



Projektantrag/ Forschungsskizze

Umgang mit Starkniederschlägen in Hessen

an das Fachzentrum Klimawandel Hessen

Hochschule RheinMain
Fachbereich Architektur und Bauingenieurwesen

Arbeitsgruppe "Starkregen und Sturzfluten" am
Wasserbaulaboratorium

Ernesto Ruiz Rodriguez
Lisa Trost

Wiesbaden, Stand Januar 2015

Inhalt

1	Vorbemerkungen	2
2	Arbeitspaket 1: Verwendung von Radardaten zur Simulation von Starkregen/ Sturzfluten für kleine Einzugsgebiete	4
2.1	Klärung der Verfügbarkeit von Radarniederschlagsdaten (für Modellierer/ Ingenieurbüros)	7
2.2	Aufwand zur Nutzung und Aufbereitung von Radarniederschlagsdaten für Modellierer/ Ingenieurbüros	10
	Auswahl geeigneter konvektiver Ereignisse für das Untersuchungsgebiet (Regensammlung)	10
	Aufbereitung der 5 minütigen Radarniederschlagsdaten für die gewählten konvektiven Ereignisse	12
2.3	Auswertung der RADOLAN Radarniederschlagsdaten des DWD	14
2.4	Praxisseminar/ Kolloquium „Verwendung von Radardaten zur Simulation von Starkregen/ Sturzfluten in Hessen“	15
3	Arbeitspaket 2: Überprüfung und Anpassung von Modellansätze zur Ermittlung des abflusswirksamen Niederschlages bei Starkregen.....	15
4	Arbeitspaket 3: Überprüfung und Anpassung der hydraulischen Ansätze zur Berechnung des Oberflächenabflusses bei Starkregen/ Sturzfluten an steilen Hängen .	20
4.1	Korrektur der Fließformeln zur Simulation des Oberflächenabflusses an steilen Hängen.....	22
4.2	Versuchseinrichtung zur Überprüfung und Anpassung der Fließformeln zur Simulation des Oberflächenabflusses an steilen Hängen.....	24
5	Arbeitspaket 4: Instationäre, 2–dimensionale Modellierung des Oberflächenabflusses bei Starkniederschlägen	25
6	Arbeitspaket 5: Erarbeitung von Starkregen Gefahrenkarten für das Land Hessen	27
	(Stufe 1): Identifikation der potentiell gefährdeten Hangflächen und die Erstellung von Starkregen Hinweiskarten	28
	(Stufe 2) Simulation des Oberflächenabflusses der potentiell gefährdeten Flächen und Erstellung von Starkregen Gefahrenkarten oder Fließpfadkarten.....	29
7	Arbeitspaket 6: Modell-/ Pilotprojekt „Umgang mit Starkniederschlägen in Hessen“	31
8	Literatur und Quellen	32
9	Allgemeine Informationen, Zeitplan und Ressourcen.....	36
9.1	Allgemeine Informationen	36
9.2	Zeitplan.....	37
9.3	Beantragte Mittel	38

Anlagen

- 1 Kipprinne zur Simulation des Oberflächenabflusses an steilen Hängen

1 Vorbemerkungen

Etwa 50 % der Überflutungsschäden – so zeigen die Erfahrungen aus extremen Niederschlagsereignissen und der Versicherungswirtschaft – werden durch lokale Sturzfluten und Hangabflüsse, die nicht in direktem Zusammenhang mit der Ausuferung eines oberirdischen Gewässers stehen, verursacht. Auf kommunaler Ebene wird die Starkregen-Problematik deswegen verstärkt diskutiert.

In der 2012 veröffentlichten Strategie zur Anpassung an den Klimawandel in Hessen wird auf die erwartete Intensivierung der Starkregenereignisse und auf deren Wirkungen und Gefahrenpotentiale hingewiesen.

Anders als bei großen Flusssystemen sind bei konvektiven Starkniederschläge in kleinen Einzugsgebieten ($A_e < 50 \text{ km}^2$) bislang keine guten räumlichen und zeitlichen Vorhersagen möglich.

Zur Minderung der Schäden durch Starkregen und Sturzfluten müssen die regionale und kommunale Flächenvorsorge sowie die Bauvorsorge intensiviert werden. Dafür müssen allerdings Informationen über die Nutzung der gefährdeten Flächen und die entsprechenden Einwirkungsintensitäten auf den Flächen bekannt sein.

Zwar wird im Rahmen der Umsetzung der EU-Hochwasserrisikomanagement Richtlinie (EU-HWRML) wird das Thema Starkregen bzw. Sturzfluten zwar zur Kenntnis genommen, aber das Land Hessen hat aber beispielsweise bei der Bearbeitung der Hochwasserrisikomanagementpläne die lokalen Wirkungen von Starkregen auf den Hängen („Sturzfluten“) nicht berücksichtigt. In den Hochwassergefahrenkarten werden lediglich jene Flächen dargestellt, die die Folge von Ausuferungen sind.

Um die identifizierten Erkenntnislücken/Defizite zu beheben, schlägt die Arbeitsgruppe „Starkregen und Sturzfluten“ am Fachbereich Architektur und Bauingenieurwesen der Hochschule RheinMain folgende Arbeitspakete vor:

Arbeitspaket 1: Verwendung von Radardaten zur Simulation von Starkregen/ Sturzfluten für kleine Einzugsgebiete (In Zusammenarbeit mit dem DWD)

Arbeitspaket 2: Überprüfung und Anpassung von Modellansätze zur Ermittlung des abflusswirksamen Niederschlages bei Starkregen

Arbeitspaket 3: Überprüfung und Anpassung der hydraulischen Ansätze zur Berechnung des Oberflächenabflusses bei Starkregen/ Sturzfluten an steilen Hängen

Arbeitspaket 4: Instationäre, 2–dimensionale Modellierung des Oberflächenabflusses bei Starkniederschlägen

Arbeitspaket 5: Erarbeitung von Starkregen Gefahrenkarten für das Land Hessen

Arbeitspaket 6: Modell-/ Pilotprojekt „Umgang mit Starkniederschlägen in Hessen“

Mit einer verbesserten Methodik zur Erstellung von Starkregen-Gefahrenkarten, die hier erarbeitet werden soll, kann ein Beitrag zur Risikominderung oder –vermeidung infolge von Starkregen geleistet und somit eine Anpassung an den Klimawandel in Hessen optimiert werden.

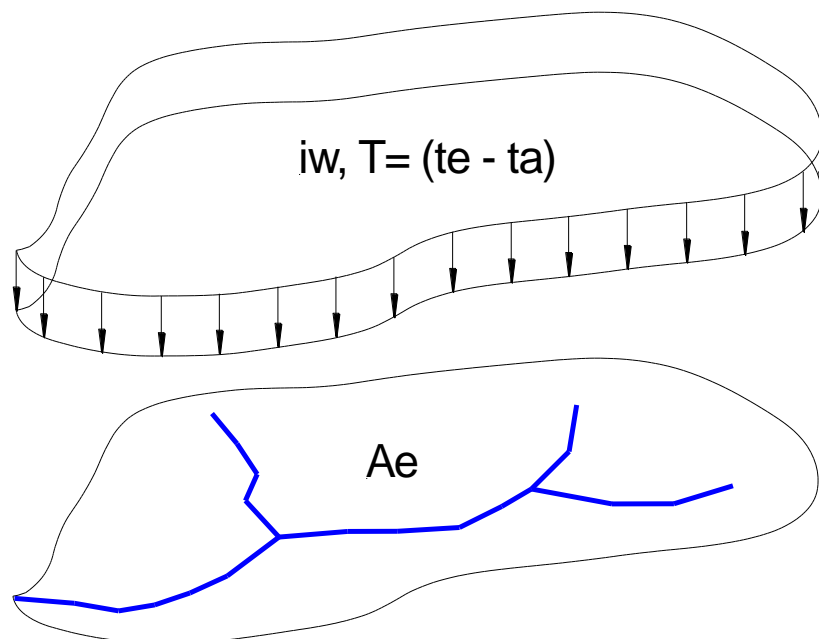
Die Arbeiten der Arbeitsgruppe „Starkregen und Sturzfluten“ sollen durch Studienarbeiten des Master Studienganges Umweltmanagement und Stadtplanung in Ballungsräumen (UMSB) unterstützt werden. Die organisatorische Abwicklung innerhalb der Hochschule und die Grundbetreuung sind durch Prof. Dr. Ernesto Ruiz Rodriguez und Frau B.Eng. Lisa Trost gesichert. Eine partnerschaftliche Betreuung durch das HLUG und den DWD ist möglich und wird ausdrücklich erwünscht.

Die benötigte Labor- und EDV-Infrastruktur zur Bearbeitung der Arbeitspakete wird vom FB Architektur und Bauingenieurwesen der Hochschule RheinMain bereitgestellt.

2 Arbeitspaket 1: Verwendung von Radardaten zur Simulation von Starkregen/ Sturzfluten für kleine Einzugsgebiete

In Anlehnung an das übliche Vorgehen bei der Erstellung von Niederschlags-Abfluss Modellen, werden bei allen aktuellen Simulationen von Starkregen stationäre, statische Regen (gleichmäßige Gebietsüberregnung) als Belastung auf das betrachtete Einzugsgebiet verwendet. Sofern die Daten einer nahegelegenen Niederschlagsstation zur Verfügung stehen, kann der Intensitätsverlauf während des Niederschlagsereignisses berücksichtigt werden. Die Einordnung der Auftretenswahrscheinlichkeit des Ereignisses unter Berücksichtigung der Niederschlagsdauer erfolgt meist mit Hilfe der KOSTRA DWD 2000 Auswertung.

