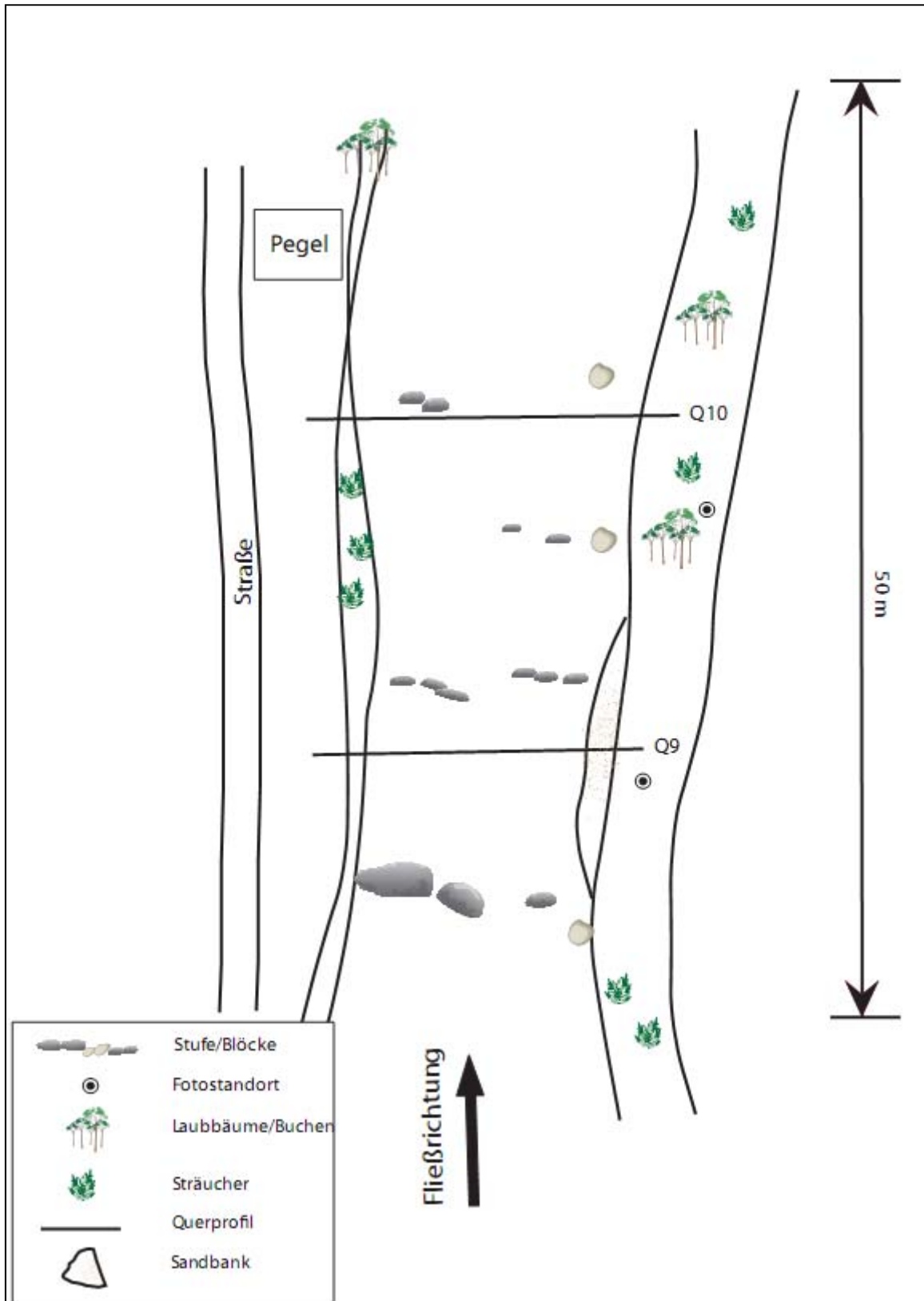


Abbildung A. 15: Wilde Gutach Kartierabschnitt 4 (WG4)

A.2 Fluvialmorphologische Steuer- und Zielgrößen

Das Trapezverfahren

Bei dem Trapezverfahren wird die Funktion $f(x)$ im Intervall $[a,b]$ durch ein Polynom 1. Grades (lineare Funktion) ersetzt, dass $f(x)$ an den Stützstellen a und b , also am linken und rechten Rand des Integrationsintervalls, interpoliert. Auf diese Weise erhält man die Trapezformel:

$$\int_a^b f(x)dx \approx \frac{b-a}{2} \cdot (f(a) + f(b))$$

A.3 Einstrahlung (Solar Radiation)

Programmierung der sun calculation with raytracing

Die Programmierung dieses Werkzeuges in TreesVis wurde von Rudi Weinacker (Software Development, Ludwigshafen) mit der Programmiersprache C++ entwickelt.

Datei: SunPosition.h

```
#ifndef SUNPOSITION_H
#define SUNPOSITION_H

#include "Koord.h"
#include "DateTime.h"

// compute julian day number
// double J julian day number in gregorian calendar -> OUTPUT
// int d day in gregorian calendar
// int m month in gregorian calendar
// int j year in gregorian calendar
// int zone time zone, -1 for MET, -2 for MEST, 0 for UTC
// double t time in hours since midnight
double JulianDay( int d, int m, int j, int zone, double t );

// compute mean anomaly M in degree for earth for julian day number
double MeanAnomaly( double J );

// compute true anomaly nu in degree for earth from mean anomaly M in degree
double TrueAnomaly( double M );

// compute ecliptical longitude of the sun l in degree, seen from earth
// for this we need the true anomaly nu (in degree)
double EclipticalLongitude( double nu );

// compute the declination of the sun delta in degree from its ecliptical
// longitude l
double EquatorialDeclination( double l );

// compute the right ascension alpha of the sun in degree from its ecliptical
// longitude l
double EquatorialRightAscension( double l );

// compute sidereal time theta in degree from the julian date J and the
```



```

// longitude lw of an observer on the earth. lw is larger zero, if the
// elliptical longitude is west of Greenwich. lw is in degree
double SiderialTime( double J, double lw );

// compute the hour angle H from the siderial time theta and the right ascension
double HourAngle( double theta, double alpha );

// compute the sun altitude h in degree from the geographical latitude phi,
// the hour angle H, and the sun declination delta
double SunAltitude( double H, double delta, double phi );

// compute the sun azimuth A from the siderial time H, the geographical
// latitude of the observer phi, and the declination of the sun delta
// azimuth is counted from north (zero) to east (90) ...
double SunAzimuth( double H, double delta, double phi );

// int d    day in gregorian calender
// int m    month in gregorian calendar
// int j    year in gregorian calender
// int zone  time zone, -1 for MET, -2 for MEST, 0 for UTC
// double t  time in hours since midnight
// phi      geographical latitude, positive for northern hemisphere
// lw       geographical longitude, positive for west of Greenwich
// A        azimuth of sun, relative to north, in degree
// h        elevation of sun over horizon, in degree
void ComputeSunPosition( int j, int m, int d, int zone, double t,
                        double phi, double lw,
                        double& A, double& h );
TreesVisLib::LOCALCOORD CalcSunDir(const TreesVisLib::CPointInTime &zp, double phi, double lw);

#endif // SUNPOSITION_H

