



Simon Jerg, *1998
Oliver Engels, *1997
Yannick Reuter, *1998

Maria von Linden-Gymnasium,
Calw (Baden-Württemberg)

Eingang der Arbeit:
Oktober 2015

Zur Veröffentlichung angenommen:
Dezember 2015

Einfach zu viel Regen!

Beurteilung des Gefährdungspotentials für Hochwasser

Das Gefährdungspotential für Überschwemmungen infolge lang anhaltender Niederschläge am Beispiel Gechingen wurde beurteilt. Dafür wurde die potentielle Niederschlagsmenge dem Wasserspeichervermögen sowie der Durchlässigkeit der Böden gegenübergestellt. Zusätzlich wurde die geographische Lage Gechingens berücksichtigt.

1 Einführung

In Gechingen ereignete sich am 15. Mai 2009 ein folgenschweres Hochwasser mit hohen Sachschäden. Extrem viel Wasser flutete innerhalb kurzer Zeit den gesamten Ortskern. Niemand hatte damit gerechnet und so konnten auch keine Schutzmaßnahmen eingeleitet werden. Es gab schon einmal ein ähnliches Ereignis um 1950. Doch weitere Überschwemmungen blieben, auf Grund der hochwasseruntypischen Lage Gechingens aus.

Wir haben uns schon letztes Jahr zum Ziel gesetzt, ein Warnsystem für die vom Hochwasser betroffenen Menschen zu entwickeln. Jetzt haben wir eine Methode zur Bestimmung des Gefährdungspotentials für Hochwasser in solchen untypischen Regionen erarbeitet. Dabei war das Hochwasser in Gechingen die Grundlage für die Methode. Zusammen mit Bodenuntersuchungen konnten

wir eine kritische Regenmenge in einer Stunde pro Quadratmeter bestimmen. Das ist der Kerninhalt unseres Frühwarnsystems speziell für Gechingen.

2 Topographie

2.1 Beschreibung mittels topographischer Karte

Gechingen hat eine spezielle geographische Lage. Wie man in der Abb. 1 erkennen kann, treffen bei Gechingen drei Täler zusammen, weshalb bei einem Niederschlagsereignis auch das Oberflächenwasser aus den einzelnen Einzugsgebieten in Gechingen zusammentrifft. Das Wasser sammelt sich zunächst in einer Mulde im Ortskern, die nach Osten hin offen ist. Im weiteren ostwärtigen Verlauf des Gewässers Irm tritt am Ortsende von Gechingen eine Engstelle auf, die mit ihrer endlichen Durchflussrate die Wassermassen bremst. Am Tag der Überschwemmung flutete eine so riesige Wassermasse den Ort, dass

sich die Wassermassen über die Mulde hinweg zurückstauten und Gechingen fluteten. Es wurde mehr Wasser in die Mulde hinein transportiert als über die Engstelle abfließen konnte (Flaschenhalseffekt). Der tiefste Punkt, der Ortskern von Gechingen, ist in Abb. 1 mit einem roten Pfeil markiert.

2.2 Das Modell

Für eine bessere Vorstellung der geographischen Situation um Gechingen haben wir ein Schichtmodell im Maßstab 1:3700 konstruiert, anhand dessen man folgendes erkennt:

Die farblich markierten Schichten in Abb. 2 stellen die 500 m (rot) – und die 480 m (braun) – Höhenlinie dar. Die 3 blauen, schmalen Pfeile um den Ort herum stellen die Täler dar, die die Wassermassen aus dem Einzugsgebiet zusammenführen und nach Gechingen transportieren. Dort sammelt sich das

Wasser. Am Ende des Ortes befindet sich die Engstelle in den Aidwiesen. Durch diese Verengung kann das Wasser nicht schnell genug abfließen, wodurch es sich zurückstaut und Gechingen überflutet. Das Modell ist um den Faktor 3,7 überhöht, da der Höhenmaßstab 1:1000 ist.

Zum Bau des Modells verwendeten wir 1000 x 500 x 10 mm-Hartschaumplatten. Davon befestigten wir jeweils 2 der Länge nach an einer Pinnwand. Mittels Beamer und Visualizer projizierten wir eine topographische Karte im Maßstab 1:50 000 darauf. Dann zeichneten wir jeweils eine Höhenlinie nach. Diesen Vorgang wiederholten wir mit den Höhenlinien 460 – 560 m. Die nachgezeichneten Linien schnitten wir an einem heißen Draht aus. Danach stapelten wir die zwei sich jeweils entsprechenden Styroporplatten der Höhe nach auf einem 1 m x 1 m-Brett und klebten sie mit wasserfestem Holzleim zusammen. Dabei achteten wir auf exaktes Arbeiten (zeichnen, schneiden, stapeln, kleben).

In unserem Maßstab entspricht eine Plattendicke 10 Höhenmeter. Je nach Abstand der zwei übereinander liegenden Platten ergibt sich die Steigung an unterschiedlichen Stellen. Zum Schluss veredelten wir das Modell mit einer Schicht weißer Wandfarbe auf der Oberfläche.

Das Modell wurde zur Visualisierung der geographischen Lage Gechingens angefertigt. Dadurch konnten wir zum Beispiel die einzelnen Täler feststellen. Desweiteren diente es als aussagekräftiges Exponat.

2.3 Vermessung des Bachs Irm

Zur Bestimmung des maximalen Volumenstroms benötigen wir den Durchfluss und die maximale Querschnittsfläche des Flussbetts.

Den aktuellen Durchfluss ermittelten wir vor Ort mittels eines Stück Styropors, das wir über eine festgelegte Strecke auf dem Bach schwimmen ließen und dabei die Zeit maßen (Schwimmermessung). Für die Bestimmung der maximalen Querschnittsfläche bestimmten wir die Höhe und Breite des Flussbetts. Anhand der Formel zur Ellipsenflächenberechnung bestimmten wir die maximale Querschnittsfläche. Den ermittel-



Abb. 1: Schema der Geologie Gechingens; Karte nordweisend; (Skizze: OpenStreetMap Germany).

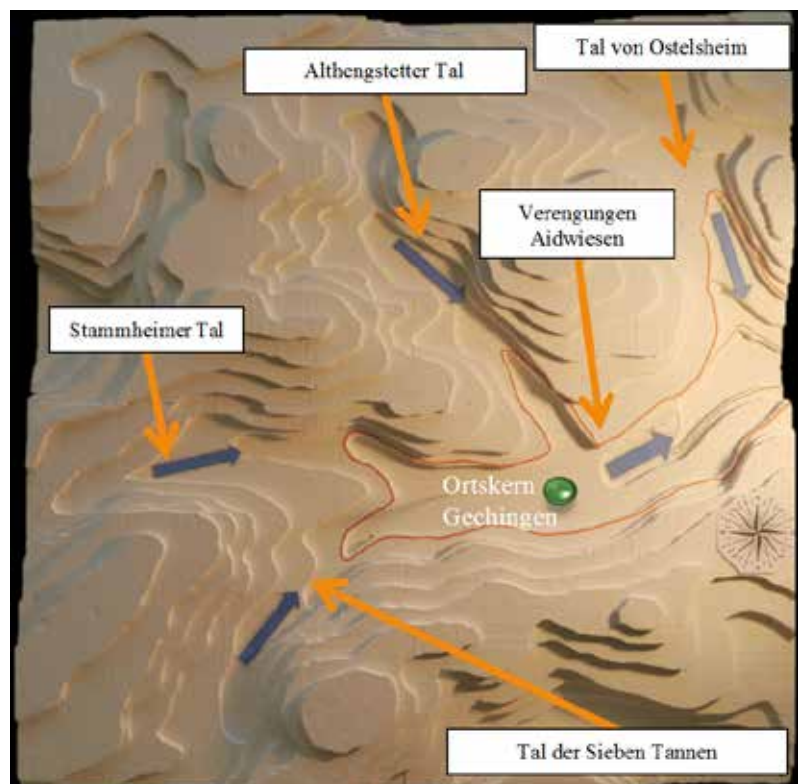


Abb. 2: Vogelperspektive Schichtmodell; nordweisend [11].



Abb. 3: Bachlauf Irm [11].

ten Durchfluss multiplizierten wir mit der maximalen Querschnittsfläche nach der Formel

$$V_{\max} = A_{\max} \cdot D$$

und erhielten den maximalen Volumenstrom von $1,44 \cdot 10^8 \frac{1}{h}$. Dieser Wert dient in unserer Bilanzierung als Oberflächenwasserabfluss durch den Bach.

3 Meteorologie

3.1 Wetterlage am 15. Mai 2009

Um mehr über die spezielle Großwetterlage am Tag des Hochwassers am 15. Mai 2009 (siehe Abb. 4.) zu erfahren, setzten wir uns mit Wetterkarten von Großwetterlagen in 2009 der Berliner Wetterkarte und Aussagen des ortsansässigen Hobbymeteorologen Dr. Norbert auseinander. Vor der Überschwemmung gab es Regenwolken. Diese sind nicht weitergezogen, sondern standen bewegungslos über dem gesamten Einzugsgebiet um Gechingen, und führten dort zu ergiebigen Niederschlägen. Zusätzlich kam es am Tag der Überschwemmung zu starken Gewittern.