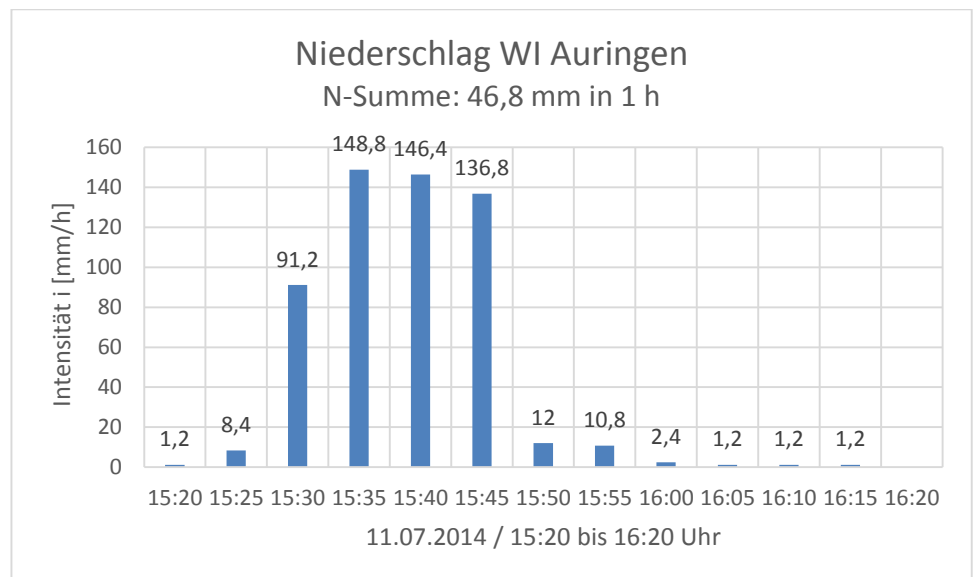
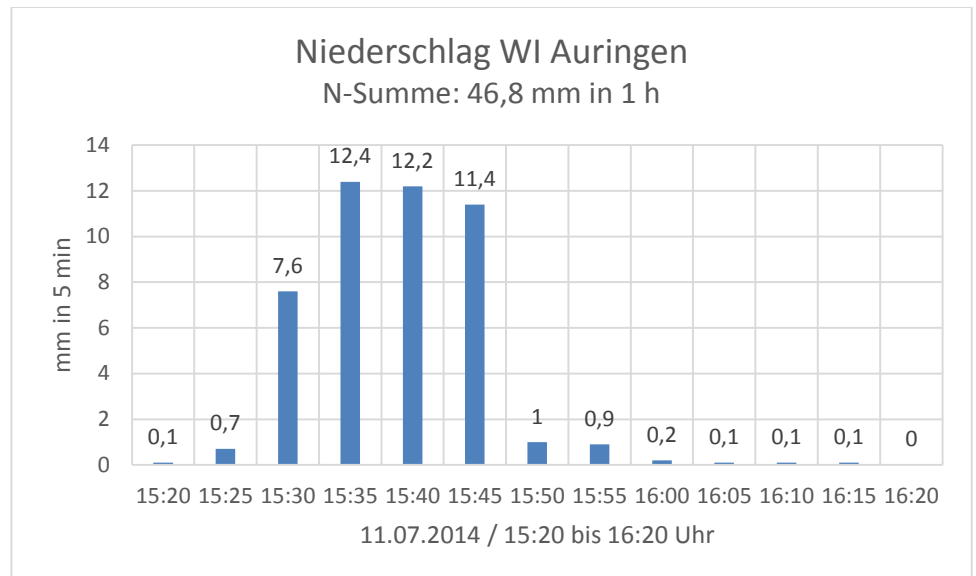
Befinden sich keine Niederschlagsstationen in der Nähe des Einzugsgebietes A_e wird ein Blockregen aus KOSTRA DWD 2000 mit der jeweiligen Regendauer $T=(t_e-t_a)$ und dem entsprechenden Wiederkehrintervall verwendet.



stationärer, statischer Blockregen i_w über dem Einzugsgebiet A_e

Der Intensitätsverlauf des Regens, die Intensitätsverteilung über dem Einzugsgebiet, die Zugrichtung und -geschwindigkeit der Regenfront werden allerdings nicht berücksichtigt. Lokale Belastungsspitzen die sich aus der Intensitätsverteilung in Verbindung mit der Zugrichtung und der Zuggeschwindigkeit ergeben, können so nicht erfasst werden.

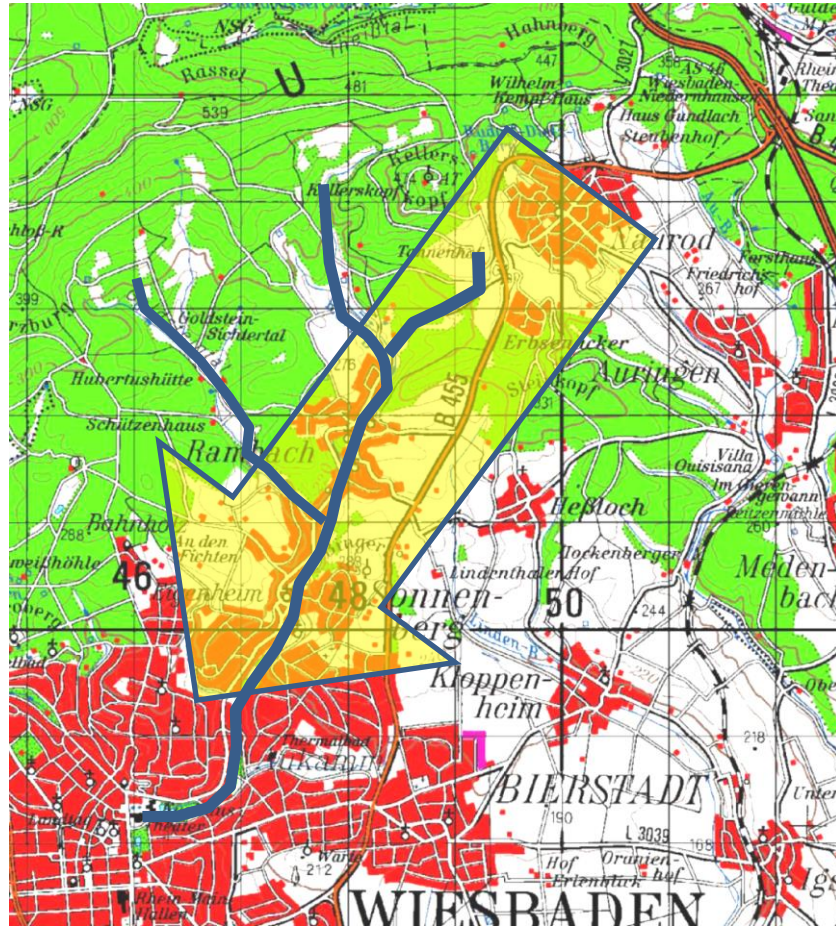
Als Beispiel hierfür wird das Niederschlagsereignis von Freitag dem 11.07.2014 im Teileinzugsgebiet (Rambach) des Salzaches in der Landeshauptstadt Wiesbaden betrachtet.



Die Niederschlagsmenge von 47 mm in einer Stunde (für das Teileinzugsgebiet des Rambachs mit $A_e=21 \text{ km}^2$) kann nach KOSTRA DWD (Rasterfeld Wiesbaden) und einer angenommenen Konzentrationszeit von 1 h (Fließzeit der Welle in Teileinzugsgebiet) als ein Ereignis mit einem Wiederkehrintervall (WKI) von 100 Jahren einordnen werden.

Die Gewitterfront vom 11.07.2014 zog vom Nordosten Richtung Südwesten und somit genau in Fließrichtung des Rambachs. Da die Frontrichtung und wahrscheinlich auch die Frontgeschwindigkeit mit dem Wellenablauf im Rambach

korrespondierten, wurden das Wellenvolumen und auch der Wellenscheitel entscheidend vergrößert.



Gewässernetz des Teileinzugsgebiets Rambach in der Landeshauptstadt Wiesbaden, Zugrichtung der Gewitterfront am 11.07.2014

Dieser fehlende Aspekt in der N-A-Modellierung ist bekannt, wird aber aufgrund mangelnder Datengrundlagen oder notwendiger Finanzmittel bei der Simulation selten berücksichtigt. Ein Ansatz diese Lücke zu füllen, ist die Verwendung von Radarniederschlagsdaten.

Nachfolgend werden Arbeitsschritte vorgeschlagen, die dabei helfen sollen, unter der Verwendung von Niederschlagsdaten aus Radaraufzeichnungen, die Datengrundlagen für eine bessere Simulation von Starkregen und Sturzfluten zu verbessern.

Im Rahmen der RADOLAN (Routineverfahren zur Online-Aneicherung der Radarniederschlagsdaten mit Hilfe von automatischen Bodenniederschlagsstationen (Ombrometer)) und RADVOR-OP (Radargestützte, zeitnahe Niederschlagsvorhersage für den operationellen Einsatz) Projekte des DWD sind Radarprodukte entstanden, die geeignet wären die Simulation von Starkregen/

Sturzfluten besonders in kleinen Einzugsgebieten, entscheidend zu verbessern.

Voraussetzung hierfür wäre aber, dass die Radarniederschlagsdaten in einer ausreichenden zeitlichen und räumlichen Auflösung und in handhabbarer Form für die Anwender (Modellierer/ Ingenieurbüros) vorliegen (vgl. auch Abschnitt 1).

2.1 Klärung der Verfügbarkeit von Radarniederschlagsdaten (für Modellierer/ Ingenieurbüros)

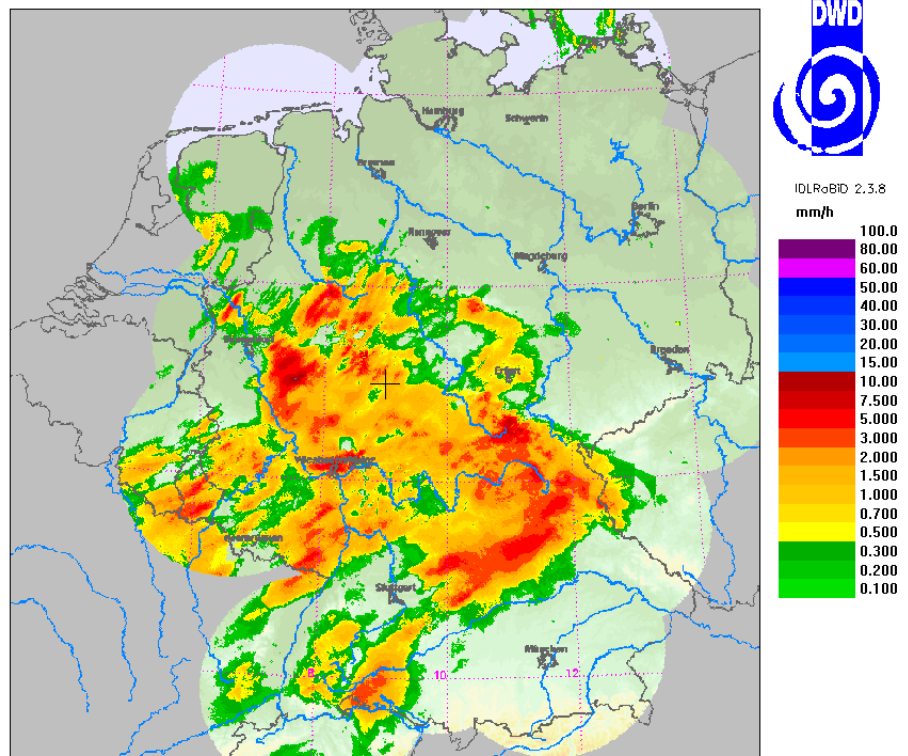
Vorab ist anzumerken, dass im Rahmen dieser Projektskizze die Qualität der vorhandenen Radarniederschlagsdaten, die Weiterentwicklung/ Korrektur (z.B. Abschattungskorrektur, Verfeinerte Z-R-Beziehung, etc.) und die Verbesserung der Aneicherung der Radarbilder nicht diskutiert werden soll.