```

Datei: SunPosition.cpp

```

#include <math.h>
#include <iostream>
#include <assert.h>
#include "SunPosition.h"

#define M_PI    3.14159265358979323846

using namespace TreesVisLib;

// formulae taken and adapted from
// http://www.astro.uu.nl/~strous/AA/en/reken/zonpositie.html

// compute julian day number
// double J  julian day number in gregorian calendar -> OUTPUT
// int d    day in gregorian calender
// int m    month in gregorian calendar
// int j    year in gregorian calender
// int zone  time zone, -1 for MET, -2 for MEST, 0 for UTC
// double t  time in hours since midnight
double JulianDay( int d, int m, int j, int zone, double t )
{
    double J;

    if( m<2 )
    {

```

```

    m+=12;
    j-=1;
}
double day = (double)d + (double)zone/24.0 + t/24.0;
double c = 2.0 - floor( (double)j/100.0 ) +
    floor( (double)j/400.0 );
//std::cerr << "day: " << day << " c: " << c << std::endl;
J = floor( 1461.0*((double)j+4716.0)/4.0 ) +
    floor( 153.0*((double)m+1.0)/5.0 ) +
    (double)day + c - 1524.5;

return J;
}

// compute mean anomaly M in degree for earth for julian day number
double MeanAnomaly( double J )
{
    double M;
    M = 357.5291 + 0.98560028*( J - 2451545.0 );
    //std::cerr << "mean anomaly: " << M;
    if( M >= 360.0 )
        M -= 360.0*floor( M/360.0 );
    else if( M < 0.0 )
        M += 360.0*floor( M/360.0 );
    assert( M >= 0.0 && M < 360.0 );
    //std::cerr << " mean anomaly: " << M << std::endl;
    return M;
}

// compute true anomaly nu in degree for earth from mean anomaly M in degree
double TrueAnomaly( double M )
{
    double nu;
    double Mrad = M/180.0*M_PI;
    nu = M + 1.9148*sin( Mrad ) + 0.0200*sin( 2*Mrad ) + 0.0003*sin( 3*Mrad );
    if( nu >= 360.0 ) nu-=360.0;
    else if( nu < 0.0 ) nu+=360.0;
    //std::cerr << "true anomaly: " << nu << std::endl;
    return nu;
}

// compute ecliptical longitude of the sun l in degree, seen from earth
// for this we need the true anomaly nu (in degree)
double EclipticalLongitude( double nu )
{
    double l;
    l = nu + 102.9372 + 180.0;
    if( l>=360.0 ) l-=360.0;
    //std::cerr << "ecliptical longitude: " << l << std::endl;
    return l;
}

// compute the declination of the sun delta in degree from its ecliptical
// longitude l
double EquatorialDeclination( double l )
{
    double delta;
    delta = asin( sin( l/180.0*M_PI ) * sin( 23.45/180.0*M_PI ) );
    delta *= 180.0/M_PI;
    //std::cerr << "sun declination: " << delta << std::endl;

```

```

return delta;
}

// compute the right ascension alpha of the sun in degree from its ecliptical
// longitude l
double EquatorialRightAscension( double l )
{
    double alpha;
    alpha = atan2( sin( l/180*M_PI ) * cos( 23.45/180.0*M_PI ),
                  cos( l/180*M_PI ) );
    alpha *= 180.0/M_PI;
    if( alpha>=360.0 ) alpha-=360.0;
    else if( alpha<0.0 ) alpha+=360.0;
    //std::cerr << "sun right ascension: " << alpha << std::endl;
    return alpha;
}

// compute siderial time theta in degree from the julian date J and the
// longitude lw of an observer on the earth. lw is larger zero, if the
// elliptical longitude is west of Greenwich. lw is in degree
double SiderialTime( double J, double lw )
{
    double theta;
    theta = 280.1600 + 360.9856235*( J-2451545 ) - lw;
    //std::cerr << "siderial time: " << theta;
    if( theta >= 360.0 )
        theta -= 360.0*floor( theta/360.0 );
    else if( theta < 0.0 )
        theta += 360.0*floor( theta/360.0 );
    assert( theta >= 0.0 && theta < 360.0 );
    //std::cerr << " siderial time: " << theta << std::endl;
    return theta;
}

// compute the hour angle H from the siderial time theta and the right ascension
double HourAngle( double theta, double alpha )
{
    double H;
    H = theta-alpha;
    //std::cerr << "hour angle: " << H << std::endl;
    return H;
}

// compute the sun altitude h in degree from the geographical latitude phi,
// the hour angle H, and the sun declination delta
double SunAltitude( double H, double delta, double phi )
{
    double h;
    h = asin( sin( phi/180.0*M_PI )*sin( delta/180.0*M_PI ) +
              cos( phi/180.0*M_PI )*cos( delta/180.0*M_PI )*cos( H/180.0*M_PI ) );
    h *= 180.0/M_PI;
    return h;
}

// compute the sun azimuth A from the siderial time H, the geographical
// latitude of the observer phi, and the declination of the sun delta
// azimuth is counted from north (zero) to east (90) ...
double SunAzimuth( double H, double delta, double phi )
{
    double A;

```

```

A = atan2( sin( H/180.0*M_PI ),
           cos( H/180.0*M_PI ) * sin( phi/180.0*M_PI ) -
           tan( delta/180.0*M_PI ) * cos( phi/180.0*M_PI ) );
A *= 180.0/M_PI;
A += 180.0;
if( A>=360.0 ) A-=360.0;
else if( A<0.0 ) A+=360.0;
return A;
}

// int d    day in gregorian calender
// int m    month in gregorian calendar
// int j    year in gregorian calendar
// int zone  time zone, -1 for MET, -2 for MEST, 0 for UTC
// double t  time in hours since midnight
// phi      geographical latitude, positive for northern hemisphere
// lw       geographical longitude, positive for west of Greenwich
// A        azimuth of sun, relative to north, in degree
// h        elevation of sun over horizon, in degree
void ComputeSunPosition( int j, int m, int d, int zone, double t,
                        double phi, double lw,
                        double& A, double& h )
{
    double J = JulianDay( d, m, j, zone, t ); // julian date
    //std::cerr << "julian date: " << J << std::endl;
    double M = MeanAnomaly( J );           // mean anomaly of earth
    double nu = TrueAnomaly( M );           // true anomaly of the earth
    double l = EclipticalLongitude( nu ); // ecliptical longitude of sun from earth
    double delta = EquatorialDeclination( l ); // sun declination
    double alpha = EquatorialRightAscension( l ); // sun right ascension (length)
    double theta = SiderialTime( J, lw ); // siderial time at location
    double H = HourAngle( theta, alpha ); // hour angle at location
    h = SunAltitude( H, delta, phi ); // height of sun at location
    A = SunAzimuth( H, delta, phi ); // azimuth of sun at location
}

int local_main()
{
    int j, m, d, zone; // year, month, date, time zone
    double t, phi, lw; // time, latitude, longitude
    double A, h; // sun azimuth, sun height
    std::cerr.precision( 6 );
    std::cerr.setf( std::ios::fixed );
    std::cout.precision( 6 );
    std::cout.setf( std::ios::fixed );
    std::cout << "year(integer)= "; std::cin >> j;
    std::cout << "month(integer)= "; std::cin >> m;
    std::cout << "day(integer)= "; std::cin >> d;
    std::cout << "time zone(0 for GMT, -1 for MET, -2 for MEST, ...)= ";
        std::cin >> zone;
    std::cout << "hour(since midnight, decimal)= "; std::cin >> t;
    std::cout << "latitude(decimal degree, north is positive)= "; std::cin >> phi;
    std::cout << "longitude(decimal degree, west is positive)= "; std::cin >> lw;
    ComputeSunPosition( j, m, d, zone, t, phi, lw, A, h );
    std::cout << "sun height(in degree above horizon)= " << h << std::endl;
    std::cout << "sun azimuth(in degree from north)= " << A << std::endl;

    return 1;
}