Über Gechingen (ungefähr orangefarbener Punkt in Abb. 4) lagen die Isobaren weit auseinander. D.h. hier gab es kaum Wind, der die Gewitterwolken, die sich über Gechingen festgesetzt hatten, hätten abtransportieren können. Somit folgte ein flächendeckender Niederschlag in Form von Regen.

In Abb. 5 sieht man die einzelnen akkumulierten Niederschlagsdaten der letzten 10 Jahre im Mai. Es fällt ein starker Ausschlag im Mai 2009, aber auch 2007 und 2013 auf. Doch nur in 2009 gab es eine Überschwemmung. Bei all den anderen Jahren trat eine andere zeitliche Verteilung des Niederschlags über dem gleichen Zeitraum auf, daher kam es nicht zur Überschwemmung. Die Niederschlagsdaten von 2007, 2009 und 2013 sind weit über dem Mittelwert von 1961 bis 1990 (Mai 2009: 157 % darüber).

3.2 Bewertung zur Häufigkeit dieser Wetterlage

Nach einer mündlichen Mitteilung von Martini gehen wir davon aus, dass solch eine Wetterlage selten vorkommt, da die Isobaren normalerweise nicht so einen großen Abstand über Deutschland haben. So kommt es auch sehr selten vor, dass sich Gewitter fast nicht bewegen. Die Wahrscheinlichkeit für diese charakteristische Großwetterlage ist im Mai und Dezember am höchsten. Dort sind allgemein die Jahreszeiten Frühling und Herbst vorüber. Ein großer Austausch von warmen und kalten Luftmassen zwischen Nord und Süd erfolgt hier nicht mehr.

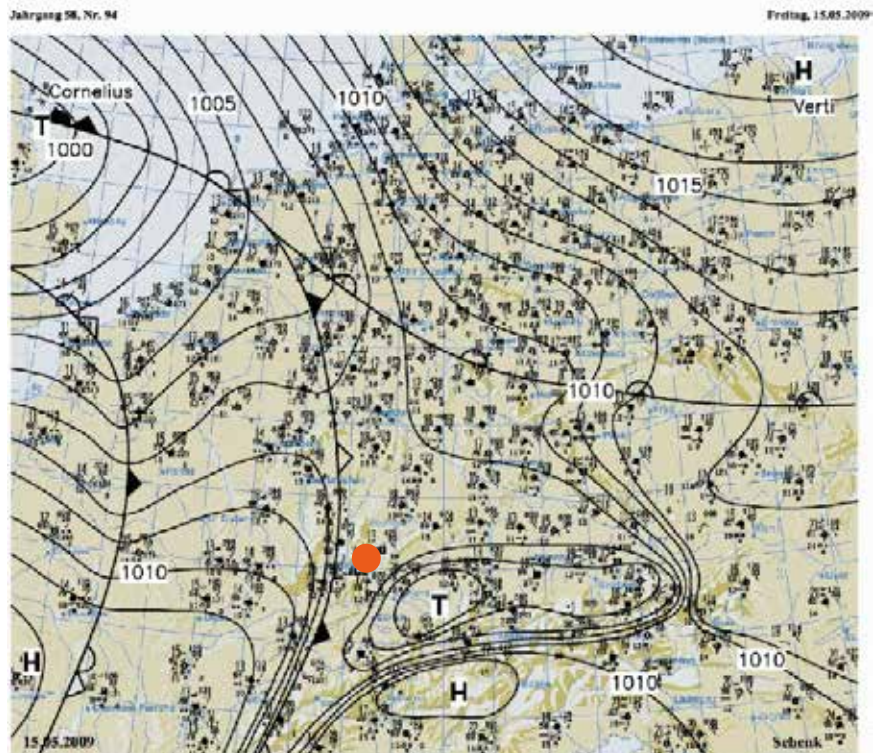


Abb. 4: Großwetterlage am 15.05.2009. [1]

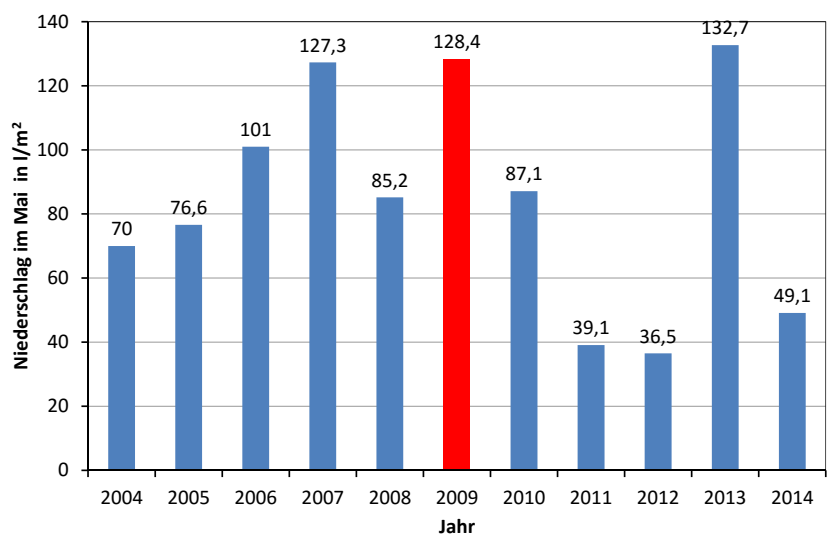


Abb. 5: Niederschlag im Monat Mai in den Jahren von 2004 bis 2014 [9].

Deshalb können hier so windarme Gebiete entstehen. Doch muss man angesichts der tieferen Temperaturen im Dezember den Schneefall berücksichtigen, der zunächst nicht zu einer Überschwemmung beiträgt.

4 Bodenkundliche Untersuchungen

Neben der Wassermenge, die als Niederschlag auf den Boden auftrifft, ist es entscheidend zu wissen, welcher Teil des Niederschlags vom Boden gespeichert oder bei vollständiger Sättigung der Böden einfach durchfließt. Diese Durchlässigkeit wird auch Permeabilität oder Infiltration genannt (lat.:

permeare – „durchlassen“). Für unsere Berechnung ist es wichtig, das Bodenvolumen des Einzugsgebietes, in dem das Hochwasser in Gechingen generiert wurde, abzuschätzen. So bestimmten wir die Bodentiefe an unterschiedlichen Stellen in dieser Region.

4.1 Charakterisierung des Einzugsgebietes

Im Einzugsgebiet um Gechingen befinden sich drei Täler. Wir teilen jedes große Tal in höchste und flachere Bereiche (Berg), steilere (Hang), sowie tiefe und flachere Bereiche (Tal) ein. Jede Tal-Position bewegt sich zwischen