Es wird davon ausgegangen, dass die räumlichen und zeitlichen Auflösung der Radarniederschlagsdaten bei jetziger „Qualität“ eine deutlich bessere Datengrundlage zur Modellierung darstellen, als die bisher verwendeten stationären, statischen Niederschläge aus den Niederschlagsstationen oder aus dem KOSTRA DWD-Raster (8,45 km x 8,45 km).

Der Deutsche Wetterdienst (DWD) speichert im Rahmen des RADOLAN Projektes seit Juni-2005 bis heute Radaraufzeichnungen und stellt diese in verschiedenen Formaten und zu verschiedenen Konditionen zur Verfügung.

Für die 16 Radarstandorte des DWD stehen jeweils Radarbilder mit einer 5-minütigen Auflösung zur Verfügung.

Am bekanntesten ist das sog. RADOLAN-RW-Kompositprodukt für die Fläche der Bundesrepublik Deutschland (900 km x 900 km).



RADOLAN RW Kompositprodukt für die Flächen der Bundesrepublik, Deutschlandkomposit (900 km x 900 km) aus [5], 2011

Hierbei handelt es sich um die mit Hilfe der Bodenniederschlagsstationen angeeichten und überlagerten Radarbilder der 16 Radarstationen. Dieses Produkt gibt den Niederschlag pro Stunde für ein Rasterfeld von 1km x 1km an und steht in einer zeitlichen Auflösung von einer Stunde zur Verfügung. Die Daten sind frei verfügbar und stehen auf dem FTP-Server des DWD (<ftp://ftp-cdc.dwd.de/pub/CDC/>) zur freien Download zur Verfügung. Sie liegen im RADOLAN Kompositformat Version 2.2.2 vor. Dies ist ein Binärformat mit ASCII Header und kann z.B. mit der Python Skript-Bibliothek „wradlib“ gelesen werden.

Auszug aus dem RADOLAN-Kurzbeschreibung (Stand: April 2012):

„Das derzeit bestmögliche, am schnellsten verfügbare RADOLAN-Ergebnis (RW-Produkt) ist ein angeeichtes Radar-Deutschlandkomposit mit stündlichen Niederschlagshöhen in einer Intensitätsauflösung von 0,1 mm und in einer räumlichen Auflösung von einem Quadratkilometer, welches zeitnah (innerhalb von 30 Minuten) zur Verfügung steht.“

Die RADOLAN-Komposite liegen in polarstereografischer Projektion vor und haben in der Projektion eine äquidistante Rasterung von 1,0 km. Das kartesische Koordinatensystem besitzt eine Größe von 900 km x 900 km (siehe auch [4], [5]).

Eine deutlich bessere zeitliche Auflösung liefert das RADOLAN RY-Komposit. Bei gleicher räumlicher Auflösung wie das oben beschriebene RW-Komposit, besitzt das RY-Komposit, in einer zeitlichen Auflösung von 5 Minuten. Die Niederschlagshöhen werden in 0,01 mm bereitgestellt.

Beide Radar-Komposit-Produkte (RW und RY) sind für behördliche Aufgaben im Rahmen des vorbeugenden Hochwasserschutzes der BRD entwickelt und optimiert worden. Für mittlere und große Einzugsgebiete ist die bereit gestellte räumliche und zeitliche Auflösung beider Produkte völlig ausreichend.

Für kleine Einzugsgebiete (< 50 km²) stellt die räumliche Auflösung von 1km x 1km, die bei beiden Komposit-Produkte möglich ist, eine deutliche Verbesserung gegenüber der Dichte der Niederschlagsstationen und der DWD KOSTRA Rasterweite dar.

Am Beispiel des Teileinzugsgebietes des Rambach $A_e=21$ km² in Wiesbaden erhält man über das Radar-Komposit-Produkt eine deutlich bessere räumliche Auflösung der Niederschlagsverteilung als über die einzelnen Niederschlagsstation in WI-Auringen oder WI-Biebrich.

Die zeitliche Auflösung von 5 Minuten bietet die Möglichkeit die zeitliche Entwicklung und die räumlich Verteilung der Niederschlagsintensität auch für kleine Einzugsgebieten in ausreichender Qualität abzubilden.

Die Klärung der Anfrage beim DWD (Ansprechpartner: Elmar Weigl), ob auch ein „Hessen Komposit“ mit höherer räumlicher Auflösung denkbar und erhältlich ist, steht noch aus.

Insgesamt sind die angebotenen Radarniederschlagsdaten /Radarprodukte auf die Bedürfnisse der aktuellen Nutzer zugeschnitten. Die Zugänglichkeit für Lehre und Forschung ist ausreichend gegeben.

2.2 Aufwand zur Nutzung und Aufbereitung von Radarniederschlagsdaten für Modellierer/ Ingenieurbüros

Wie in Abschnitt 1 einleitend erläutert sind neben einer ausreichenden räumlichen und zeitlichen Auflösung

- die Kosten für die Beschaffung der Radarniederschlagsdaten und
- der Aufbereitungsaufwand für die Simulation

für Modellierer/ Ingenieurbüros entscheidend.

Ingenieurbüros bearbeiten Projekte aufgrund der Ausschreibungsbedingungen und der starken Konkurrenzsituation in einem sehr engen Finanzrahmen.

Die aktuell angebotenen Radarniederschlagsdaten /Radarprodukte benötigen einen zu großen Aufbereitungsaufwand, um diese für die Simulation von Starkregen und Sturzfluten in kleinen Einzugsgebieten zu nutzen.

Vor einer Simulation müssen die folgenden zwei Schritte abgearbeitet werden:

- 1) **Auswahl geeigneter konvektiver Ereignisse für das Untersuchungsgebiet (Regensammlung)**
- 2) **Aufbereitung der 5-minütigen Radarniederschlagsdaten für die gewählten konvektiven Ereignisse**

Auswahl geeigneter konvektiver Ereignisse für das Untersuchungsgebiet (Regensammlung)

Zur Erinnerung: Aktuelle werden die Radarniederschlagsdaten noch nicht genutzt, sondern der statischen Regen aus einer benachbarten Niederschlagsstation oder statischen Blockregen aus DWD KOSTRA 2000 entnommen. Die Dauer der Modellregen orientiert sich dabei an der Konzentrationszeit/ Fließzeit im Niederschlagsgebiet. Um den Aufwand zur Beschaffung, Auswahl und Aufbereitung der Niederschlagsdaten von konvektiven Ereignissen einzelner Niederschlagsstationen zu umgehen werden stattdessen die DWD KOSTRA 2000 Blockregen verwendet.

Um bei der Auswahl von konvektiven Ereignissen aus Radarniederschlagsdaten den Kostenrahmen für die Datenbeschaffung gering zu halten, erscheint es sinnvoll auf die RADOLAN-RW-Komposit Radarniederschlagsdaten mit einer zeitliche Auflösung von 1 h, die auf dem FTP-Server des

DWD (<ftp://ftp-cdc.dwd.de/pub/CDC/>) zum freien, kostenlosen Download zur Verfügung stehen, zurück zu greifen.

Mit folgenden Systemen lassen sich zurzeit die Niederschlagsdaten des RADOLAN RW-Komposits visualisieren:

- KONRAD, webKONRAD - Zugang über das Feuerwehrinformationssystem (FEWIS)
- IDLRaBiD 5.0 - Darstellungsprogramm für Radarbilder des Deutschen Wetterdienstes
- WaWIS (Registrierung über DWD notwendig)
- NinJo, Lizenz erhältlich über Ernst Basler + Partner GmbH
- Python Skript Bibliothek „wradlib“ (Darstellen der einzelnen RW Komposite)

KONRAD bzw. **webKONRAD** ist nur über den Zugang des Feuerwehrinformationssystems (FEWIS) zu erreichen und steht Ingenieurbüros nicht zur Verfügung.

IDLRaBiD 5.0 ist eine interne Software des DWD und steht Ingenieurbüros nicht zur Verfügung.

WaWIS steht nur Behörden zur Verfügung die im Rahmen des Katastrophenschutzes tätig sind.

NinJo 1.7 kann als Lizenzprodukt erworben werden. Auf das Ingenieurbüro kämen Lizenz- und Installationskosten welche sich im 5 stelligen Bereich bewegen zu. Für Forschungsinstitutionen fallen die Lizenzkosten weg, es verbleiben jedoch Installationskosten von ca. 5.000 Euro. Eine Betrachtung von konvektiven Fronten über mehrere Tage hinweg ist für ausgesuchte Zeitabschnitte möglich.

Eine weitere Alternative ist die Nutzung der umfangreichen Python-Skript Bibliothek „wradlib“. Hier muss jedes einzelne RW-Komposit eingelesen und visualisiert werden. Natürlich wird dies durch geeignete wradlib utility functions (Batch Routinen zur Verarbeitung vieler RW-Komposite) erleichtert. Der Gesamtaufwand zur Visualisierung ist dennoch erheblich.

Der Einsatz der letzten zwei Alternativen setzt jedoch voraus, dass man bestimmte konvektive Ereignisse bereits identifiziert hat. D.h. die entsprechenden historischen Ereignisse sind bekannt oder es wurden aus den Aufzeichnungen der Bodenniederschlagsstationen bereits Ereignisse ausgewählt.

Zurzeit gibt es noch kein System, welches frei zugänglich ist und die historischen RW RADOLAN-Daten (Juni-2005 bis heute) visualisieren kann.

Optimal wäre es, wenn die RW-RADOLAN-1h-Komposite jahresweise in einem Video mit Datum, Kartenhintergrund und N-Intensitätsskala vor- und rückspulbar betrachtet werden könnten. Auf diese Weise wäre es möglich maßgebende konvektive Ereignisse/ Szenarien (Regensammlung mit verschiedenen Niederschlagsdauern und verschiedenen Niederschlagsmengen) zur Simulation leichter zu identifizieren (vgl. auch Abschnitt 7).

Arbeitsziel unterstützt durch Studienarbeit: Entwurf und Umsetzung eines Werkzeugs zur Visualisierung der archivierten und aktuellen Radarniederschlagsdaten (DWD-RADOLAN-RW-Komposit).