```

```

LOCALCOORD CalcSunDir(const CPointInTime &zp, double phi, double lw)
{
// int d    day in gregorian calender
// int m    month in gregorian calendar
// int j    year in gregorian calender
// int zone time zone, -1 for MET, -2 for MEST, 0 for UTC
// double t time in hours since midnight
// phi     geographical latitude, positive for northern hemisphere
// lw      geographical longitude, positive for west of Greenwich
// A       azimuth of sun, relative to north, in degree
// h       elevation of sun over horizon, in degree
double t = zp.Uhrzeit.GetHour();
double A,h;
//CTransCoordinates trans;
ComputeSunPosition(zp.Datum.Jahr,zp.Datum.Monat,zp.Datum.Tag,-1,t,phi,lw,A,h);
A *= M_PI / 180.0;
h *= M_PI / 180.0;
LOCALCOORD res;
double p=cos(h);
res.x = -float(sin(A)*p);
res.y = -float(cos(A)*p);
res.h = -float(sin(h));
//normalize(res);
return res;
}

```

Weinacker (2009)

A.4 Ergebnisse

Fluvialmorphologische Berechnungen für die Kleine Wiese und Köhlgartenwiese.

Tabelle A. 1: Ergebnisse der Auswertung der Querprofile der Kleinen Wiese

n = 94	Abv [m²]	Ub [m]	Rh [m]	vmit [m·s-1]	Qbv [m³·s-1]
Minimum	0.60	3.1	0.1	0.4	0.892
Mittelwert	8.05	12.1	0.8	1.7	35.755
Median	6.82	11.7	0.6	2.2	15.273
Maximum	56.45	24.6	3.9	8.4	476.522
Standartabweichung	7.02	3.6	0.4	1.3	52.253
Variationskoeffizient [-]	0.87	0.3	0.7	0.5	

Tabelle A. 2: Berechnete Flussleistung der Kleinen Wiese

Flussleistung Ω [W·m-1]	Median Qbv	Mittelwert Qbv
Sohlgefälle	3541.7	8291.3
Talgefälle	4746.5	11111.8

Tabelle A. 3: Berechnete spezifische Flussleistung der Kleinen Wiese

spezifische Flussleistung ω [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]	Median Qbv		Mittelwert Qbv	
	Median Bbv	Mittelwert Bbv	Median Bbv	Mittelwert Bbv
Sohlgefälle	311.6	314.7	729.5	736.7
Talgefälle	417.6	421.7	977.7	987.3

Tabelle A. 4: Ergebnisse der Auswertung der Querprofile der Köhlgartenwiese

n = 53	A_{bv} [m^2]	U_b [m]	R_h [m]	v_{mit} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	Q_{bv} [$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$]
Minimum	0.29	3.3	0.1	0.5	0.597
Mittelwert	4.93	8.7	0.5	2.9	18.384
Median	2.90	8.7	0.4	2.5	7.318
Maximum	17.49	16.7	1.4	8.9	117.344
Standartab	4.60	3.0	0.3	1.6	27.570
Variationsk	0.93	0.3	0.7	0.6	

Tabelle A. 5: Berechnete Flussleistung der Köhlgartenwiese

Flussleistung Ω [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}$]	Median Q_{bv}	Mittelwert Q_{bv}
Sohlgefälle	3263.4	8197.7
Talgefälle	4887.9	12278.5

Tabelle A. 6: Berechnete spezifische Flussleistung der Köhlgartenwiese

spezifische Flussleistung ω [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]	Median Qbv		Mittelwert Qbv	
	Median Bbv	Mittelwert Bbv	Median Bbv	Mittelwert Bbv
Sohlgefälle	378.1	386.0	949.9	969.7
Talgefälle	566.4	578.2	1422.8	1452.4

Gerinnebreite, Gerinnetiefe und mittlere Geschwindigkeit gegen den Abfluss aufgetragen