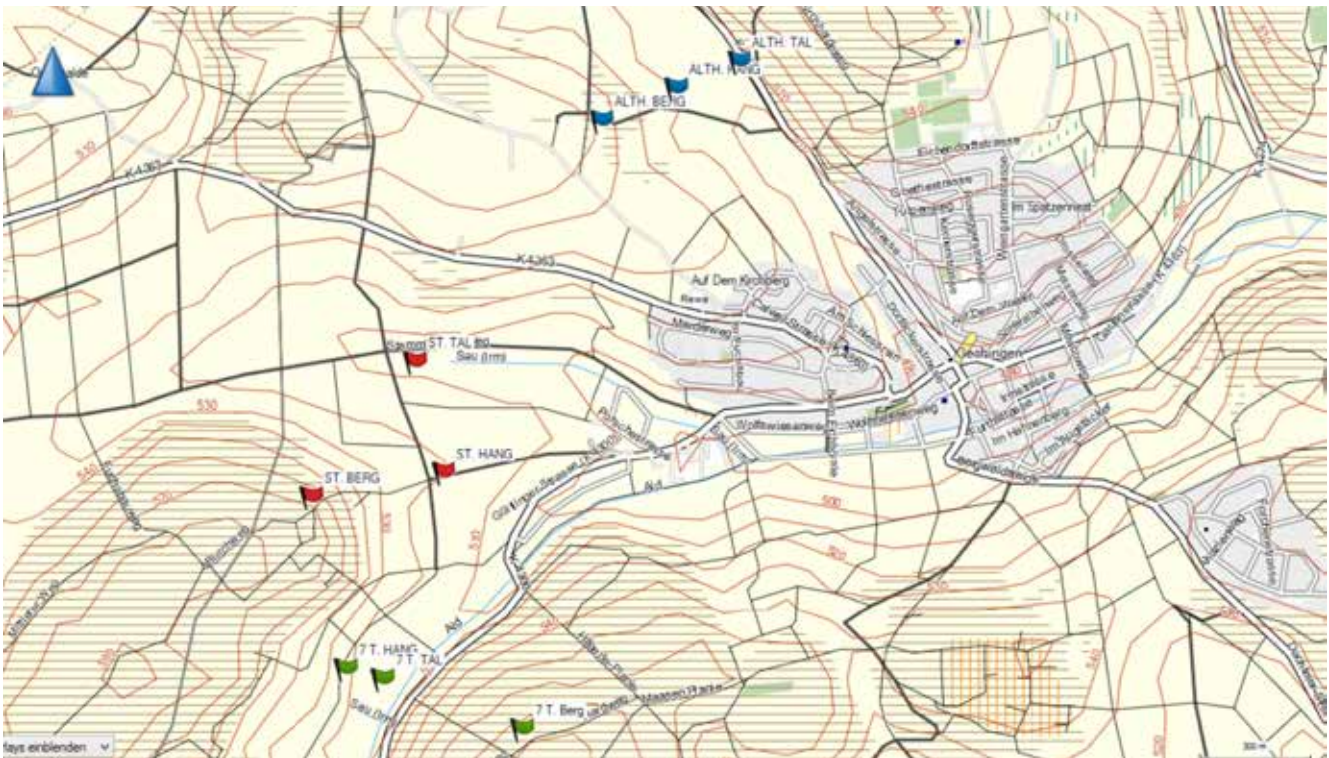


Abb. 6: Auswahl der Probenpositionen für Bodentiefe Messung und Wasserspeicherkapazität; nordweisend (Skizze: OpenStreetMap Germany).

der 510 und 520 Höhenmeterlinie, die Berg Positionen sind auf einer ebenen Fläche hauptsächlich in der Nähe der 570 m Linie. Die Hangproben entnahmen wir an Stellen, an denen die Höhenlinien sehr dicht aneinander liegen. Die genauere Verteilung unterlag zum einen dem Kriterium der Erreichbarkeit mit dem Auto und des Zufalls, aber vielmehr der relativ gleichen geologischen und pedologischen Formationen in den jeweiligen Tälern, die wir aus GIS-Karten [12] bzw. einer geologischen Karte [17] entnahmen. So konnten wir repräsentative Ergebnisse für die gesamte Region um Gechingen erzielen. Positionen im Althengstetter Tal sind in Abb. 6 blau, im Stammheimer Tal rot und im Tal der Sieben Tannen grün gekennzeichnet. Tab. 1 zeigt die Koordinaten zu den Probenpositionen.

4.2 Bodentiefe

Für die Messungen der Bodentiefe standen ein Bohrstock (Länge 1 m), ein Bohrstock (Länge 2 m) bestehend aus zwei verschraubbaren Teilen, ein großer, weißer Gummihammer, ein Hebelarm, diverse Holzklötze sowie ein Griff- und Reinigungsgerät zur Verfügung. Wir gingen wie folgt vor:

1. Wir hielten das kurze Stechrohr senkrecht auf den Boden und schlu-

Probenposition	Koordinate
Althengstetter Tal, Berg	N48° 42.149' E8° 49.240'
Althengstetter Tal, Hang	N48° 42.139' E8° 49.213'
Althengstetter Tal, Tal	N48° 42.116' E8° 49.183'
Stammheimer Tal, Berg	N48° 41.514' E8° 48.245'
Stammheimer Tal, Hang	N48° 41.549' E8° 48.551'
Stammheimer Tal, Tal	N48° 41.724' E8° 48.420'
Tal der Sieben Tannen, Hang	N48° 41.262' E8° 48.325'
Tal der Sieben Tannen, Tal	N48° 41.249' E8° 48.410'
Tal der Sieben Tannen, Berg	N48° 41.175' E8° 48.735'

Tab. 1: Koordinaten zu den Probenpositionen.

- gen gezielt sowie kräftig mit dem Hammer auf das obere Ende.
- Sobald das Stechrohr bis zum Anschlag im Boden steckte, führten wir den Hebelarm in die dafür vorgesehene Öse und drehten mittels diesem das Stechrohr um 360°.
- Nun hebelteten wir mit Hilfe der Holzklötze das Stechrohr vorsichtig heraus.

- Anschließend führten wir das lange Stechrohr ein und schlugen weiter mit dem Hammer darauf.
- Am Anschlag wiederholten wir den Schritt 2 und 3.
- Jetzt maßen wir die Bodentiefe des kurzen und des langen Stechrohres, addierten beide Werte und erhielten so die Bodenmächtigkeit.

Oft blockierten kleinere Steine die Messung. Dies behoben wir durch Drehen der Stechrohre. Wenn das Stechrohr nicht mehr weiter in den Boden hineingeht, so federt der Hammer deutlich stärker zurück. Wir maßen immer auf den Bergen, an den Hängen und an den tiefsten Stellen in den Tälern (Bezeichnung; Berg; Hang; Tal) nach der Catena-Methode. Die Probenpositionen sind in Abb. 6 aufgelistet und die Ergebnisse in Tab. 2. Auffällig ist, dass die Bodentiefe mit zunehmender geographischer Höhe abnimmt. Der Boden wird kontinuierlich durch Erosion in Richtung Tal abgetragen.

4.3 Wasserspeicherkapazität

Die Wasserspeicherkapazität der Böden im Einzugsgebiet der Überschwemmung gibt uns Auskunft darüber, wieviel Wasser der entsprechende Boden in einem bestimmten Volumen aufnehmen kann.

4.3.1 Entnahme der Volumenproben im Gelände

Wir bekamen Stechzylinder mit den vorgesehenen Werkzeugen (Hammer und Führung) von der Universität Tübingen [7] zur Verfügung gestellt. Die Probenentnahme in jedem der drei Täler rund um Gechingen lief folgendermaßen ab. Dabei wurden jeweils zwei Proben auf dem Berg, am Hang und im Tal pro Bodenschicht genommen. Wir huben mit Spaten und Schaufel ein Loch aus (min. 50 cm x 40 cm x 35 cm). Danach massen wir die Tiefe des Lochs. Jetzt setzten wir in die Führung einen Stechzylinder (ohne Deckel) und drückten alles leicht an eine senkrechte Wand im Loch. Nun schlugen wir den Stechzylinder bis zur Markierung auf der Führung in den Boden.

Anschließend nahmen wir den Stechzylinder heraus und schabten die überstehende Erde mit der Spachtel ab. Der Stechzylinder wurde mit Beschriftung und den zwei Deckeln in dem dafür vorgesehenen Koffer verstaut. Es war gelegentlich ein heller und ein dunklerer Bodenhorizont zu sehen. Der dunklere Bodenhorizont lag immer oben vor. Darunter lag ein etwas feinporigerer und gelblicherer Horizont. In Abb. 8 (Seite 49) stellt die orange Linie die Grenze zwischen den beiden Schichten dar. Die

Tal	Position	Gemessene Tiefe in m	Mittelwert in m
Althengstetter Tal	Berg	1,10	0,51
		0,45 - 0,57	
	Hang	0,63	0,57
		0,51	
	Tal	2,00	1,755
Stammheimer Tal		1,51	
	Berg	0,52	0,48
		0,44	
	Hang	0,89	0,85
		0,81	
Tal der Sieben Tannen	Tal	0,83	0,89
		0,95	
	Berg	0,52	0,48
		0,44	
	Hang	1,50	1,425
	1,35		
	Tal	1,90	1,875
		1,85	

Tab. 2: Ergebnisse der Bodentiefe Messungen.

Probenposition	Mittelwert Feldkapazität in g
Althengstetter Tal, Berg	27,0
Althengstetter Tal, Hang	28,1
Althengstetter Tal, Tal	32,2
Stammheimer Tal, Berg	23,9
Stammheimer Tal, Hang	25,2
Stammheimer Tal, Tal	22,6
Stammheimer Tal, Wald	26,8
Tal der Sieben Tannen, Tal	27,3
Tal der Sieben Tannen, Hang	25,6
Tal der Sieben Tannen, Berg	25,6

Tab. 3: Feldkapazität der verschiedenen Bereiche im Einzugsgebiet (gerundet).

schwarze Linie dient lediglich zur Veranschaulichung der Horizonte im Raum.