Aufbereitung der 5 minütigen Radarniederschlagsdaten für die gewählten konvektiven Ereignisse

Sind die konvektiven Ereignisse/ Szenarien zur Simulation identifiziert, müssen deren Radarniederschlagsdaten, je nach Anforderung des verwendeten Simulationsmodells, aufbereitet werden.

Alle Simulationsmodelle nutzen für die Eingabeaufbereitung und Ergebnispräsentation GIS-Oberflächen. So lassen sich Simulationsergebnisse mit anderen Datengrundlagen (Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem ALKIS, Bodeninformationen, Luftbilder, Nutzung, etc.) verschneiden und fachlich interpretieren (z.B. Erstellung von Starregen Gefahrenkarten). Oftmals werden die Simulationsmodelle als aufgesetzte „Fachschnitten“ zu GIS-Systemen realisiert.

Diese Tatsache macht es unumgänglich die Komposit-Radarniederschlagsdaten auf ein GIS-System kompatibles Format mit geeigneter Projektion (z.B. Gauß-Krüger- oder UTM-Projektion) zu überführen.

Die für die DWD –RADOLAN-RW-Komposit-Radarniederschlagsdaten verwendete polarstereographische Projektion (siehe [5]) ist für die derzeitigen Anwendungen geeignet. Man betrachtet und beurteilt großräumige Wetterlagen über Staats- Bundeslandgrenzen hinweg.

Für eine Simulation von kleinräumigen Starkregenereignissen und eine fachliche Verschneidung der Simulationsergebnisse mit weiteren Daten eignet sich die polarstereographische Projektion jedoch nicht.

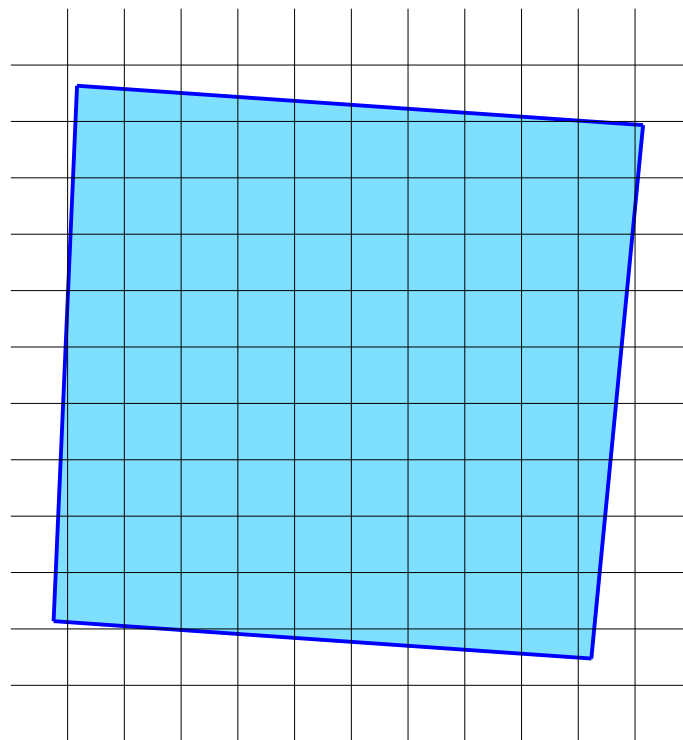
In [33, Kapitel 5] werden die Probleme beim Georeferenzieren der DWD-RADOLAN-Komposite ausführlich erläutert.

Arbeitsziel unterstützt durch Studienarbeiten: Entwurf und Umsetzung eines Werkzeugs zur Transformation und Projektion der DWD-RADOLAN-RW und RY-Komposit-Radarniederschlagsdaten in Gauß-Krüger und/oder UTM-Projektion.

Innerhalb des HLUG sollte eine Diskussion zur Festlegung einheitlicher Projektionen für künftige wasserwirtschaftliche Projekte im Land Hessen stattfinden.

Während die in Gauß-Krüger- oder UTM transformierten Radarniederschlagsdaten in einem Raster von ca. 1km x 1km vorliegen, können die Simulationsmodelle (vgl. Abschnitt 0), je nach gewählten Randbedingungen, deutlich kleinere Rasterweiten (z.B. 5m x 5 m bis 100 m x 100m) verwenden.

Für eine Simulation muss ein gemeinsames Raster definiert und alle Datengrundlagen in dieses Raster überführt werden.



— Gauß-Krüger oder UTM transformiertes
RADOLAN Raster ("schiefes Viereck" 950x950 m)
— zur Simulation verwendetes Raster

Überlagerung eines Transformierten RADOLAN Raster mit Gauß-Krüger oder UTM Raster

Arbeitsziel unterstützt durch Studienarbeit: Entwurf und Umsetzung eines GIS Werkzeugs zur Aufbereitung der DWD-RADOLAN-Komposit-Raster zur Simulation von Starkregen in kleinen Einzugsgebieten.

2.3 Auswertung der RADOLAN Radarniederschlagsdaten des DWD

Wie in Abschnitt 2 erläutert können die Zugrichtung und die Zuggeschwindigkeit einer konvektiven Starkregenfront/ Starkregenzelle die Einwirkungsintensität in einem Niederschlagseinzugsgebiet entscheidend beeinflussen. Die Abmessungen der Starkregenfront/ Starkregenzelle in Verbindung mit der Zuggeschwindigkeit, sowie die Regendauer können im ungünstigen Fall mit der Konzentrationszeit im Niederschlagseinzugsgebiet zusammenfallen und zu einer entscheidenden Verschärfung des Wellenscheitels führen.

Unter der Voraussetzung, dass die in Abschnitt 2.2 beschriebenen Werkzeuge erstellt worden sind, sollen nun mit deren Hilfe die historischen RADOLAN Radarniederschlagsdaten ausgewertet werden.

- Identifizieren von Starkregenfronten/ Starkregenzellen. Hierfür sind Identifikationskriterien zu erarbeiten.
- Einordnung des Wiederkehrintervalls der Starkregenfront/ Starkregenzelle (Dauer und Niederschlagsmenge) mit Hilfe der DWD KOSTRA2000-Auswertung.
- Identifikation und Digitalisierung des Intensitätsschwerpunktes der jeweiligen Starkregenfront.
- Zeitliche Entwicklung der Intensitätsverteilung innerhalb der Starkregenfront.

Für jede identifizierte Starkregenfront/ Starkregenzelle sollen in Abhängigkeit der Jahreszeit/Wetterlage folgende Parameter ermittelt und statistisch ausgewertet werden:

- Digitalisierung der Abmessungen (Längenausdehnung, Breitenausdehnung) und der Form (Längen-Breitenverhältnis oder Fläche-Umfangverhältnis).
- Digitalisierung der Zugrichtung (Zugbahn, Zugtrajektorie) und Zuggeschwindigkeit (im Schwerpunkt der Intensität).
- Darstellung der Abmessungen, der Zugrichtungen und Zugbahnen in Karten und Überlagerung mit dem digitalen Geländemodell.

Auf diese Weise können eventuell Starkregenschwerpunkte (-regionen) in Hessen identifiziert und in Karten dargestellt werden.

Arbeitsziel unterstützt durch Studienarbeit(en): Auswertung historischer RADOLAN Radarniederschlagsdaten des DWD.

2.4 Praxisseminar/ Kolloquium „Verwendung von Radardaten zur Simulation von Starkregen/ Sturzfluten in Hessen“

In Zusammenarbeit mit dem Wissenschaftsforum Umwelt und der Weiterbildungsplattform NATUR.UMWELT.TECHNIK (N.U.T) der Hochschule RheinMain sollen in einem 1-tägigen Praxisseminar die Möglichkeiten zur Nutzung von Radarniederschlagsdaten zur Simulation von Starkregen/ Sturzfluten vorgestellt werden.

Zielgruppe: Ingenieurhydrologen, Hydrologen, Ingenieurbüros (Modellierer) und andere am Thema Interessierten.

Die Organisation übernimmt die Weiterbildungsplattform N.U.T der Hochschule RheinMain. Die fachliche Koordination ist durch Prof. Dr. Ernesto Ruiz Rodriguez und Frau B.Eng. Lisa Trost gesichert. Eine partnerschaftliche Koordination durch das HLOG und den DWD ist möglich und wird ausdrücklich erwünscht.

3 Arbeitspaket 2: Überprüfung und Anpassung von Modellansätze zur Ermittlung des abflusswirksamen Niederschlages bei Starkregen

Unter dem abflusswirksamen (effektiven) Niederschlag versteht man den Anteil des Niederschlages, der in einem Einzugsgebiet unmittelbar nach dem Niederschlagsereignis als Direktabfluss wirksam wird.

Zu Beginn des Niederschlagsereignisses sind die Verluste i.d.R. besonders groß (Benetzung der Vegetationsdecke und Muldenverluste). Bei Starkregen werden diese Speicherräume jedoch schnell gefüllt und die hohen Niederschlagsintensitäten übersteigen oft die Infiltrationsfähigkeit des Bodens und es kommt zum Oberflächenabfluss (vgl. auch Abschnitt 4).

Insofern spielt besonders bei Starkregen der Anteil an abflusswirksamen Oberflächenabfluss eine entscheidende Rolle. Dieser bildet gemeinsam mit dem oberflächennahen Interflow in der belebten Bodenzone den Hauptanteil am sog. abflusswirksamen Niederschlag.

Der in der Ingenieurhydrologie am häufigsten verwendete Modellansatz zur Ermittlung des abflusswirksamen Niederschlages ist der Ansatz des Abflussbeiwertes. Er wird sowohl in der Urbanhydrologie (Kanalnetzberechnung) als auch

bei der Modellierung von Niederschlags-Abfluss-Processen (NA-Modellierung) auf natürlichen Flächen eingesetzt.