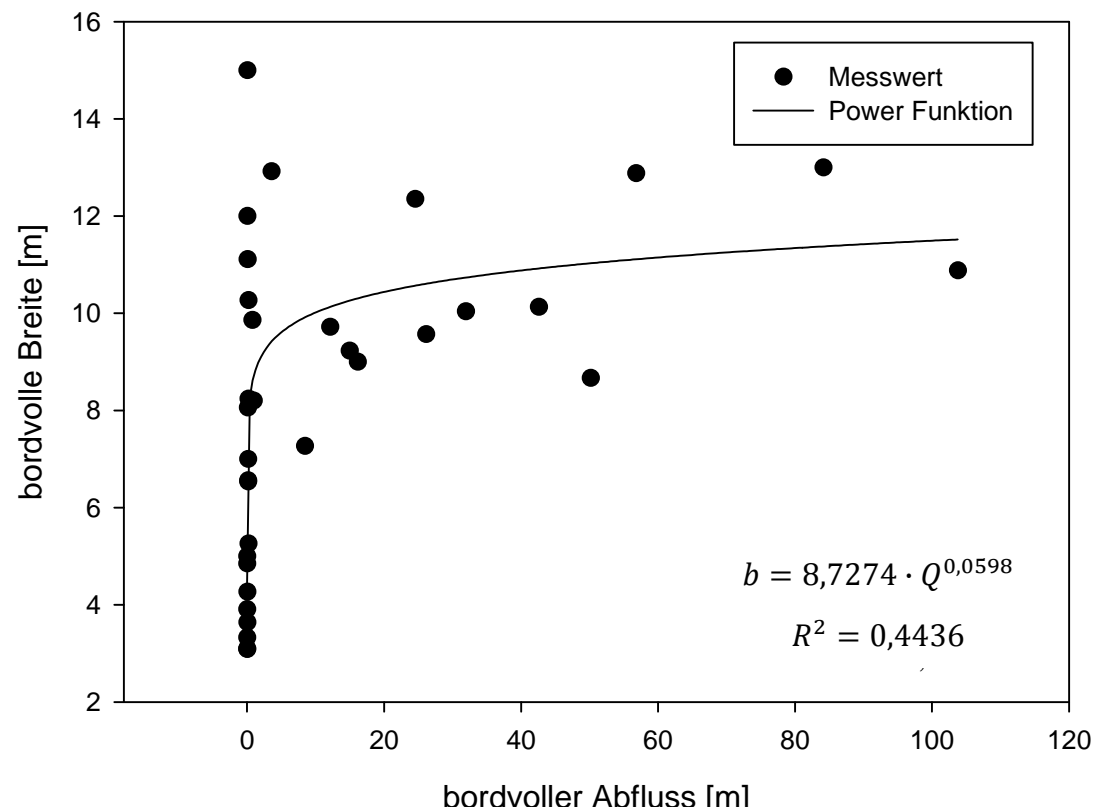


Abbildung A. 16: Zusammenhang zwischen bordvoller Breite und bordvollem Abflusses des Prägbachs

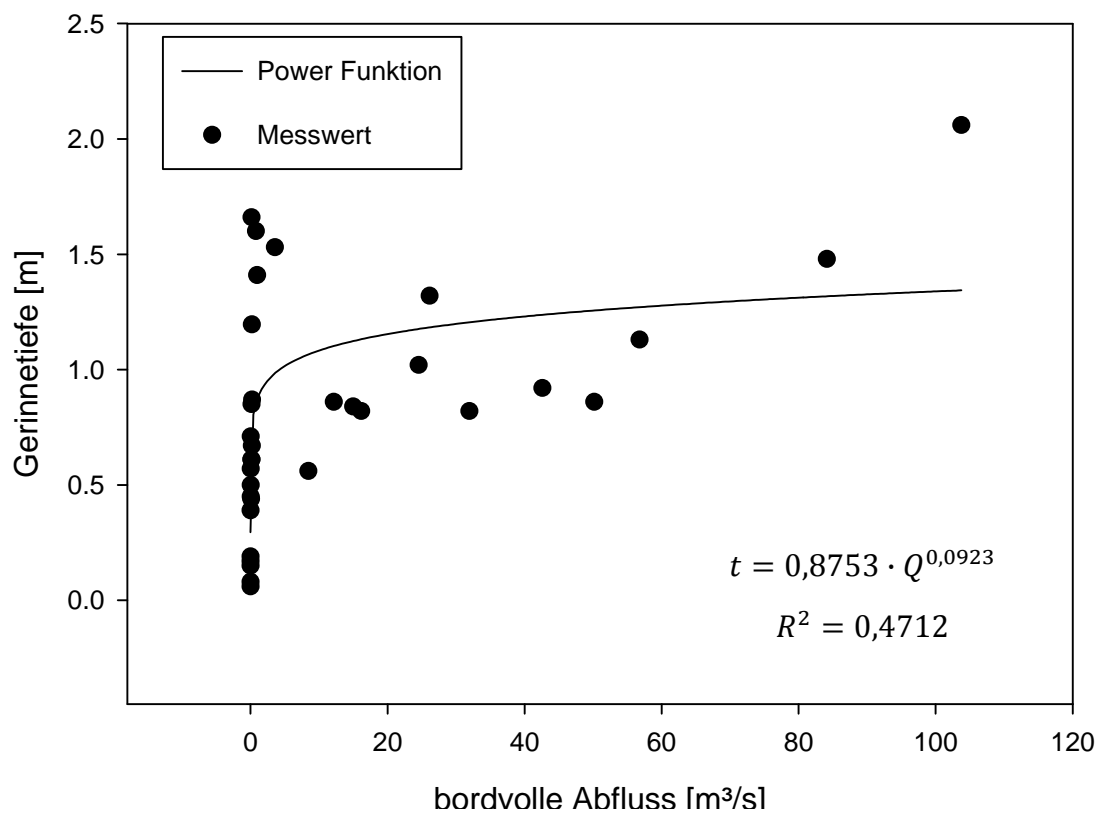


Abbildung A. 17: Zusammenhang zwischen Tiefe und bordvollem Abfluss des Prägbachs

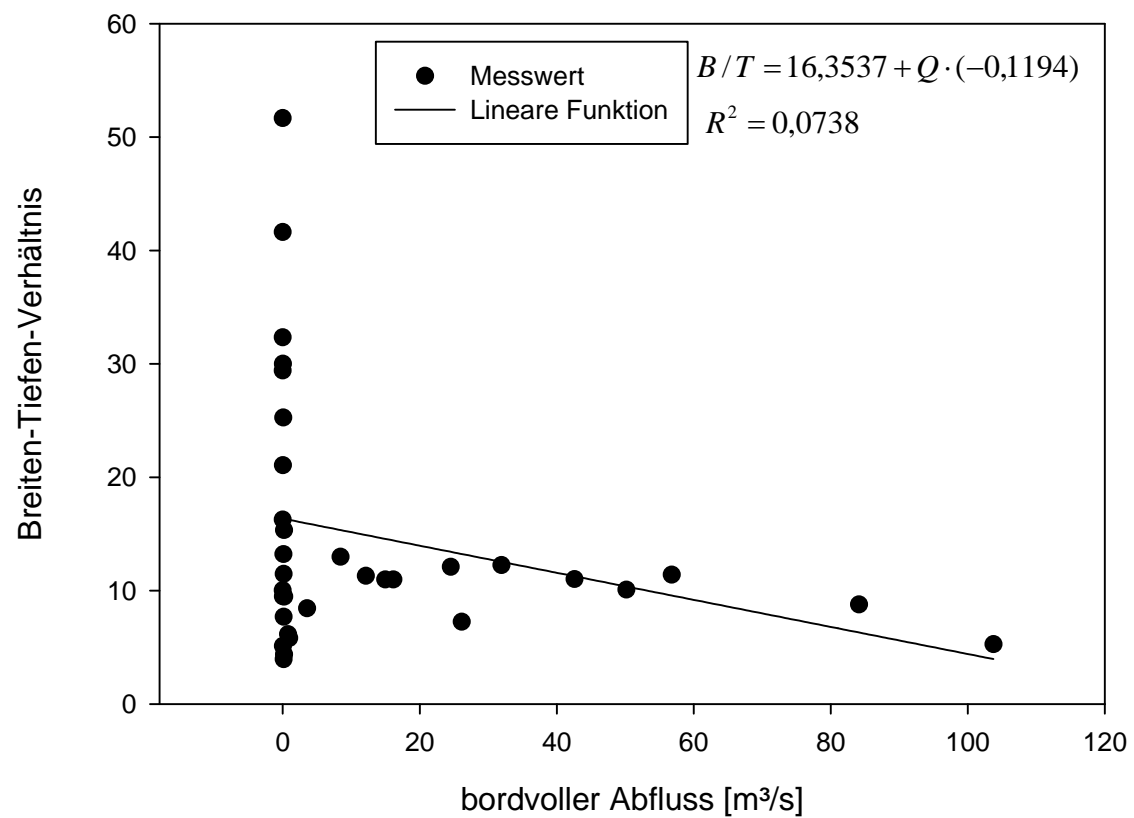


Abbildung A. 18: Zusammenhang zwischen Breiten-Tiefen-Verhältnis und bordvollem Abfluss des Prägbachs