4.3.2 Bestimmung der Wasserspeicherkapazität

Wir ermittelten die maximale Wasserspeicherkapazität und bestimmten laut

[6] die „Feldkapazität“ (S. 3 [6]). Das ist „[...] der Wassergehalt, den ein Boden gegen die Schwerkraft zu halten vermag (Haftwasser).“ (S.3 [6]). Dafür nutzten wir folgendes Material und Geräte: Proben in Stechzylindern (siehe 4.2.1 Entnahme der Volumenproben im Gelände), Trockenschrank,

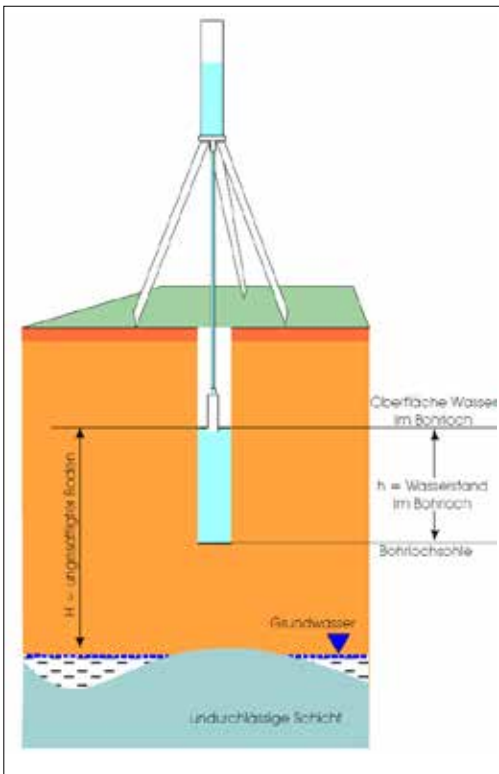


Abb. 7: Aufbau Permeameter im Gelände; a) Prinzipbild b) reale Situation [11] (mit freundlicher Genehmigung von Heinrich Wiltschut, Lügde [4]).

Waage, mehrere Rundfilter, zwei (oder mehr) Gitter (z.B. von einer Pflanzenpresse), zwei (oder mehr) große Schalen (für Gitter), Wasser. Der Ablauf war folgender: Als erstes wogen wir die Proben in ihrem Stechring ohne Deckel (= Frischgewicht). Jetzt setzten wir einen Deckel pro Stechring auf und stellten den Stechring mit dem Deckel nach oben mit fünf anderen Stechringen auf ein Gitter, das in einer Wanne stand. Unter jeder Probe befand sich ein rundes Filterpapier. Anschließend befüllten wir die Wanne mit Wasser bis zu einem Wasserstand von ca. 1,3 cm.

Das Wasser stand bis zum unteren Drittel des Volumenstechers. Das Becken liessen wir mit dem gesamten Inhalt ungefähr zwei Tage lang ruhen. Nach Ablauf dieser Zeit hoben wir das Gitter heraus und liessen es eine halbe Stunde zum Abtropfen stehen. Direkt danach wogen wir wieder jede Probe mit einem Deckel, damit kein Boden verloren geht (= Nassgewicht). Jetzt kamen die Proben nur mit dem Stechring (ohne Deckel) aber in einer Glasschale in den Trockenschrank, der die Proben mit 105 °C ca. zwei Tage lang trocknete.

Anschließend ließen wir die Bodenproben auskühlen und wogen sie wieder ohne Deckel in ihrem Ring und ihrer

Schale (= Trockengewicht). Wir verwendeten ebenfalls Glasschalen, um Probenverluste zu vermeiden. Nun reinigten wir den Stechring und wogen diesen, sowie alle verwendeten Deckel und Schalen. Nachdem die Proben zwei Tage im Wasserbad gestanden hatten, bildete sich ein glänzender Film auf der Oberfläche. Der Boden war jetzt vollständig mit Wasser gesättigt. Nach dem Trocknungsvorgang war kein Wasser mehr in der Probe oder am Stechring zu finden. Wir errechnen die Feldkapazität, wie es in [6] beschrieben wird:

$$\text{„Feldkapazität (Vol. \%, g) = Nassgewicht (g) - Trockengewicht (g)“}$$

Die Feldkapazität gibt die Wassermasse (in g) an, die die vermessenen 100 cm³ nach zwei Tagen noch halten können. Tab. 3 zeigt das Ergebnis. Zunächst haben wir einen Mittelwert von beiden Proben von derselben Schicht erstellt. Danach haben wir einen Mittelwert aus allen Feldkapazitäten, die zu einem Loch im Gelände gehören (horizontübergreifend) gebildet, da wir keine großen Unterschiede zwischen oberer und unterer Schicht im Loch erkennen konnten. Die Feldkapazitäten sind alle sehr ähnlich.

Im Stammheimer Tal führten wir eine Zusatzmessung im Wald aus, um mög-

liche Abweichungen im Vergleich zu den anderen Proben festzustellen. Wir haben dabei keinen ausschlaggebenden Unterschied zu Hang, Berg und Tal aus dem Stammheimer Tal festgestellt. Deshalb berücksichtigten wir diesen Messwert aus dem Wald nicht weiter.

4.4 Permeabilität / Infiltration

Nachdem wir die maximale Wasserspeicherkapazität der Böden bestimmt hatten, stellte sich die Frage, wie schnell das Regenwasser durch den Boden versickern kann. Sicherlich fließt ein Teil direkt auf der Oberfläche ab. Dieses Phänomen ereignet sich häufig an steilen Hängen. Jedoch kann dieser spätere Niederschlag auch durch den Boden hinunter ins Grundwasser sickern. Diese Durchflussrate nennt sich k_f -Wert (Durchlässigkeitsbeiwert). Er gibt an, in welcher Geschwindigkeit der Wasserspiegel in einem Loch mit fest definiertem Durchmesser absinkt. Geräte zur Messung der Durchflussrate heißen Permeameter oder auch Infiltrimeter.

4.4.1 Bau eines Permeameters

Da wir kein preiswertes Permeameter auf dem Markt fanden bzw. ausleihen konnten, entschieden wir uns, eines selber zu bauen. Dafür benötigten wir ein Stativ (für Kameras), eine quadratische beschichtete Holzpatte, ein formstabi-

Position	k_f -Wert 1	k_f -Wert 2	k_f -Wert 3	Durchschnitt
Althengstetter Tal	$8,3 \cdot 10^{-7} \frac{m}{s}$	$6,2 \cdot 10^{-7} \frac{m}{s}$	$5,1 \cdot 10^{-7} \frac{m}{s}$	$\approx 0,05 \frac{m}{Tag}$
	$0,07 \frac{m}{Tag}$	$0,05 \frac{m}{Tag}$	$0,04 \frac{m}{Tag}$	
Stammheimer Tal	$3,3 \cdot 10^{-7} \frac{m}{s}$	$5,0 \cdot 10^{-7} \frac{m}{s}$	$6,1 \cdot 10^{-7} \frac{m}{s}$	$0,04 \frac{m}{Tag}$
	$0,03 \frac{m}{Tag}$	$0,04 \frac{m}{Tag}$	$0,05 \frac{m}{Tag}$	
Tal der Sieben Tannen	$1,5 \cdot 10^{-6} \frac{m}{s}$	$1,5 \cdot 10^{-6} \frac{m}{s}$	-	$0,13 \frac{m}{Tag}$
	$0,13 \frac{m}{Tag}$	$0,13 \frac{m}{Tag}$	-	

Tab. 4: Durchlässigkeitsbeiwerte in den drei Tälern.

les Mostfass 12 l mit einem verschließbaren Hahn und dichtem Verschluss, das wir in 500 ml-Schritten skalierten, ein Kunststoffrohr, wie es für Elektrokabel zum Einsatz kommt, das auf den Hahn exakt passt, diverse Winkel, Schrauben, Isolierband und wasserfesten Filzstift. Zunächst verschraubten wir die Holzplatte auf dem Stativ, sodass bei voll ausgefahrenem Stativ die Platte horizontal steht. Dann bohrten wir drei Löcher und versahen jedes mit nach oben schauenden Schrauben, damit das vorher skalierte Mostfass nicht mehr verrutschen kann, aber der Hahn noch weit genug über die Platte hinaus-schaut.

Dann schoben wir das Rohr auf den Hahn und dichteten mit Isolierband ab. Das Rohr ist so lang, dass es bei voll ausgefahrenem Stativ den Boden fast berührt. Die Funktionsweise unseres Permeameters beruht auf dem Prinzip, dass Wasser nur nachlaufen kann, wenn durch das Rohr Luft aufsteigen kann und dadurch der Druck ausgeglichen wird. So bleibt die Höhe des Wasserspiegels im Messungsloch konstant (siehe Abb. 7, Seite 47).

Bodenart	k_f -Wert in m/Tag	Feldkapazität in Volumen-%	Gebiet
Lu (schluffiger Lehm)	0,20	36	Alth. Tal Tal; Alth. Tal Berg; Sieben Tannen Tal; Sieb. T. Hang
Tu3 (mittel schluffiger Ton)	0,14	38	Stamm. Tal Tal; Stamm. Tal Berg (oben); Alth. Tal Hang (untere Schicht)
Ut3 (mittel toniger Schluff)	0,10	37	Alth. Tal Hang (obere Schicht); Sieben T. Tal; Stamm. Tal Berg (unten); Sieben Tannen Berg
Ut4 (stark toniger Schluff)	0,14	37	Stammheimer Tal Hang

Tab. 5: Bodenarten in den drei Tälern, ermittelt mit der Fingerprobe.