Abflussbeiwert-Ansätze:

$$\psi = \frac{i_w(t)}{i(t)}$$

Ψ – Abflussbeiwert [-]

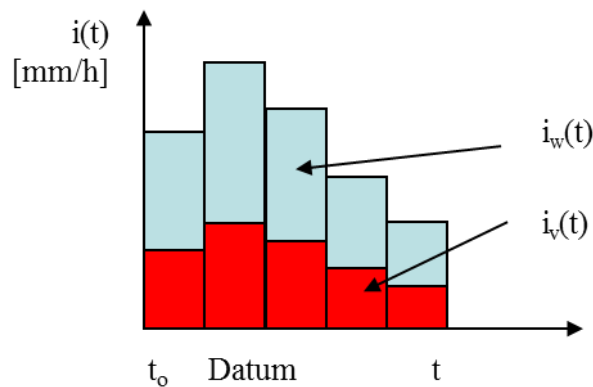
$$i_w(t) = \psi \cdot i(t)$$

$i(t)$ – Niederschlagsintensität [mm/h]

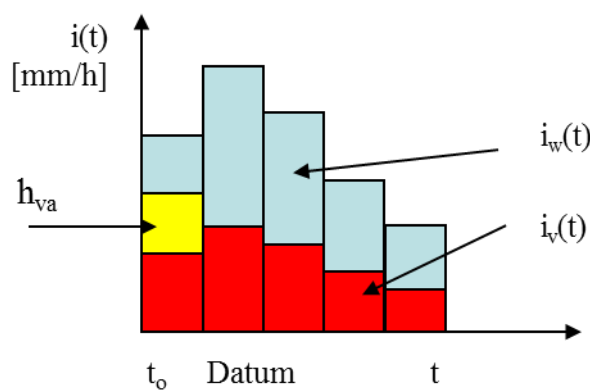
$$i_w(t) = i(t) - i_v(t)$$

$i_w(t)$ – wirksame Niederschlagsintensität [mm/h]

a) konstanter Abflussbeiwert Ψ

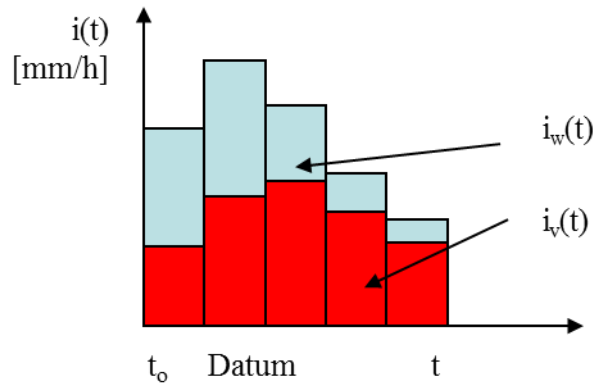


b) Konstanter Abflussbeiwert Ψ mit Anfangsverlust h_{va}



Der Anfangsverlust h_{va} wird durch die Mulden- und Benetzungsverluste begründet.

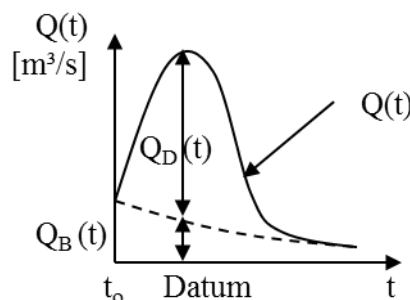
c) Zeitvarianter Abflussbeiwert Ψ mit oder ohne Anfangsverlust h_{va}



In der Urbanhydrologie wird der konstante Abflussbeiwert Ψ ohne Anfangsverlust h_{va} , bei der NA-Modellierung kommt fast immer der konstante Abflussbeiwert Ψ mit Anfangsverlust h_{va} zum Einsatz.

Liegen Niederschlags- und Abflussaufzeichnungen des Direktabflusses $Q_D(t)$ vor und ist der Verlauf des Basisabflusses $Q_B(t)$ bekannt, so kann der Abflussbeiwert Ψ aus der Volumen-/Massenbilanz ermittelt werden. Der Anfangsverlust h_{va} wird in der Regel mit 3 bis 4 mm Niederschlagshöhe geschätzt. Der gefallene effektive Niederschlag $i_w(t) = \Psi \cdot i(t)$ findet sich im Direktabfluss $Q_D(t)$ oberhalb des Basisabflusses $Q_B(t)$.

$$V_{Q_D} = \int_{t_0}^{t_e} Q_D(t) dt = A_E \int_{t_{RA}}^{t_{RE}} \psi \cdot i(t) dt = V_{i_w}$$



$$Q_D(t) = Q(t) - Q_B(t)$$

Liegen keine Niederschlags und/oder Pegelaufzeichnungen vor wird in der Ingenieurpraxis der Abflussbeiwert mit Hilfe oder im Anlehnung an das SCS Verfahrens (U.S. **S**oil **C**onversion **S**ervice der USA) ermittelt. Diese Verfahren wird u.a. in der

DVWK-Regel 113 beschrieben. Das SCS-Verfahren unterscheidet folgende Bodentypen:

Bodentyp A: Böden mit großem Versickerungsvermögen, auch nach starker Vorbefeuchtung, z.B. tiefe Sand- und Kiesböden

Bodentyp B: Böden mit mittlerem Versickerungsvermögen, tiefe bis mäßig tiefe Böden mit mäßig feiner bis mäßig grober Textur, z.B. mitteltiefe Sandböden, Löß, (schwach) lehmiger Sand

Bodentyp C: Böden mit geringem Versickerungsvermögen, Böden mit feiner bis mäßig feiner Textur oder mit wasserstauer Schicht, z.B. flache Sandböden, sandiger Lehm

Bodentyp D: Böden mit sehr geringem Versickerungsvermögen, Ton Böden, sehr flache Böden über nahezu undurchlässigem Material, Böden mit dauernd sehr hohem Grundwasserspiegel

Bodennutzung/Bodentyp	A	B	C	D
Ödland (ohne nennenswerten Bewuchs)	77	86	91	94
Hackfrüchte, Wein	70	80	87	90
Wein (Terrassen)	64	73	79	82
Getreide, Futterpflanzen	64	76	84	88
Weide (normal)	49	69	79	84
Weide (kark)	68	79	86	89
Dauerwiese	30	58	71	78
Wald (stark aufgelockert)	45	66	77	83
Wald (mittel aufgelockert)	36	60	73	79
Wald (dicht)	25	55	70	77
undurchlässige bzw. versiegelte Flächen	100	100	100	100

C_N-Beiwert des SCS-Verfahrens

In Abhängigkeit der Bodennutzung und des Bodentyps wird für das Niederschlagseinzugsgebiet ein flächengewichteter C_N-Beiwert ermittelt und der effektive Niederschlag h_{NE} berechnet.

$$h_{Ne} = \frac{[(h_N/25,4) - (200/C_N) + 2]^2}{(h_N/25,4) + (800/C_N) - 8} \cdot 25,4$$

$$\psi = \frac{h_{Ne}}{h_N}$$

Das Originalverfahren hat Schwächen, und wurde mehrfach modifiziert. (z.B. nach Øverland, Zaiß und Lutz). Dabei wurde versucht den Einfluss der aktuellen Bodenfeuchte des Bodens besser zu berücksichtigen. Je nach Bodentyp kann diese einen großen Einfluss auf den effektiven Niederschlag (vgl. auch Abschnitt 4.1) haben.

Alle diese Ansätze berücksichtigen nicht die bei Starkregen beobachteten und in [17] beschriebenen Effekte der Bodenluftkompression, die die Infiltrationsfähigkeit des Porenraumes bei hohen Niederschlagsintensitäten mindert und somit den Anteil des Oberflächenabflusses erhöht.

Arbeitsziel unterstützt durch Studienarbeit: Überprüfung und Anpassung der Modelansätze zur Ermittlung des abflusswirksamen Niederschlages bei Starkniederschlägen, unter besonderer Berücksichtigung von Bodenfeuchte und Bodenluftkompressionseffekten.

Die Verwendung der Radarniederschlagsdaten macht es möglich die zeitliche und räumliche Niederschlagsverteilung im Einzugsgebiet zu betrachten. Da die Niederschlagsintensitäten und -mengen im Einzugsgebiet variieren, werden sich demzufolge räumlich verteilte Abflussbeiwerte ergeben. Die oben beschriebenen Ansätze zur Ermittlung des abflusswirksamen Oberflächenabflusses müssen daraufhin angepasst und ggf. weiterentwickelt werden.

Arbeitsziel unterstützt durch Studienarbeit: Überprüfung und Anpassung der Modelansätze zur Ermittlung des abflusswirksamen Niederschlages bei räumlich und zeitlich sich verändernden Starkniederschlägen.

4 **Arbeitspaket 3: Überprüfung und Anpassung der hydraulischen Ansätze zur Berechnung des Oberflächenabflusses bei Starkregen/ Sturzfluten an steilen Hängen**

Beim Oberflächenabfluss muss zwischen dem klassischen Oberflächenabfluss nach Horton (1933) und dem Sättigungsflächenabfluss unterschieden werden.

Der Oberflächenabfluss nach Horton entsteht durch einen Infiltrationsüberschuss. Die Niederschlagsintensität ist höher als die Infiltrationskapazität der Böden und das nicht infiltrierte Niederschlagswasser fließt dann in Fallrichtung auf der Hangoberfläche ab.

Der Sättigungsflächenabfluss setzt dann ein, wenn der Boden seine maximale Wassersättigung erreicht hat, d.h. das Porenvolumen vollständig mit Wasser gesättigt ist. Bei diesem Abfluss tritt häufig Wasser aus einem vergangenen Ereignis wieder aus dem Boden aus (Exfiltration) und vermischt sich mit dem Niederschlag des aktuellen Ereignisses.

Im Folgenden wird zunächst nur die Einphasenströmung des Oberflächenwassers betrachtet, der Bewegungsbeginn und der Transport von Teilen der Bodenmatrix (Erosion) werden nicht analysiert. Der Massentransport könnte, nachdem die Bewegungsgleichungen der Einphasenströmung in steilen Hängen verifiziert oder korrigiert wurden, in späteren Arbeitsschritten betrachtet werden.

Für die Simulation des Oberflächenabflusses an Steilhängen werden aktuell dieselben Ansätze verwendet wie zur Berechnung des Oberflächenabflusses auf flachen Überflutungsflächen in Gewässern und auf Auen. Die dabei erzielten Ergebnisse scheinen so plausibel, sodass die verwendeten Modelle bislang noch nicht hinterfragt wurden. Und das obwohl die geometrischen und hydraulischen Randbedingungen an steilen Hanglagen sich von denen auf flachen Überflutungsflächen stark unterscheiden.