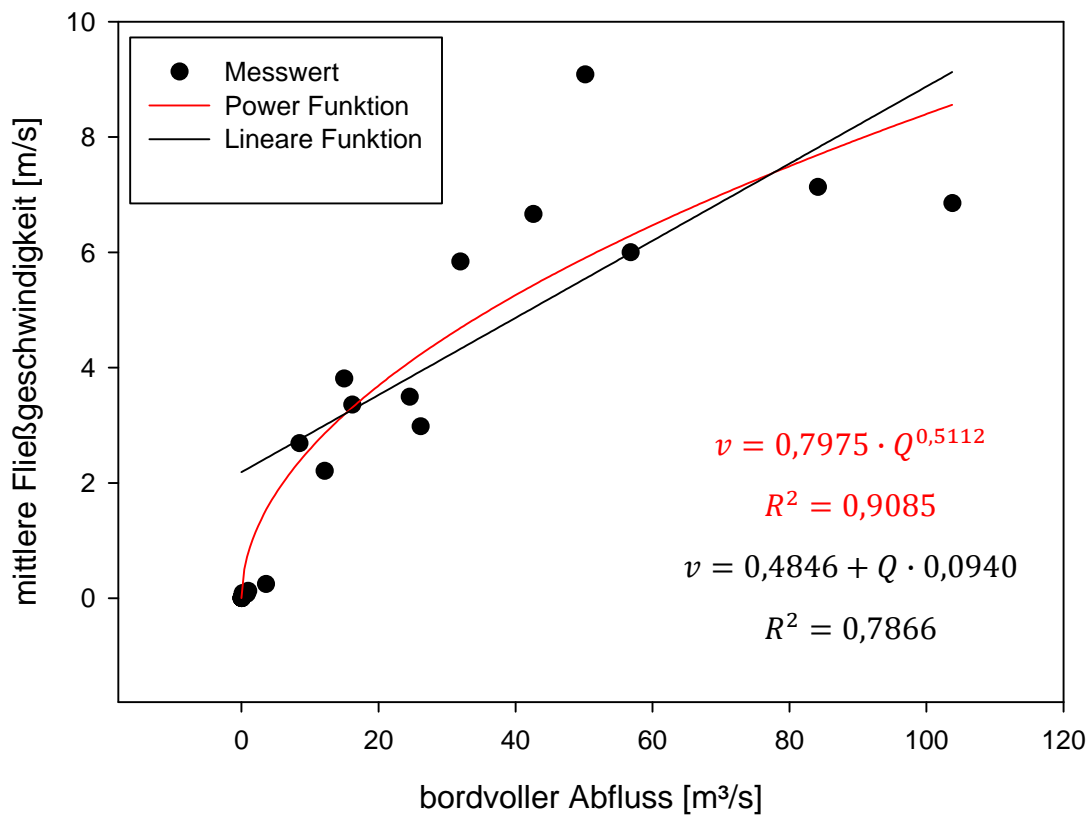


Abbildung A. 19: Zusammenhang zwischen mittlerer Fließgeschwindigkeit und bordvollem Abfluss des Prägbachs

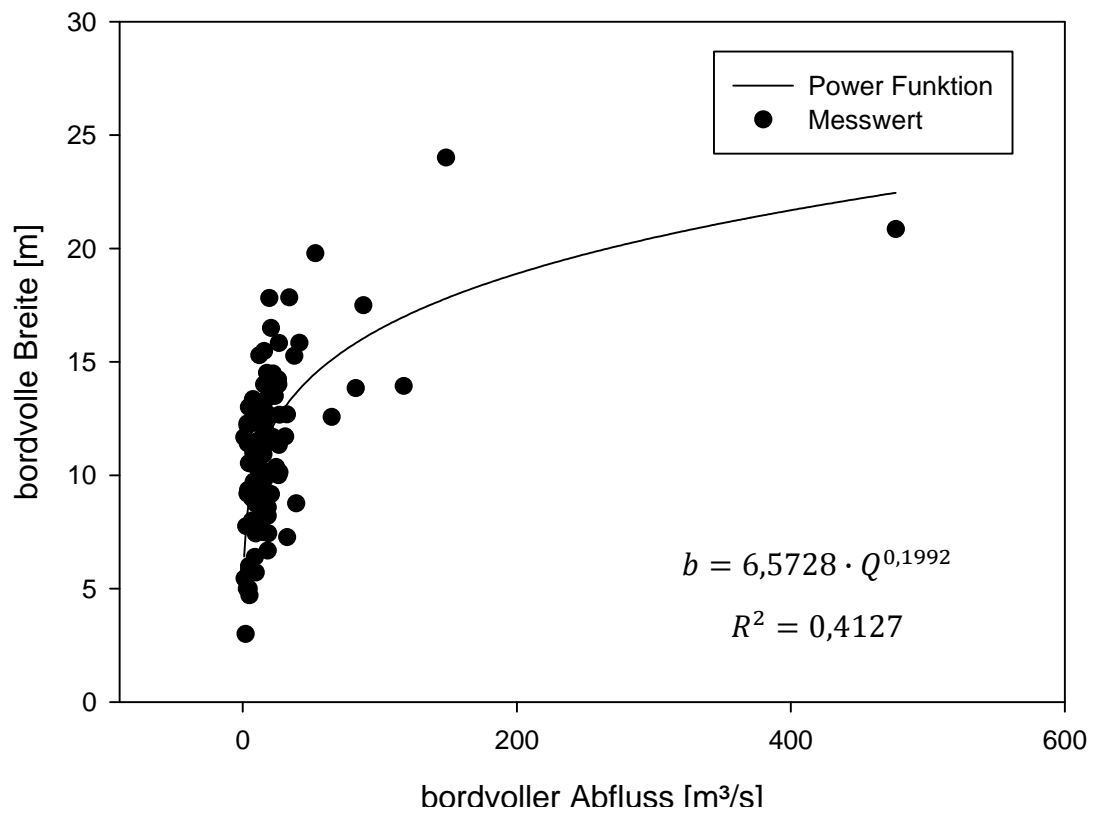


Abbildung A. 20: Zusammenhang zwischen bordvoller Breite und bordvollem Abfluss der Kleinen Wiese