4.4.2 Messung mit dem Permeameter

Als Grundlage für die Messungen diente uns die „Betriebsanleitung Permeameter – Infiltrimeter [...]“ erstellt vom Geotechnischen Büro Heinrich Wiltschut [4]. Wir führten keinen „open-end-test“ durch und verrohrten das Messungsloch nicht. Für die Messung bohrten wir das Messungsloch mit

unserem Erdhandbohrer (Abb. 7). Danach füllten wir das Loch bis ganz nach oben mit Wasser und goßen so lange Wasser nach, bis das Wasser nicht mehr sichtbar schnell abfloß. Jetzt stellten wir unser Permeameter über das Loch, sodass das Rohr leicht in dieses hineinragte (etwa 5 cm). Wir tarierten die Grundplatte so aus, dass sie waagrecht stand und wir genaue Werte am Mostfass ablesen konnten.

Althengstetter Tal in m ²			Stammheimer Tal in m ²			Tal der Sieben Tannen in m ²		
Tal	Hang	Berg	Tal	Hang	Berg	Tal	Hang	Berg
450 000	780 000	730 000	1 130 000	1 400 000	640 000	950 000	1 760 000	1 970 000
1,96 km ²			3,17 km ²			4,68 km ²		
Gesamt: 9,81 km²								

Tab. 6: Flächeninhalt der unterschiedlichen Bereiche in den Tälern um Gechingen.

Althengstetter Tal in m ³			Stammheimer Tal in m ³			Tal der Sieben Tannen in m ³		
Tal	Hang	Berg	Tal	Hang	Berg	Tal	Hang	Berg
792 000	444 600	372 300	1 005 700	1 190 000	307 200	1 786 000	2 516 800	945 600

Tab. 7: Bodenvolumen in den unterschiedlichen Bereichen.

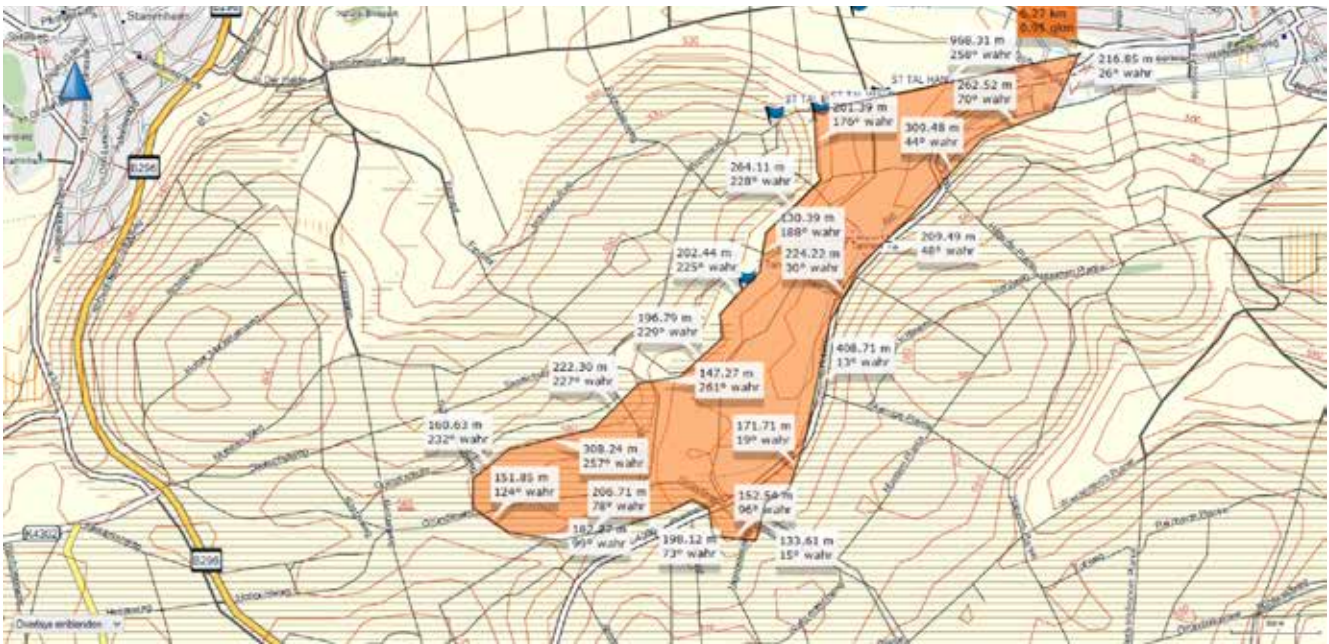


Abb. 8: Vermessung Tal im Tal der Sieben Tannen; nordweisend; OSM Germany in GarminBaseCampTM [3].

Wir maßen vor dem Start des Permeameters den Wasserstand und die Temperatur im Bohrloch. Jetzt drehten wir den Hahn unseres Permeameters auf und lasen nach dem Anfangswert alle 5 min. den Wasserstand am Mostfass ab. Die gesamte Messung lief rund 90 min. Wir wiederholten den Vorgang immer dreimal im Umkreis einer charakteristischen Stelle (Berg, Hang, Tal) pro Tal. Im Tal der Sieben Tannen gab es sehr viele Maulwurfhügel. Wir mussten dort während einer Messung einen unserer 30 l Tanks nachfüllen. Es ist extrem viel Wasser abgelaufen. So vermuten wir, dass die Gänge der Maulwürfe unter der Erde unser Ergebnis verfälschen. Aus diesem Grund erhielten wir im Tal der Sieben Tannen nur zwei akzeptable Messungen.

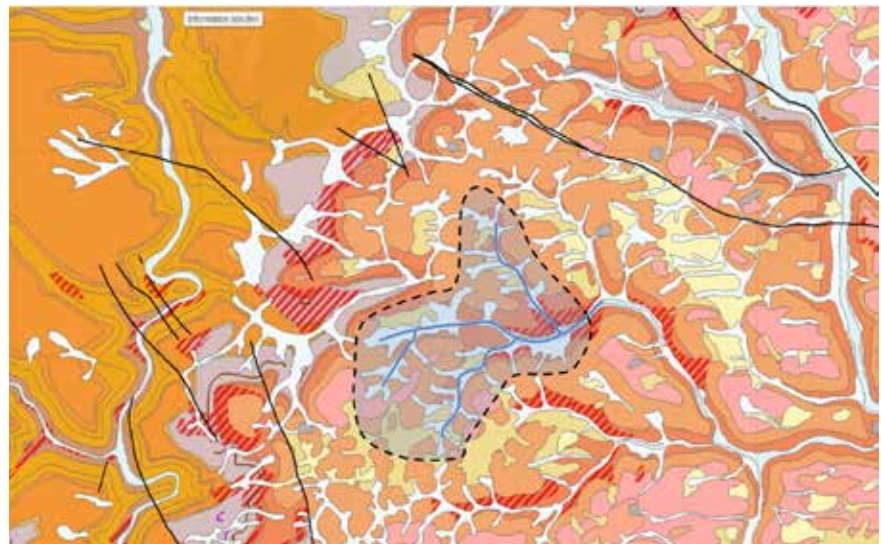


Abb. 9: Geologie Karte Gechingen (roter Punkt in der Mitte ist Ortskern); nordweisend [12]. Das Einzugsgebiet der Überschwemmung schwarz gestrichelt eingefasst.

Auf der Website des Geotechnischen Büros Heinrich Wiltschut [5] konnten wir eine Excel-Testversion-Datei zur Berechnung des k_f -Werts herunterladen. Hier trugen wir alle gemessenen Werte ein (Durchmesser Bohrloch, Distanz Oberkante Bohrloch bis Wasserspiegel, Tiefe Bohrloch von oben bis zur Bohrlochsohle und die Tiefe des Grundwasserspiegel, sowie die Versickerung (in mm) des Wassers, über der Zeit (min.) ein. Diese Excel-Datei erstellt ein Diagramm (Infiltration über der Zeit) aus den vorhandenen Werten. Die Infiltration gibt an, wie schnell Wasser in den Boden versickern kann. Die Messwerte sind in Tabelle 4 aufgelistet. Laut der

Einteilung von Durchlässigkeitsbeiwerten (k_f -Werten) nach DIN 18130 ist der Boden in den Tälern um Gechingen schwach durchlässig. Ebenfalls finden wir auf der Wikipedia Seite eine Klassifikation der Bodenart nach dem k_f -Wert. Hier werden unsere Bodenproben als „toniger Schluff“ (Rubrik: Wertebereiche) [15] charakterisiert. Allgemein lässt sich sagen, dass Regen in dieser Region nur sehr langsam in den Boden versickert.

4.5 Fingerprobe

Zusammen mit Prof. Dr. Scholten der Universität Tübingen führten wir die Fingerprobe an allen von uns entnom-

menen Bodenproben durch. Zunächst nahmen wir eine Hand voll von jeder Bodenprobe und gaben sie in eine Schale. Anschließend formten wir aus etwas Boden eine runde Kugel und einen möglichst dünnen Stab. Hierbei klassifizierten wir den Boden nach Formbarkeit und Klebrigkeit. Außerdem zerquetschten wir etwas Boden zwischen Daumen und Zeigefinger und achteten auf Sandkörner, sowie einen möglichen Glanz bzw. eine mögliche schuppige Oberfläche des Bodens. Wir bestimmen die Bodenart unserer einzelnen Bodenproben mit Hilfe der „Bodenkundlichen Kartieranleitung KA5“ [16]. Dabei erzielten wir die Ergebnisse aus Tab. 5.