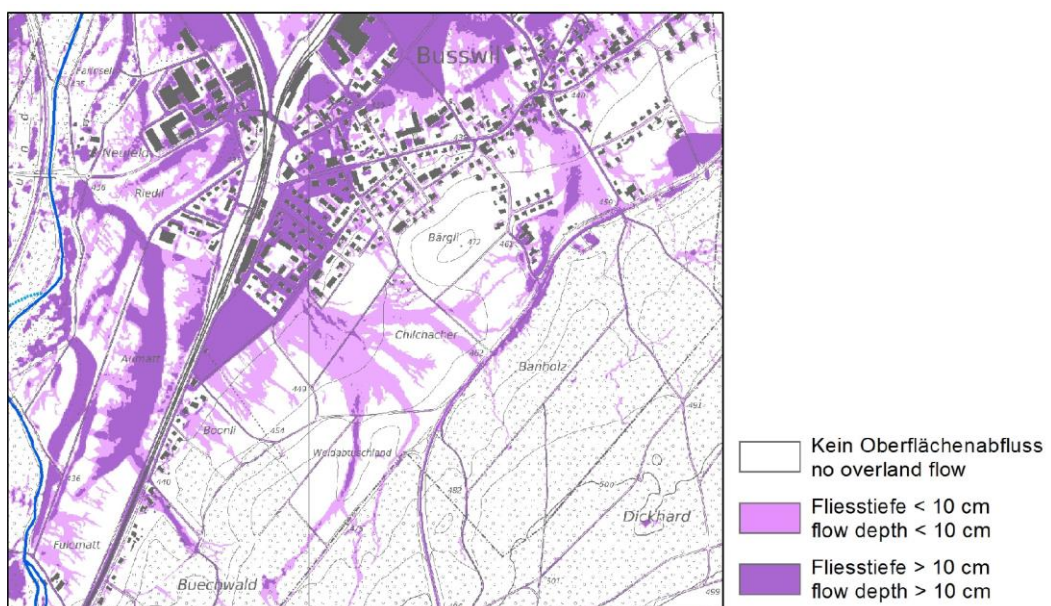
In diesem Zusammenhang verglich beispielsweise Herr Dipl.-Ing. Klaus Schmalzl des Wasserwirtschaftsamtes Rosenheim in seinem Vortrag „Sturzfluten hydrodynamisch numerisch mit HYDRO_AS-2D berechnen“ [38], den er im Rahmen des Treffens der Anwender des 2D-Hydrodynamik-Programms HYDRO_AS-2D der Fa. Hydrotec am 11. Okt 2014 in München hielt, das Programm HYDRO_AS-2D, welches eigentlich für die 2-Dimensionale Simulation in Gewässern entwickelt worden ist, mit einem „Schweizer Messer“, welches als Symbol für einen vielseitigen Einsatz steht.

In Kongress INTERPRAEVENT 2012 in Grenoble [25] wurde „Ein neuer Ansatz zur Modellierung von Oberflächenabfluss“ vorgestellt. In der Zusammenfassung:

„Oberflächenabfluss wird als der Teil des Niederschlags verstanden, welcher einem Vorfluter über die Bodenoberfläche unmittelbar zufließt. Auswertungen von Unwetterereignissen in den letzten Jahren in der Schweiz haben gezeigt, dass bis zu 50% der durch Wassergefahren verursachten Schadenfälle durch Oberflächenabfluss verursacht worden sind. Dennoch ist Oberflächenabfluss in der Schweiz kaum in den Gefahrenkartierungsprozess integriert. Um diese Lücke zu füllen, wurde auf der Basis der **Software FloodArea** eine Methode entwickelt, welche eine Modellierung von Oberflächenabfluss mit einheitlichen Kriterien über grosse Gebiete erlaubt. In dieser Studie werden die Methodenentwicklung und zwei Fallstudien vorgestellt. Die Resultate zeigen, dass an den Rändern von Siedlungsflächen und im Landwirtschaftsland gute Ergebnisse erzielt werden. Potenziell gefährdete Gebäude oder Bauparzellen werden erkannt. Innerhalb von Siedlungsgebieten sind die Differenzen zu realen Ereignissen grösser. Daher liegt der Fokus von Folgearbeiten auf einer weiteren Verbesserung der Genauigkeit des Geländemodells und der Integration von zusätzlichen Strukturen (z.B. Kleinbauten), welche Fließwege entscheidend beeinflussen können.“ aus [25]

wird auf die Software FloodArea der Fa. Geomer, Heidelberg verwiesen.

FloodArea und auch HYDRO_AS-2D sind Beispiele von in der Praxis verwendeten Programmen zur Berechnung von Wasserspiegellagen in Gewässern und zur 2-D Überflutungssimulation auf Auen. Wie das nachfolgende Bild zeigt sind die mit FloodArea erzielten Simulationsergebnisse plausibel.



Oberflächenabflussmodellierung in Busswil (Kanton Bern, Schweiz) aus [25]

Der Verfasser dieser Projektskizze selbst hat, in Zusammenarbeit mit der Fa. Geomer in Heidelberg, die hydraulischen Kernroutinen für das Programm FloodArea entwickelt und ist daher in der Lage deren Einsatzgrenzen gut beurteilen zu können.

4.1 Korrektur der Fließformeln zur Simulation des Oberflächenabflusses an steilen Hängen

Die nachfolgende Tabelle zeigt die unterschiedlichen Ausprägungen von wichtigen hydraulischen und geometrischen Randbedingungen für den steilen Oberflächenabfluss und für die Wasserausbreitung auf den vergleichsweise flachen Gewässerauen.

Parameter	Ausprägung	
	Gewässer und Aue	Steile Hanglage
Gefälle	klein ‰ bis 10%	groß 5% bis über 100%
Wassertiefe	groß Dezimeter bis mehrere Meter	klein Dünnschichtabfluss bis Dezimeter

Betrachten wir zunächst ein Fluidelement $dx \times h \times U$ auf einer steilen Hangfläche mit dem Hangneigungswinkel β und formulieren in x- Richtung das Kräftegleichgewicht zwischen der hangabwärts treibenden Kraft

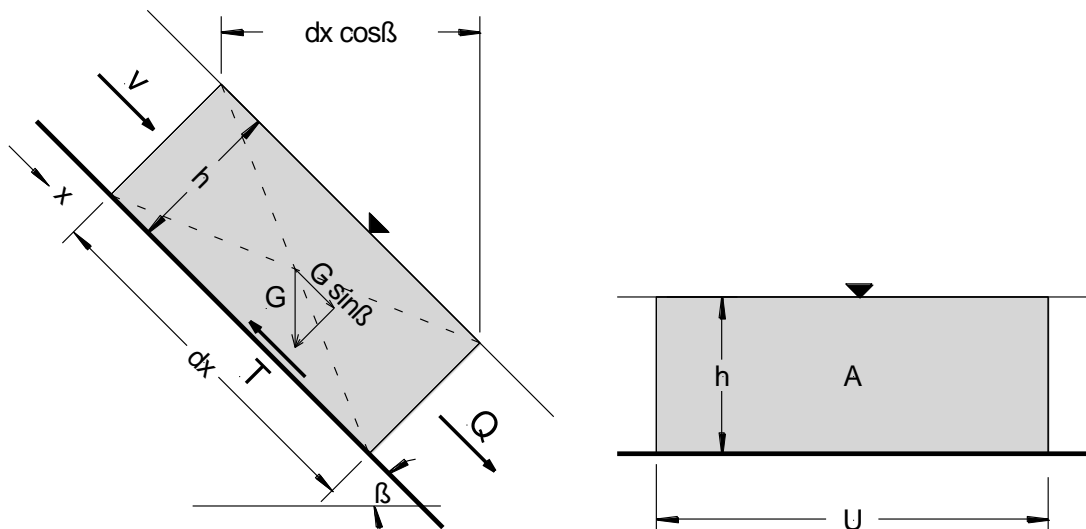
$$G \times \sin \beta = dx \times h \times U \times \rho \times g \times \sin \beta$$

und der Hangreibungskraft T.

$$T = \tau \times U \times dx$$

Man erhält so den bekannten Ansatz für die Schleppspannung τ auf einer Hangfläche:

$$\tau = \rho \times g \times \frac{A}{U} \times \sin \beta \quad \left[\frac{N}{m^2} \right]$$



Mit dem in der turbulenten Hydraulik üblich verwendeten Ansatz:

$$\tau = \frac{\lambda}{8} v^2 \quad \left[\frac{N}{m^2} \right]$$

ergibt sich die Fließformel für den Oberflächenabfluss:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\lambda}} \times \sqrt{8 \times g \times \frac{A}{U} \times \sin \beta} \quad \left[\frac{m}{s} \right]$$

mit

v	- mittl. Fließgeschwindigkeit	[m/s]
$\frac{1}{\sqrt{\lambda}}$	- Reibungskoeffizient	[-]
g	- Erdbeschleunigung	[m/s ²]
A	- Abflussquerschnitt	[m ²]
U	- benetzte Sohle	[m]
β	- Hangneigungswinkel	[Grad]

Da in der Flusshydraulik die Neigungswinkel der Gewässersohlen deutlich kleiner sind als die Neigungswinkel steiler Hanglagen werden die Fließformeln vereinfacht:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\lambda}} \times \sqrt{8 \times g \times \frac{A}{U} \times I_E}$$

Anstelle des $\sin \beta$ wird das Gefälle I_E verwendet. D.h. $\sin \beta = I_E$ oder $\sin \beta = \tan \beta = I_E$

mit

I_E	- Sohlgefälle [-,%o,%]
-------	------------------------

Für Gefälle bis 20% oder 11,3 Grad Neigung ist diese Vereinfachung vertretbar und liefert gute Ergebnisse. Ab Neigungen größer 20% darf diese Vereinfachung nicht mehr angesetzt werden. Bei einer Hangneigung mit 45 Grad oder $I_E=1=100\%$ Gefälle weichen die Ergebnisse für die Fließgeschwindigkeit um 16% ab:

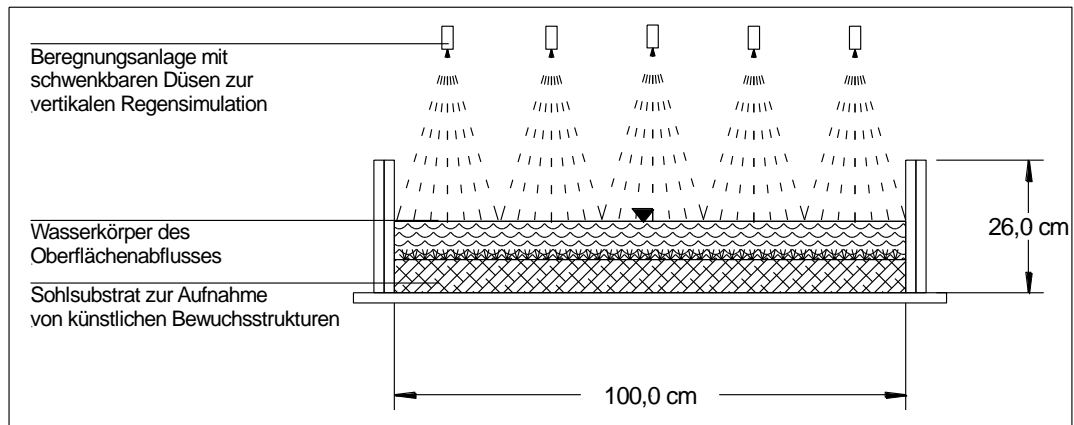
$$\sqrt{1} = 1; \sqrt{\sin 45} = 0,7071 = 0,84; \text{Fehler} = \frac{1-0,84}{1} \times 100 = 16\%$$

Bei aktuellen Simulationen werden diese Fehler, manchmal auch aus Unkenntnis hingenommen oder mit Hilfe des Reibungskoeffizienten der Oberflächen versucht zu korrigieren.