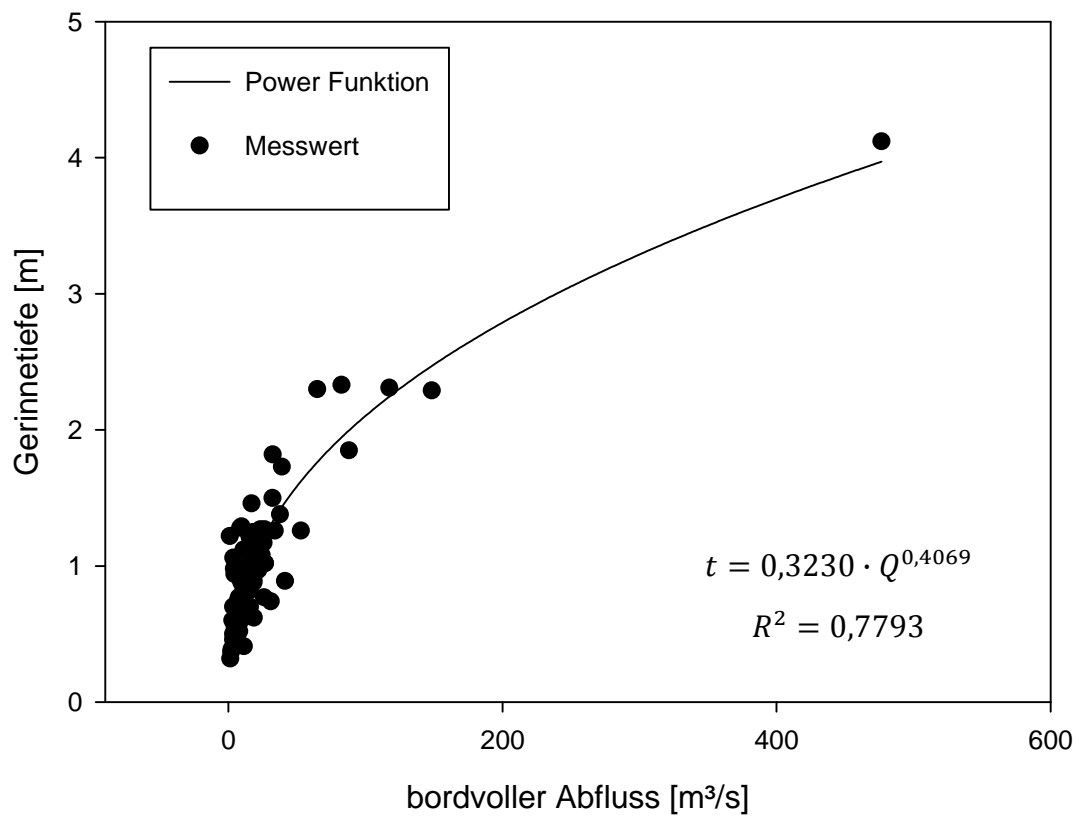


Abbildung A. 21: Zusammenhang zwischen Tiefe und bordvollem Abfluss der Kleinen Wiese

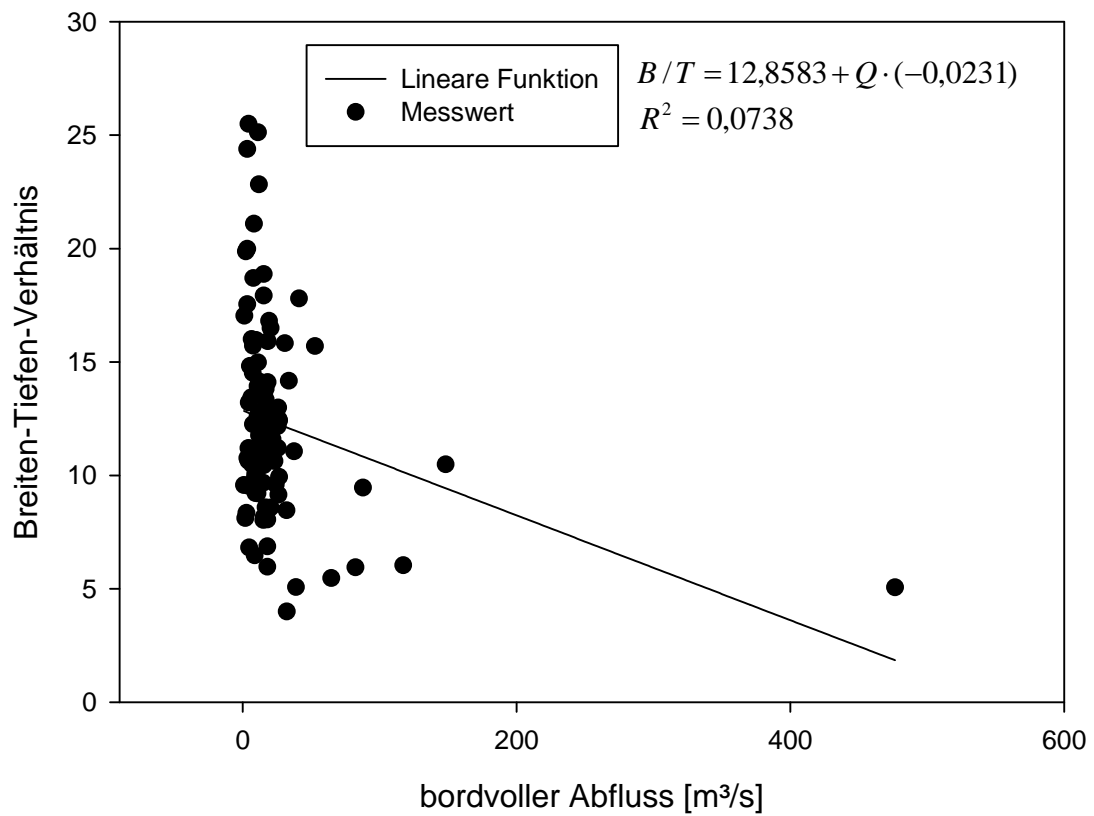


Abbildung A. 22: Zusammenhang zwischen Breiten-Tiefe-Verhältnis und bordvollem Abfluss der Kleinen Wiese