Althengstetter Tal [dm³]			Stammheimer Tal [dm³]			Tal der Sieben Tannen [dm³]		
Tal	Hang	Berg	Tal	Hang	Berg	Tal	Hang	Berg
254984400	125043750	100195238	2268607778	299761000	73497600	488381700	644300800	226234800
$\approx 2,5 \cdot 10^9 \text{ l}$								

Tab. 8: Maximal im Boden möglich gespeicherte Wassermasse; gerundet.

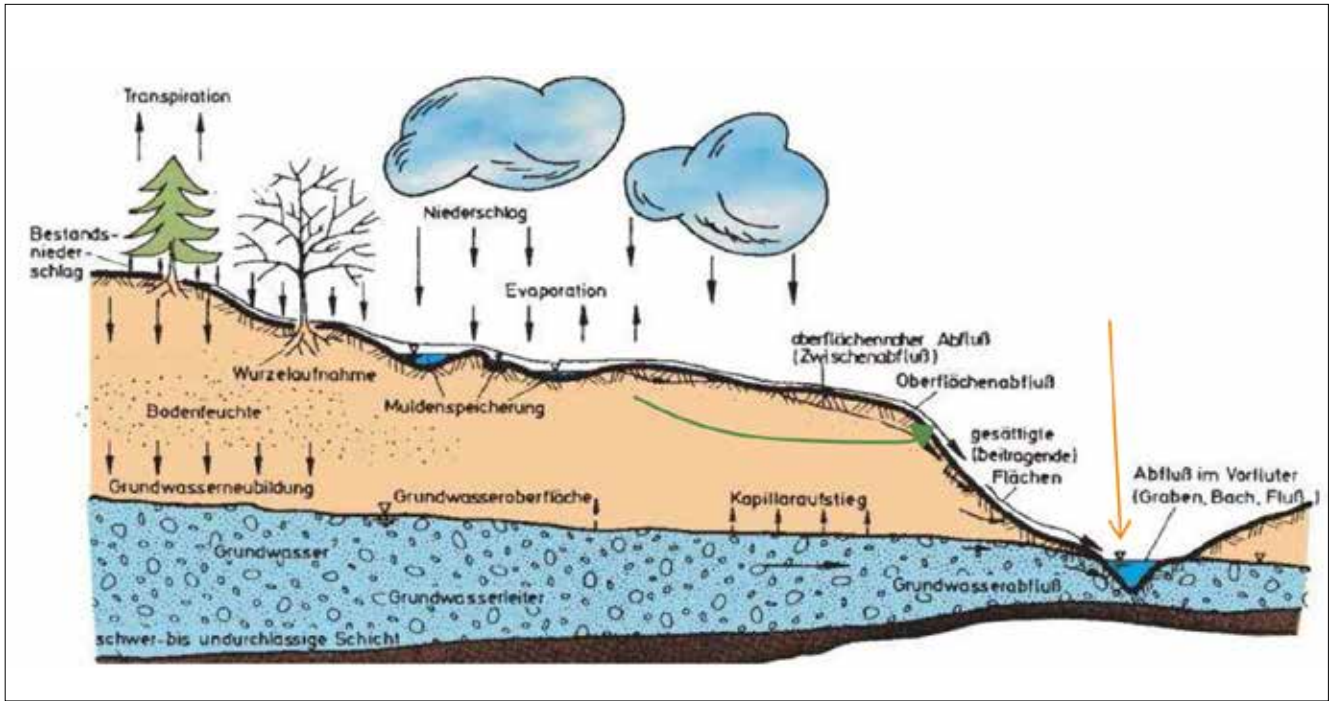


Abb. 10: Gründe für Grundwasseranstieg [14].

5 Auswertung der Ergebnisse

In diesem Kapitel errechnen wir eine Niederschlagsmenge, die in Gechingen eine Überschwemmung hervorruft. Wir untersuchen verschiedene Abflussmöglichkeiten für den gefallenen Niederschlag.

5.1 Bodenmächtigkeit und -Volumen im Einzugsgebiet

5.1.1 Bestimmung der Fläche

Methode 1: Mit Hilfe Garmin-BaseCamp™ [3], einem Computerprogramm, bestimmten wir die Fläche des jeweiligen Teilbereichs im Einzugsgebiet. Wir orientierten uns an den Höhenlinien. So zeigen eng aneinander liegende Höhenlinien eine große Steigung an (→ Hang). Um das Einzugsgebiet zu begrenzen, suchten wir die höchsten Stellen am Rand und verfolgten diese hohen Stellen in der Region. Wir verwendeten also die Wasserscheide zur Begrenzung. Abb. 8 zeigt beispielhaft die Vermessung des Bereichs Tal für das Tal der sieben Tannen. Im orange markierten Bereich befinden sich Höhenlinien, die nicht eng aneinander liegen. Die Flächenin-

halt der unterschiedlichen Bereiche in den Tälern um Gechingen zeigt Tab. 6. Das gesamte Einzugsgebiet hat also einen Flächeninhalt von 9,81 km². Zusätzlich kontrollierten wir unsere Rechnung mit dem Ergebnis einer zweiten Berechnung der Fläche, jedoch anhand einer Geologiekarte [12]. In Abb. 9 (Seite 49) ist das gesamte Einzugsgebiet der Überschwemmung schwarz gestrichelt eingefasst. Die blauen Striche deuten den Verlauf der drei Zuflusstäler um Gechingen an. Die darunter liegenden, weißen Stellen deuten tiefe Bereiche in den Tälern an. Im Vergleich mit den anderen weißen Stellen im Umfeld zeichneten wir die Wasserscheide ein (Abb. 9, gestrichelte Linie). Bei dieser Methode mussten wir die Karte ausdrucken und das Einzugsgebiet in einfache geometrische Figuren unterteilen, um den gesamten Flächeninhalt unter Berücksichtigung des Maßstabs zu berechnen.

5.1.2 Bestimmung des Bodenvolumens

Jetzt bestimmten wir das Bodenvolumen anhand des Produkts aus dem

berechneten Flächeninhalt und der in Kapitel 4.2 ermittelten Bodentiefe. Wir unterteilten unser Einzugsgebiet wieder in Tal, Hang und Berg, da der Boden über längere Zeit gesehen vom Hang ins Tal abrutscht. So konnten wir die einzelnen Bereiche getrennt voneinander betrachten und genauere Ergebnisse erzielen. Wir verwendeten drei Bodentiefenmessungen pro Bereich stellvertretend für den gesamten Bereich in einem Tal. Tab. 7 zeigt die Ergebnisse.

5.2 Mögliche Verteilung des Regenwassers

Jetzt bestimmten wir die maximale Wassermenge für das Einzugsgebiet der Überschwemmung um Gechingen, die der Boden aufnehmen kann. In einer normalen Niederschlagssituation ist der Volumenstrom des Regens (Regenmenge pro Zeit) kleiner oder gleich dem Ablaufvolumenstroms. Dann gilt:

$$\dot{V}_{\text{Regen}} \leq \dot{V}_{\text{Ablauf}}$$

Das Ablaufvolumen setzt sich dem Versickerungsvolumen, dem Verduns-

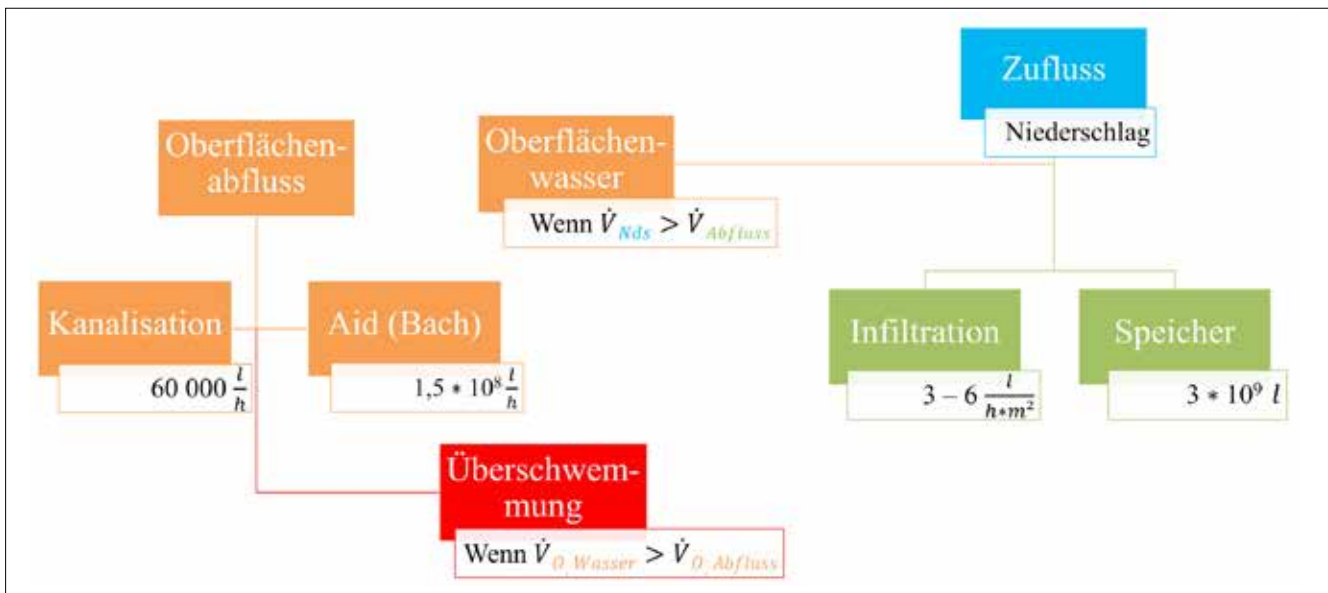


Abb. 11: Schema zur Beurteilung des Gefährungspotentials.