4.2 Versuchseinrichtung zur Überprüfung und Anpassung der Fließformeln zur Simulation des Oberflächenabflusses an steilen Hängen

Auf dem Gelände des Wasserbaulaboratoriums der Hochschule RheinMain soll im nächsten Sommersemester 2015 eine Versuchseinrichtung zur Simulation von Oberflächenabfluss auf Hanglagen bis 45° (1:1, 100%) errichtet werden.

Es soll eine kippbare Versuchsrinne mit einer Breite von 1,0 m, einer Höhe von 0,26 m und einer Länge von 6,3 m errichtet werden (vgl. auch Anlage 1). Zur vertikalen Regensimulation soll über der Versuchsrinne eine Beregnungsanlage mit schwenkbaren Düsen angebracht werden.



Kipprinne zur Simulation von Oberflächenabflüssen an steilen Hängen vgl. Anlage 1

In einer ersten Phase sollen die in Abschnitt 4.1 diskutierten hydraulischen Ansätze in Versuchen verifiziert werden. Hierbei gilt es besonders zu überprüfen, ob bei sehr kleinen Abflusstiefen (Dünnfilmabfluss) die Oberflächenspannung der Wassers bei den Bewegungsgleichungen von Bedeutung ist.

Für die Versuchsreihen können die Beregnungslänge, die Niederschlagsintensität und der Neigungswinkel der Versuchsrinne variiert werden.

Arbeitsziel unterstützt durch Studienarbeit: Überprüfung und Anpassung der Fließformeln zur Simulation des Oberflächenabflusses an steilen Hängen.

In einer späteren Versuchsphase soll Sohlsubstrat/Boden eingebracht werden, um mit oder ohne künstlichen Bewuchsstrukturen verschiedene Hangrauheiten simulieren zu können. Dies soll zur Klärung des Erosionsbeginns der Bodenmatrix beitragen.

5 **Arbeitspaket 4: Instationäre, 2–dimensionale Modellierung des Oberflächenabflusses bei Starkniederschlägen**

Um dem Programmieraufwand im Rahmen des Projektes so gering wie möglich zu halten, wird vorgeschlagen das Programm Floodarea der Fa. Geomer, Heidelberg, welches sich bisher in der Praxis bewährt hat, als Basis für die Simulationen zu verwenden. FloodArea ist ein vollständig in ArcGIS® integriertes 2D-Modell zur Berechnung von Überschwemmungsflächen. Wie in Abschnitt 4 bereits erwähnt war der Verfasser dieser Skizze in die Erarbeitung der hydraulischen Kernroutinen dieser Software involviert und kann insofern ihre Einsatz- und Anpassungsmöglichkeiten sehr gut abschätzen. Eine Abstimmung mit Herrn Dr. Assmann von der Fa. Geomer erfolgte vor dem Verfassen dieser Projektskizze.

Folgende Anpassungen bzw. Erweiterungen des Programms sollen realisiert werden:

- Schnittstelle zu den DWD-Radarniederschlagsdaten, um die 5-minütigen RADOLAN RY-Komposite für eine instationäre 2-dimensionale Modellierung des Oberflächenabflusses verwenden zu können (vgl. Abschnitt 2).
- Einarbeitung der angepassten und erweiterten Ansätze zur Ermittlung des abflusswirksamen Niederschlages bei Starkregen.
- Einarbeitung der überarbeiteten hydraulischen Ansätze für den Oberflächenabfluss in steilen Hanglagen.

Für die in Abschnitt 7 vorgeschlagenen Pilot-Einzugsgebiete sollen für ausgesuchte Starkregenereignisse (Regensammlung, vgl. Abschnitt 2.2) Simulationen des Oberflächenabflusses durchgeführt werden.

Die Ergebnisse dieser Simulationen sollen die hydraulische Grundlage für die in Abschnitt 6 beschriebenen Starkregen-Gefahrenkarten bilden.

Folgende Datengrundlagen sind in die Simulationen des Oberflächenabflusses zu integrieren:

- Radarniederschlagsdaten (vgl. Abschnitt 2).
- ein hoch aufgelöstes digitales Geländemodell aus Laserscandaten.

Bereits durchgeführte Simulationen des Landes Baden Württemberg, im Einzugsgebiet der Starzel und [25], zeigen, dass der Einfluss von Kleinstrukturen und Hindernissen (Mauern, Gräben, Strassendammprofile) auf den Verlauf des Abflussgeschehens einen großen Einfluss haben können.

Diese Kleinstrukturen werden allerdings durch das digitale Geländemodell nicht immer vollständig abgebildet. Ggf. müssen die Kleinstrukturen nachdigitalisiert werden um das digitale Geländemodell „hydraulisch“ zu vervollständigen.

- Gewässernetz.
- Nutzungsmodell (z.B. ATKIS/ ALKIS, CORINE LAND COVER), ggf. mit Luftbildaufnahmen zur Verifizierung und Präzisierung der Nutzung und zur Ermittlung der Bearbeitungsrichtung bei landwirtschaftlichen Flächen.

Hydraulisch nicht aktive Gebäudeflächen müssen „markiert“ werden, damit die Simulation an einer möglichst realen Oberflächegeometrie durchgeführt werden kann.

- Bodenkarte.
- Informationen über die Bodenfeuchte oder Betrachtung der Regenmengen in den letzten 30 Tagen.

6 **Arbeitspaket 5: Erarbeitung von Starkregen Gefahrenkarten für das Land Hessen**

Wie im einführenden Abschnitt 1 erläutert müssen, aufgrund der zu kurzen Vorwarnzeiten in kleinen Einzugsgebieten, die Flächen- und Bauvorsorge intensiviert werden, um Schäden durch Starkregen und Sturzfluten mindern zu können. Die dazu notwendigen Informationen über die in dieser Hinsicht gefährdeten Flächen und deren Nutzung müssen bei der angepassten kommunalen Planung berücksichtigt werden. Flächennutzungs- und Bebauungspläne sind auf die topographischen Gegebenheiten und auf die Abflusseigenschaften des Gebietes bei Starkregen abzustimmen.

Starkregen Hinweis- oder Starkregen Gefahrenkarten können, als Ergänzung zu den mittlerweile bundesweit eingeführten Hochwassergefahrenkarten, diese Informationen bereitstellen.

Die im Folgenden verwendeten Begriffe:

- Starkregen-Hinweiskarte,
 - Starkregen-Gefahrenkarten oder Fließpfadkarten
- sind vorläufige Benennungen. Wie auch bei den Hochwassergefahrenkarten muss die LAWA für eine bundesweit einheitliche Benennung Sorge tragen.

Aus der Sicht der Verfasser wird ein zweistufiges Vorgehen empfohlen:

1. Identifikation der potentiell gefährdeten Hangflächen und die Erstellung von Starkregen Hinweiskarten
2. Simulation des Oberflächenabflusses der potentiell gefährdeten Flächen und Erstellung von Starkregen Gefahrenkarten oder Fließpfadkarten

Eine flächendeckende Simulation des Oberflächenabflusses im betrachteten Projektraum sollte, aufgrund der dabei entstehenden Projekt- bzw. Ingenieurkosten, überdacht werden.

(Stufe 1): Identifikation der potentiell gefährdeten Hangflächen und die Erstellung von Starkregen Hinweiskarten

Es wird vorgeschlagen in einem ersten Schritt den betrachteten Projekttraum flächendeckend auf potentiell gefährdete Hangflächen zu untersuchen.

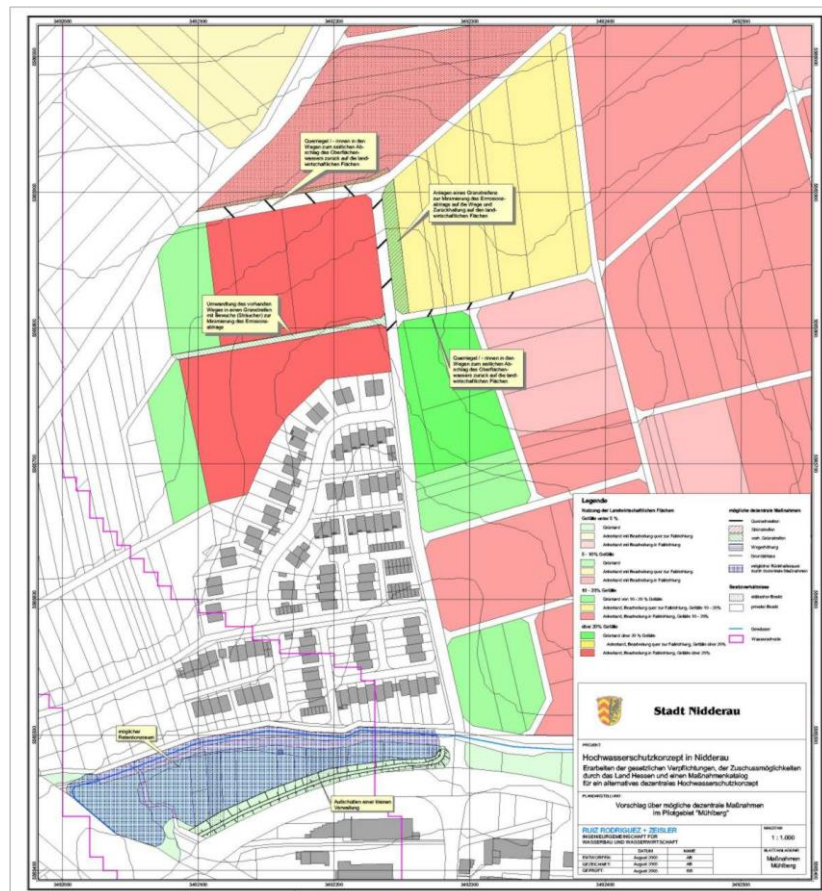
Dazu sollen die Geländeneigung, die Bodennutzung, sowie die Lage der steilen Hangflächen zu den schadensempfindlichen Flächen (z.B. Siedlungsgebiete) fachlich miteinander verknüpft werden.

Beispielsweise lassen sich, auf Grundlage der folgenden fachlich begründeten Matrix, mit Hilfe der GIS Werkzeuge, die potentiell gefährdeten Hangflächen leicht identifizieren.