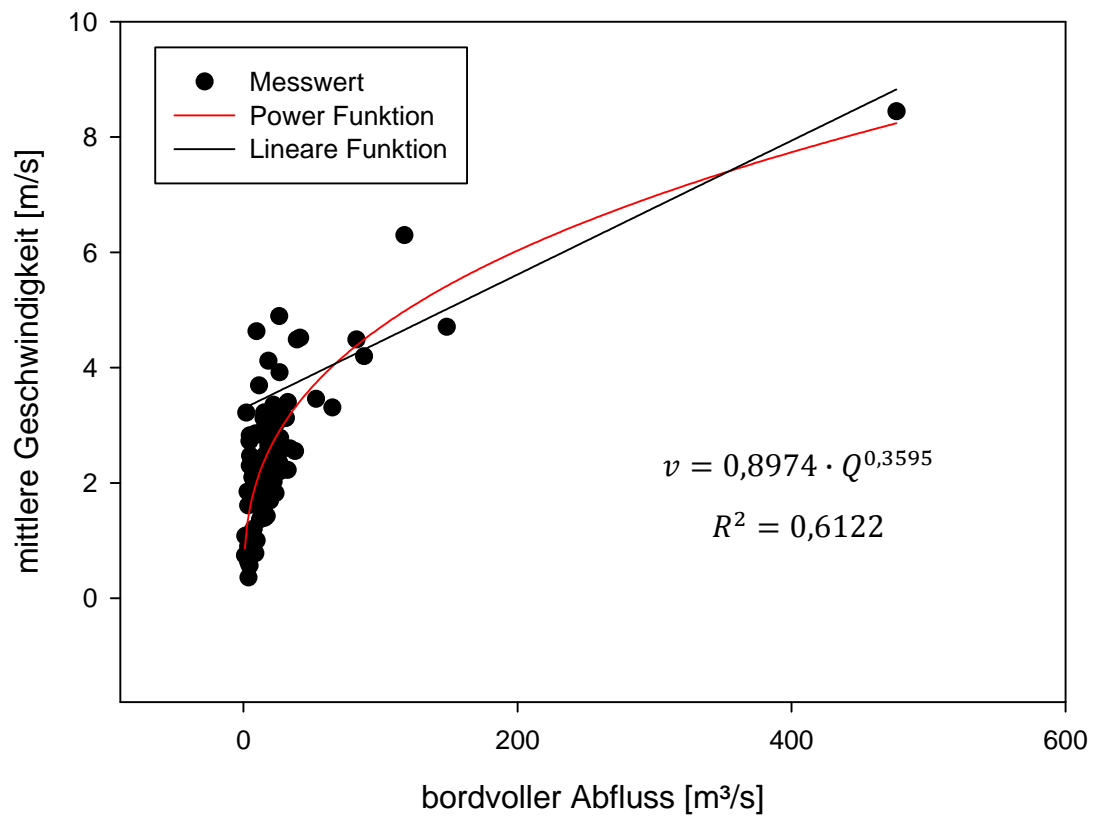


Abbildung A. 23: Zusammenhang zwischen mittlerer Fließgeschwindigkeit und bordvollem Abfluss der Kleinen Wiese

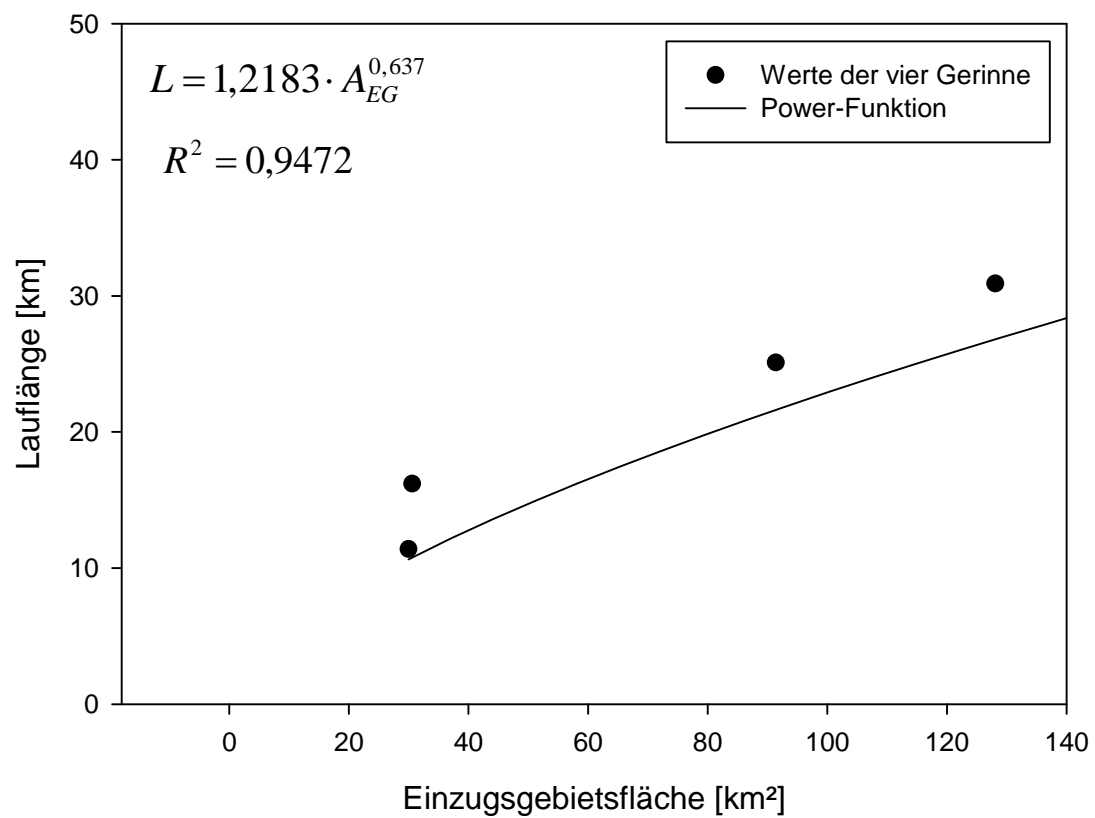


Abbildung A. 24: Zusammenhang zwischen Lauflänge und Einzugsgebietsfläche der vier betrachteten Gerinne

Ergebnisse der Einstrahlungsberechnung für Mittellauf und Unterlauf des Prägbaches