tungsvolumen direkt von der Erde (Evaporation) und dem Verdunstungsvolumen über Pflanzen (Transpiration) zusammen. Hierbei stellt die Evaporation einen sehr geringen Anteil dar, da es wenig nicht bewachsenen Boden um Gechingen gibt. Deshalb vernachlässigen wir diesen Anteil in unserer Berechnung. Ebenfalls gehen wir von einer sehr geringen Transpiration bei Regenfällen aus, weswegen wir diesen Aspekt ebenfalls vernachlässigen. Zusätzlich fließt Wasser begrenzt durch die Aidwiesen und die Kläranlage ab (mehr siehe: 5.3)

5.2.1 Maximal vom Boden aufnehmbare Wassermenge

Wir betrachten eine Regenperiode, die von keinen reinen Sonnenstunden (ohne Niederschlag) geprägt ist. Dabei gehen wir davon aus, dass der Boden am Anfang der Periode sehr trocken ist. Außerdem nehmen wir an, dass der Wasserspeicher sich im Boden während einer Regenperiode nicht mehr entleert. Somit wird ein Wert ermittelt, der sich auf eine Regenperiode bezieht. Erst wenn der Wasserspeicher gefüllt ist, fließt das Wasser durch den Boden ab.

Die von uns ermittelte Feldkapazität (siehe Tab. 3) ist in Gramm angegeben, doch gleichzeitig ist es auch ein Prozentwert, da wir immer 100 cm³ betrachten. So kann – nur als Beispiel – in einem Gebiet 27 g Wasser in 100 cm³ Boden nach zwei Tagen noch gehalten werden. Das sind 27 Vol. %. (Begründung: 27 g pro 100 cm³ sind 0,27 kg pro 0,1 dm³,

Niederschlag	
Regenmenge	20 l/(m ² *h)
Abfluss durch Boden	
Infiltration	6 l/(m ² *h)
Speicher	3,50E+09 l/10km ²
Oberflächenwasser	
Im Ort	4,85E+06 l/h
Außerhalb Ort	1,40E+08 l/h
Gesamt	1,45E+08 l/h
Abfluss für Oberfläche	
Durch Kläranlage	6,00E+04 l/h
Regenrückhaltebecken	2,30E+06 l
Durch Bach _{max}	1,44E+08 l/h
Konstanten	
Versiegelte Fläche	2,43E+05 m ²
Einzugsgebiet	1,00E+07 m ²
Rückstau	
Überschwemmungswasser	-1,73E+06 l
Gefahr?	●

Legende:	
●	keine Gefahr
●	Warnung! Gefahr naht! (± 2,00E+06 l)
●	Akute Warnung! Gefahr besteht!!

Bedingung für Zustandekommen der Überschwemmung	
1.) flächendeckender Regen stärker als 20 l/(m ² *h)	

Abb. 12: Überschwemmungsrechner Gechingen.

also rund 0,027 l pro 0,1 l. → $\frac{0,027 \text{ l}}{0,1 \text{ l}} = 0,27 \cong 27 \%$ Erweitert auf das gesamte Volumen dieses Gebiets, wären das $2,13 \cdot 10^{11}$ g Wasser. Bei einer Dichte des Wassers von $1 \frac{\text{kg}}{\text{l}}$ sind das, $2,13 \cdot 10^8$ l Wasser, die in diesem willkürlich gewählten Gebiet gespeichert werden können. Die maximal vom Boden aufnehmbare Wassermenge in den drei Tälern rund um Gechingen beträgt ungefähr $2,5 \cdot 10^9$ l (siehe Tab. 8). Wie vorher bei der Fingerprobe erwähnt, haben wir zusätzliche Feldkapazitätswerte.

Bei der Verrechnung der nachgeschlagenen Werte (in [16]) ergibt sich ein gesamter Wasserspeicher von rund $3,5 \cdot 10^9$ l. Gemittelt ist der maximale Wasserspeicher des Bodens um Gechingen etwa $3 \cdot 10^9$ l groß.

5.2.2 Maximal vom Boden durchlassbare Wassermenge

Der k_f -Wert liefert uns eine Geschwindigkeit in Meter pro Tag. Wir benötigen ein Volumen pro Stunde und Quadratmeter, um diesen Wert mit

dem gefallenen Niederschlag in der gleichen Einheit vergleichen zu können. So multiplizieren wir den tatspezifischen k_f -Wert mit der gesamten Fläche A des jeweiligen Tals und teilen durch 24 Stunden. Daraus ergibt sich eine neue Größe P , die Infiltrationsrate. Sie gibt den Niederschlag an, der bei gesättigtem Boden in einem Teilgebiet in einer Stunde versickert.

$$P = k_f \cdot A \cdot \frac{1}{24}$$

wobei

$$[P] = \frac{m^3}{h}, [k_f] = \frac{m}{Tag}; [A] = m^2;$$

Damit ergibt sich mit den Messwerten aus Tab. 4 und Tab. 6:

- P (Althengstetter Tal) = 4083,33 m³/h
- P (Stammheimer Tal) = 5283,33 m³/h
- P (Tal der Sieben Tannen) = 25350,00 m³/h

Die Summe aller Infiltrationsraten stellt die komplett mögliche Infiltrationsrate des Einzugsgebietes um Gechingen dar. Um die Infiltrationsrate in die Versickerungsrate in $\frac{l}{h \cdot m^2}$ umzurechnen, müssen wir das versickernde Volumen (im m³) in Liter (dm³) umrechnen. Daraus ergibt sich der Faktor 10³. Anschließend wird durch die Größe der Gesamtfläche des betrachteten Gebiets (10 km² = 1·10⁷ m²) geteilt.

$$(P_{A-Tal} + P_{S-Tal} + P_{7T-T}) \frac{10^3}{10^7}$$

So erhalten wir eine Versickerungsrate, die auf unseren Messwerten unseres selbst gebauten Permeameters basiert, von rund 3,5 $\frac{l}{h \cdot m^2}$.

Anhand der Fingerprobe konnten wir die Bodenart in den unterschiedlichen Teilbereichen unseres Einzugsgebiets bestimmen. Dazu haben wir aus der „Bodenkundlichen Kartieranleitung KA5“ [16] den k_f -Wert bei mittlerer Lagerungsdichte zu jeder der vier Bodenarten herausgesucht (siehe 4.3.3). Mit der gleichen Berechnung erhalten wir eine Versickerungsrate von rund 6 $\frac{l}{h \cdot m^2}$.

Einen Mittelwert aus beiden Messungen erstellen, macht keinen Sinn, da die beiden Werte mit zwei unterschiedlichen Verfahren ermittelt worden sind. Doch für unsere Hochwasserprognose verwenden wir die Infiltrationsrate der Finger-

probe, da ein von uns vor Ort gemessener k_f -Wert um ca. eine Zehnerpotenz schwanken kann.

5.2.3 Verschiedene Oberflächenabflussmöglichkeiten

Es gibt zwei Wege für den Oberflächenabfluss des Wassers: Die Kläranlage für Gechingen kann am Tag 1.370.000 l [13] verarbeiten. So sind das ca. 60.000 $\frac{l}{h}$ für das gesamte Einzugsgebiet. Durch die Vermessung der Irm östlich von Gechingen errechneten wir ein maximales Volumen von 1,44 · 10⁸ $\frac{l}{h}$ als Oberflächenwasserabfluss durch den Bach.

5.3 Absolute Menge des Regenwassers im Mai 2009

Im Mai 2009 fielen 128,4 $\frac{l}{m^2}$ Niederschlag in Gechingen [18]. Hochgerechnet auf das Einzugsgebiet mit der Größe von 10 km² ergibt das eine absolute Niederschlagsmenge von 1,28 · 10⁹ l. Nach [18] hat es vor der Überschwemmung eine Stunde lang mit 45 $\frac{l}{m^2}$ flächendeckend (über dem gesamten Einzugsgebiet um Gechingen) geregnet. Außerdem waren davor im April und Mai mehr als 300 $\frac{l}{m^2}$ Regen gefallen [18].