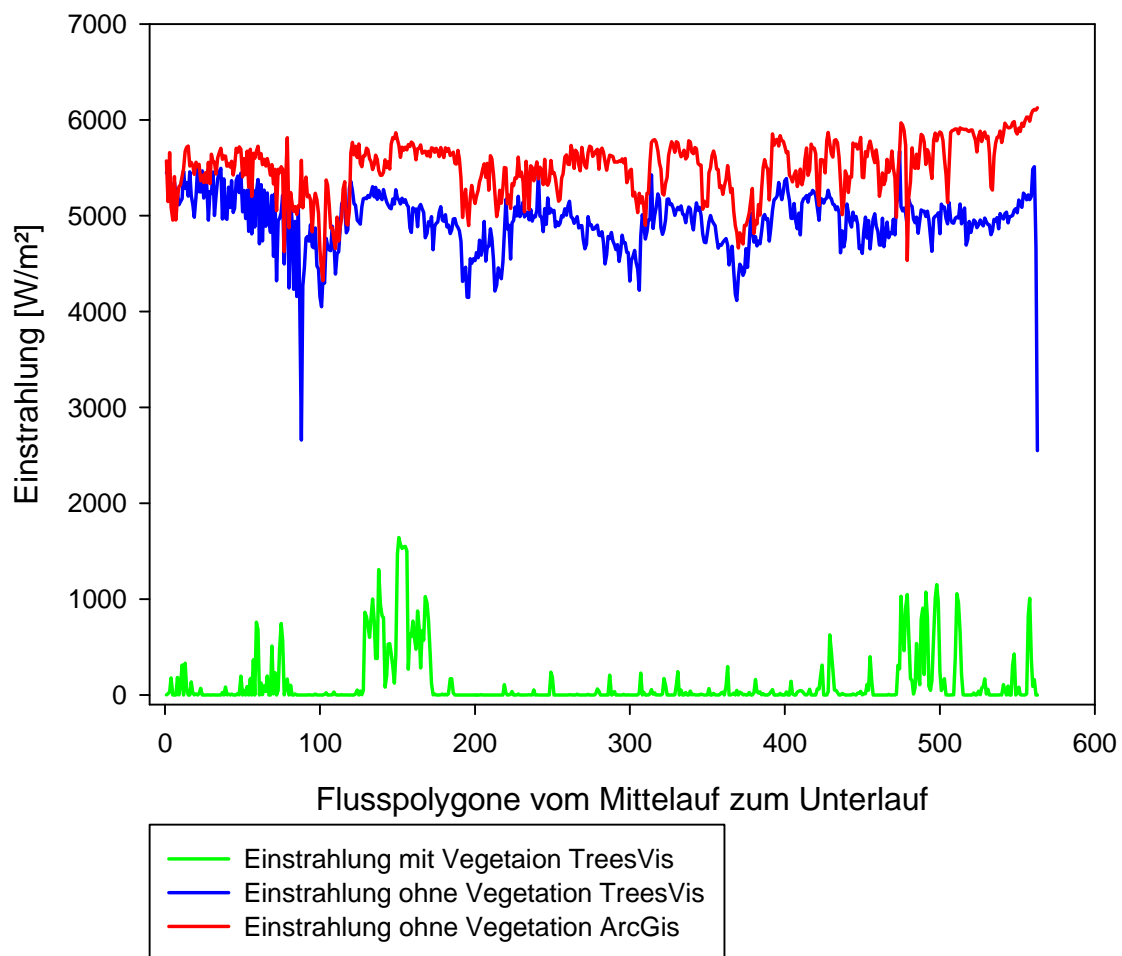


Abbildung A. 25: Einstrahlung ohne Vegetation (ArcGIS), Einstrahlung ohne Vegetation (TreesVis), Einstrahlung mit Vegetation (TreesVis) gegen den Flussverlauf anhand der Flusspolygone am Prägbach

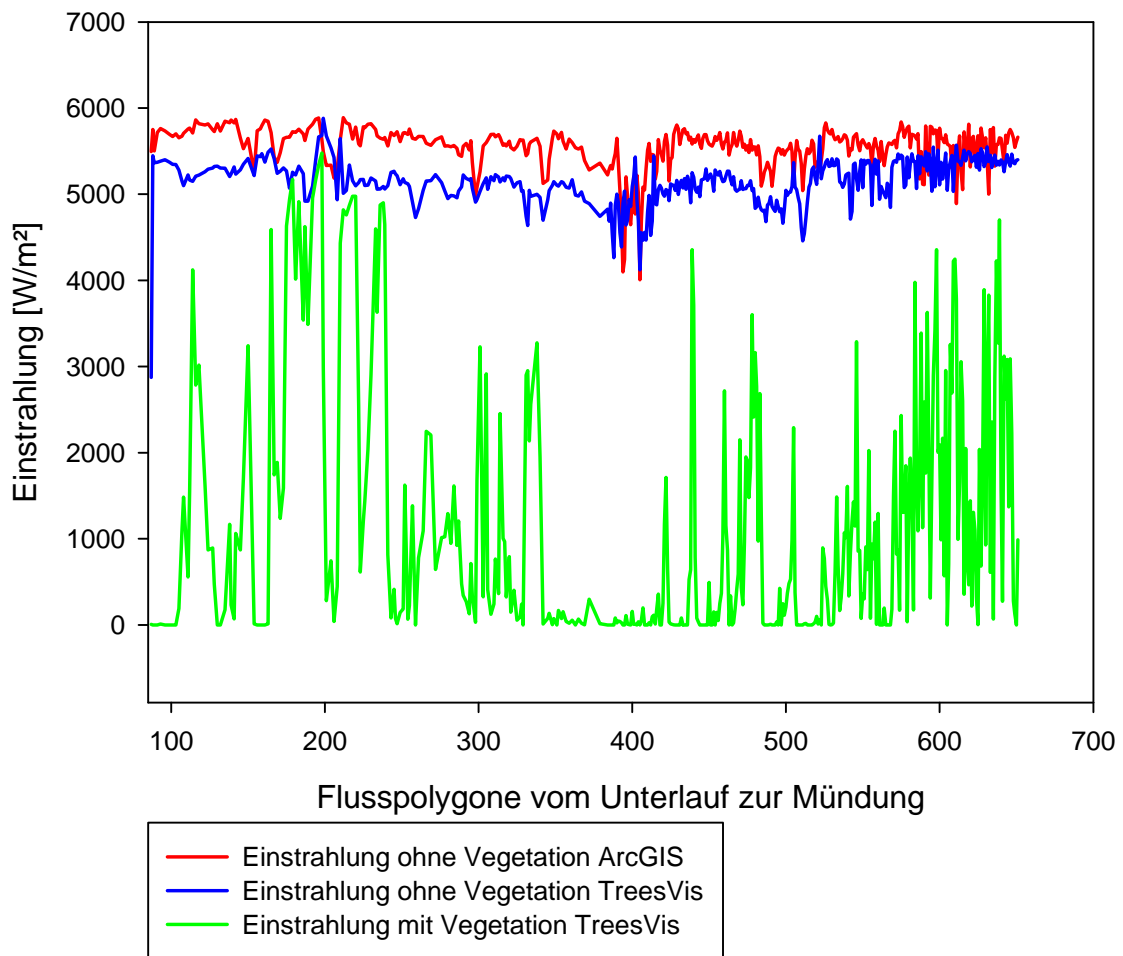


Abbildung A. 26: Einstrahlung ohne Vegetation (ArcGIS), Einstrahlung ohne Vegetation (TreesVis), Einstrahlung mit Vegetation (TreesVis) gegen den Flussverlauf anhand der Flusspolygone am Prägbach

Danksagung

Ich danke Herrn Prof. Dr. M. Weiler, Institut für Hydrologie, für die Themenstellung der Arbeit sowie für die gewährte Unterstützung.

Ich danke Herrn A. Steinbrich, Institut für Hydrologie, für die Betreuung der Programmanwendung von ArcGIS.

Ich danke Frau Prof. Dr. B. Koch, Abteilung Fernerkundung und Landschaftsinformationssysteme, für die Übernahme des Koreferates.

Ich danke Herrn Dr. H. Weinacker, Abteilung Fernerkundung und Landschaftsinformationssysteme, für seine vorbildliche und engagierte Betreuung der Diplomarbeit und seine konstruktiven Ratschläge.

Besonders möchte ich mich bei meinem Mann, G. Praechter, für die Unterstützung während des gesamten Studiums bedanken.

Auch bedanken möchte ich mich bei meinen Kommilitonen Maria Friderich, Noemie Patz und Stephanie Blum für die hilfreichen Anregungen und Unterstützung während der Diplomarbeit.

Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbständig angefertigt habe. Es wurden nur die in der Arbeit ausdrücklich benannten Quellen und Hilfsmittel benutzt.

Ort, Datum

Unterschrift