5.4 Fehlerbetrachtung

Wenn viel Wasser durch den Boden versickert, so steigt auch der Grundwasserspiegel entsprechend an. In dem Prinzipbild in Abb. 10 (Seite 50) läge Gechingen rechts in der Mulde (siehe orangener Pfeil). Da wir den Grundwasseranstieg nicht messen konnten, berücksichtigen wir ihn in unserer Hochwasserprognose nicht.

Ein weiteres Phänomen kann man bei verschiedenen Hochwassern am Hang häufig beobachten. Auf den Wiesen steht schon viel braunes Wasser, jedoch ist noch keine Überschwemmung im Ortskern eingetroffen. Das nennt man Exfiltration (durch den grünen Pfeil in Abb. 10, dargestellt). Hierbei drückt hoher Wasserdruck tiefer gelegenes Wasser aus dem Boden an die Oberfläche. Des Weiteren kann man das Einzugsgebiet um Gechingen auch noch nördlich des Althengstetter Tals erweitern. Doch lässt sich unsere Bestimmung der Größe des Einzugsgebiets anhand der Höhenlinien gut belegen.

6 Beurteilung des Gefährdungspotentials

Fällt sehr starker Regen, so kann der Boden nur begrenzt Wasser aufnehmen und durchlassen. Daher spielt die Infiltration in Bezug auf das Entstehen von Oberflächenwasser eine größere Rolle als die Wasserspeicherkapazität. Die Differenz fließt als Oberflächenwasser ab. In Kapitel 5.2.2 haben wir eine maximale Versickerungsrate von 6 $\frac{l}{h \cdot m^2}$ ermittelt. Deshalb entsteht sofort nach einem Starkregenereignis, das flächendeckend über dem gesamten Einzugsgebiet von Gechingen stärker als 6 $\frac{l}{h \cdot m^2}$ stattfindet, Oberflächenwasser.

Auf der versiegelten Fläche im Ortskern entsteht dies durch die begrenzte Ablaufmöglichkeit durch die Kanalisation fast sofort. Dieses Oberflächenwasser kann nur bedingt durch die Kläranlage, den Bach und einigen kleinen Regenrückhaltebecken abgeführt werden. Regnet es mehr als 20 $\frac{l}{h \cdot m^2}$ (ergibt sich nach Bilanz aus Werten des Schemas in Abb. 11 und ist in Abb. 12 (Seite 51) aufgelistet) flächendeckend über Gechingen, so entsteht mehr Oberflächenwasser als abtransportiert werden kann. Folglich kommt es zum Rückstau, besonders in der Mulde im Ortskern, und damit zur Überschwemmung.

Beim Erkennen solcher Starkregenereignisse sollte sofort ein Alarm an die Anwohner Gechingens ausgesprochen werden, damit sich jeder individuell auf eine mögliche Überschwemmung vorbereiten kann.

6.1 Hinweis zur Verallgemeinerung

Unsere Methode kann auf eine Vielzahl von Gebieten ausgeweitet werden. In der Region sollte eine Wetterstation zur präzisen Bestimmung der stündlichen Niederschlagsmengen vorhanden sein. Eine größtmögliche Anzahl an Bodenmessungen ist von unserer Seite her zu empfehlen.

6.2 Ausblick

Wir könnten noch weitere Untersuchungen wie z. B. weitere Permeabilitätsmessungen oder eine Siebanalyse der Bodenproben durchführen, um unsere Ergebnisse zu untermauern. Außerdem ist ein Bodengutachten von der Region um Gechingen erstellt worden, das uns momentan noch nicht vorliegt,

doch so schnell wie möglich uns zugesandt wird.

Dr. Martini wird mit seiner professionellen Wetterstation die Niederschlagsmenge in Liter pro Quadratmeter weiterhin verfolgen, um ggf. Alarm zu schlagen.

Danksagung

Wir danken Dr. Birgit Scholl: Schulleiterin des Maria von Linden-Gymnasiums (MvLG), Robert Gegler-Tautz: Betreuer und Leiter der Jugend forscht AG, Werner Nautscher: Betreuer und Leiter der Jugend forscht AG, Lehrer

am MvLG (NWT), Christian Miksch: Betreuer und Lehrer am MvLG (Geo), Norbert Martini: Ansprechpartner für meteorologische Fragen in Gechingen, Prof. Dr. Thomas Scholten: Ansprechpartner an der Universität Tübingen für bodenkundliche Fragen, Philipp Gries: Partner an der Universität Tübingen beim Ausleihen von Versuchsgeräten, Samantha Augenstein: Lehrerin am MvLG (Geo und BK), Material für Modellbau, Thomas Appel: Bereitstellung topographischer Karten, Dr. Hermann Gysi: Bereitstellung von Regenradarkarten des KIT, Rüdiger Engelhardt und Gerald Manz vom Landesmedienzent-

rum BW, der Fachschaft Physik: Geräte zum Modellbau, der Fachschaft Biologie: Bereitstellung der Räumlichkeiten und Geräte für Versuchsdurchführungen, Renate Sahn und Christiane Binder: Sekretariat MvLG, dem gesamten Ingenieurbüro Engels, unseren Eltern: Martina und Uwe Reuter, Franz und Christiane Jerg und Michaela und Peter Engels, dem Druckhaus Weber, Rolf Neumann, Ralf Stoffels, dem Jugendforschungszentrum Calw und engagierten Bürgern aus Gechingen für super Unterstützung und großartige Hilfen!

Quellenverzeichnis

- [1] Berliner Wetterkarten e.V. (täglich). Berliner Wetterkarten (Bodenwetterkarten von 2009 zur Verfügung gestellt). Abgerufen am 11. 12 2014 von www.berliner-wetterkarte.de. ISSN 0177-3984
- [2] Blume, H.-P., Stahr, K., & Leinweber, P. (2011). Bodenkundliches Praktikum. Akademischer Verlag "Spektrum".
- [3] Garmin Deutschland GmbH. (2014). GarminBaseCamp™ (Computerprogramm). Abgerufen am 20. 12 2014 von <http://www.garmin.com/de-DE/shop/downloads/basecamp>
- [4] Geotechnisches Büro Heinrich Wiltschut . (2012). Betriebsanleitung Permeameter-Infiltrometer zur Bestimmung der Bodendurchlässigkeit im Gelände. Abgerufen am 09 2014 von www.wiltschut.de
- [5] Geotechnisches Büro Heinrich Wiltschut. (2010). Ermittlung Durchlässigkeitsbeiwert - Versickerung im Bohrloch. Abgerufen am 26. 09 2014 von <http://www.infiltrometer-wiltschut.de/permeameter/datenblatt/>
- [6] Giani, P. L., & Sänglerlaub, G. (2007/ 2008). Bodenkundliches Praktikum. Oldenburg: Institut Biologie und Umweltwissenschaften AG Bodenkunde.
- [7] Gries, P. (09. 09 2014). Geräteausleih für unsere bodenkundlichen Untersuchungen. Rümelinstraße 19-23, Tübingen: Geographisches Institut.
- [8] WALD+CORBE Ingenieurbüro für Wasserbau, Wasserwirtschaft und Tiefbau. (2011). Flussgebietsuntersuchung im Einzugsgebiet der Aid. In Bürgerinformation, Hydrologische Flussgebietsmodelle (S. 5). Gemeinde Gechingen, Gemeinde Aidlingen.
- [9] Martini, N. (11. 11 2014). Wettersituation vor und am Tag der Überschwemmung. (Y. Reuter, O. Engels , & S. Jerg, Interviewer)
- [10] pixelio.de, k. /. (08. 11. 2011). Hochwasser (Symbolfoto) auf Titelseite. <http://www.hamburg.de/contentblob/2779906/data/hochwasser-schild-1500x1000.jpg>.
- [11] Reuter, Y., Jerg, S., & Engels , O.
- [12] Saler, P. D.-I., Stern, D.-I. C., StD Manz, G., & Engelhardt, S. R. LMZ Geoportal. Abgerufen am 19. 12 2014 von <http://gis.lmz-bw.de/geologie/>
- [13] Stahl, A. (19. 12 2013). Daten zur Abwasserversorgung rund um Gechingen.
- [14] Karlsruher Institut für Technologien, Institut für Wasser und Gewässerentwicklung Bereich Wasserwirtschaft und Kulturtechnik , ehemals Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft, Abteilungsleiter Dr.-Ing. Jürgen Ihringer
- [15] Wikimedia Foundation Inc - Wikipedia®. (10. 10 2010). Permeabilität (Geowissenschaften). Abgerufen am 30. 12 2014 von http://de.wikipedia.org/wiki/Permeabilit%C3%A4t_%28Geowissenschaften%29
- [16] Buch. Wolf Eckelmann. ISBN 978-3-510-95920-4. Hannover 2005.
- [17] Geologische Karte 7218 Calw. Herausgeber: Geologisches Landesamt BW. 1982.
- [18] persönliche Mitteilung von Herrn Dr. Martini