Geländeneigung	Grünland	Ackerland	
		Bearbeitung quer zur Fallrichtung	Bearbeitung in Fallrichtung
kleiner 5%	nicht gefährdet	wenig gefährdet	
5% bis 10%		mäßig gefährdet	
10% bis 20%		mäßig gefährdet	
großer 20%	stark gefährdet	sehr stark gefährdet	sehr stark gefährdet

Liegen unterhalb stark oder mäßig gefährdeter Flächen Siedlungsgebiete oder sind in den gefährdeten Flächen Siedlungsentwicklungen geplant, ist eine detaillierte Untersuchung des Oberflächenabflusses erforderlich (Stufe 2).

Die bislang verwendeten Kriterien zur Einschätzung den potentiell betroffenen Flächen sollten überprüft und weiterentwickelt werden.



Beispiel für eine Starkregen-Hinweiskarte, Stadt Nidderau

(Stufe 2) Simulation des Oberflächenabflusses der potentiell gefährdeten Flächen und Erstellung von Starkregen Gefahrenkarten oder Fließpfadkarten

Für die in Stufe 1 identifizierten, gefährdeten Flächen ist in der zweiten Stufe der Oberflächenabfluss zu simulieren. Je nach Größe des zu betrachtenden Niederschlags Einzugsgebietes, oberhalb der gefährdeten Siedlungsflächen und Infrastrukturen, müssen aus der Regensammlung (vgl. Abschnitt 2.2) konvektive Ereignisse geeigneter Dauer ausgewählt werden.

Aus der instationären 2D-Simulation erhält man für definierte Zeitpunkte nach dem Beginn des Niederschlages folgende, für das gewählte Berechnungsraster, räumlich aufgelöste, hydraulisch relevante Grundinformationen:

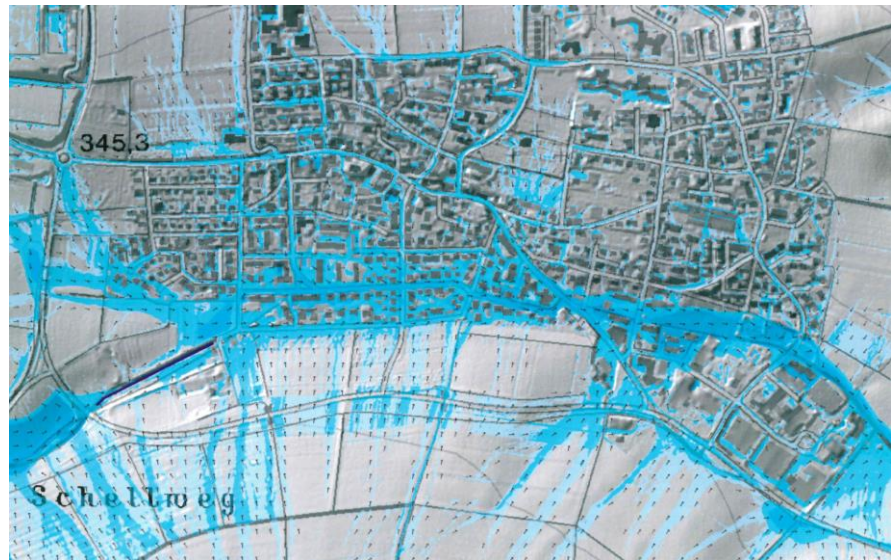
- Ist die Fläche benetzt? (ja/nein)
- Wasserstand („Überflutungshöhe“) auf der Fläche
- Fließrichtung und Fließgeschwindigkeit auf der Fläche

Diese hydraulischen Grundinformationen müssen aufbereitet, fachlich interpretiert und auf geeignete Weise dargestellt werden.

Letztlich geht es darum, die Frage zu klären, welche Fachinformationen eine Starkregen-Gefahrenkarte beinhalten sollte.

Aus der Sicht der Verfasser sollten in den Gefahrenkarten folgende hydraulische Informationen enthalten sein:

- Abflussrinnen und Fließpfade auf den Hangflächen (Vervollständigung des Gewässernetzes gegen Fließrichtung, vgl. auch Bild Abschnitt 4, Seite 21).



Starkregen-Gefahrenkarte mit Fließpfaden und Fließrichtung aus BWK [1]

- Wassertiefenentwicklung entlang der Fließpfade.
- Fließgeschwindigkeiten entlang der Fließpfade.

Diese Fachinformationen sollten zusammen mit einem, für den Nutzer geeigneten Kartenhintergrund (Luftbildaufnahmen, ALK, topographische Karte, etc.), visualisiert werden.

Im Rahmen der Bearbeitung der vorgeschlagenen Pilot-Einzugsgebiete (siehe Abschnitt 7) sind geeignete Inhalte und Darstellungsmöglichkeiten für Starkregen-Gefahrenkarten zu entwickeln.

Wie auch bei den Hochwassergefahrenkarten, sollte die LAWA für bundesweit einheitliche Standards der Starkregen-Gefahrenkarten Sorge tragen.

7 Arbeitspaket 6: Modell-/ Pilotprojekt „Umgang mit Starkniederschlägen in Hessen“

In einem letzten Arbeitsabschnitt sollen anhand ausgesuchter Einzugsgebiete, mit Hilfe des in Abschnitt 6 vorgeschlagenen Vorgehens, Starkregen-Hinweiskarten und Starkregen-Gefahrenkarten erstellt werden.

Die Verwendung von Niederschlagsdaten aus Radarbeobachtungen (vgl. Abschnitt 1) und der Einsatz des verbesserten Simulationsmodells (vgl. Abschnitte 3 und 4) werden gegenüber der heutigen Praxis bessere fachliche Informationen zur Bewältigung von Starkregen-Gefahrenlagen bereitstellen können.

Folgende Pilot-Einzugsgebiete in hessischen Rheingau werden zur Auswahl gestellt:

- **Walluf** ($A_E=28,1 \text{ km}^2$)
Die Walluf besitzt einen Pegel (Martinsthal, $A_E=24,5 \text{ km}^2$, 3,6 km oberhalb der Mündung) im Einzugsgebiet. An der Hochschule RheinMain steht ein Niederschlags-Abfluss Modell der Walluf zur Verfügung.
- **Erbach/ Kisselbach** ($A_E= 10,6 \text{ km}^2$)
- **Pfingstbach** ($A_E= 8,4 \text{ km}^2$)
- **Stegbach/ Blaubach** ($A_E= 12,7 \text{ km}^2$)

Der Hochwasserrisikomanagementplan Rheingau steht zurzeit in der öffentlichen Abstimmung und wird im Laufe 2015 fertig gestellt werden. Nach Aussage von Frau Tremper des Regierungspräsidiums Darmstadt, Abteilung IV/Wi. 41.2., wäre eine Ergänzung des HWRM-PL Rheingau durch Starkregen-Hinweis- und -Gefahrenkarten der Rheingaubäche hilfreich. Diese würden die im HWRM-PL Rheingau betrachteten Rhein-Hochwasserszenarien ergänzen.

Arbeitsziel unterstützt durch Studienarbeiten: Erstellung von Niederschlags- Abfluss Modellen für die Rheingaubäche: Erbach/ Kisselbach, Pfingstbach, Stegbach/ Blaubach

Bei der Erstellung der Starkregen-Hinweiskarten und Starkregen-Gefahrenkarten für die Pilot-Einzugsgebiete, sollen die in Abschnitt 6 weiterentwickelten Ansätze erprobt und die Karteninhalte mit den späteren Nutzern diskutiert werden. Dabei sollen insbesondere die Kartendarstellung und deren Inhalte den jeweiligen fachlichen Bedürfnissen entsprechen.

8 Literatur und Quellen

- [1] Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau (BWK) e.V. (Hrsg.)(2013): Starkregen und urbane Sturzfluten, Praxisleitfaden zur Überflutungsvorsorge. BWK-Fachinformation, Ausgabe Juli 2013, Band 1/2013, Sindelfingen.
- [2] BUREK, P., THIELEN-DEL POZO, J., THIEMIG, V., SALAMON, P., DE ROO, A. (2011): Das Europäische Hochwasserfrühwarnsystem (EFAS). In: DWA (Hrsg.): Fachbeiträge. Korrespondenz Wasserwirtschaft, Ispra (Italien).
- [3] Deutsche Bundesstiftung Umwelt (Hrsg.)(2002): Innovativer Ansatz eines vorbeugenden Hochwasserschutzes durch dezentrale Maßnahmen im Bereich der Siedlungswasserwirtschaft sowie der Landwirtschaft im Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße. Endbericht. Universität Hannover.
- [4] Deutscher Wetterdienst (DWD), Abteilung Hydrometeorologie (Hrsg.)(2004): Projekt RADOLAN, Routineverfahren zur Online-Aneicherung der Radarniederschlagsdaten mit Hilfe von automatisierten Bodenniederschlagsstationen (Ombrometer).
- [5] Deutscher Wetterdienst (DWD), Abteilung Hydrometeorologie (Hrsg.)(2011): RADOLAN/RADVOR-OP, Beschreibung des Kompositformats, Version 2.2.2.
- [6] Deutscher Wetterdienst (DWD) (Hrsg.)(2008): Radarniederschlag-Prinzip der Niederschlagsbestimmung mit Radar inklusive Umrechnung der Radarreflektivitäten in Momentanwerte des Niederschlages, Version 1.0.
- [7] Deutscher Wetterdienst (DWD), Abteilung Hydrometeorologie (Hrsg.)(2005): Projekt RADVOR-OP.
- [8] Deutscher Wetterdienst (DWD), Abteilung Hydrometeorologie (Hrsg.)(2012): Projekt RADVOR-OP.
- [9] DWA Regelwerk, Arbeitsblatt DWA-A 531(2012): Starkregen in Abhängigkeit von Wiederkehrintervall und Dauer.
- [10] DWA Regelwerk, Arbeitsblatt DWA-A 118 (2006): Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen.
- [11] DWA Regelwerk, Merkblatt DWA-M 153 (2007): Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser.
- [12] DWA Kommentar zum DWA Regelwerk (2008): Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser.
- [13] DWA Themen (2010): Abflüsse aus extremen Niederschlägen, Ergebnisse einer Bestandsaufnahme. Hochwasserereignisse und Modellansätze zu ihrer Abbildung.

- [14] DWA-Arbeitsgruppe ES-2.6 (2008): Abflüsse aus Außengebieten der Kanalisation. Arbeitsbericht.
- [15] EHRET, U. (2003): Rainfall and flood nowcasting in small catchments using weather radar. In: Universität Stuttgart, Institut für Wasserbau (Hrsg.): Mitteilungen - Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart. 121.
- [16] FÜRST, J. (2004): GIS in Hydrologie und Wasserwirtschaft. Herbert Wichmann Verlag.
- [17] GONSOWSKI, P. (1987): Der Einfluss der Bodenluftkompression auf die vertikale Infiltration von Wasser in Sanden. Wasserbaumitteilungen, Heft 28, Institut für Wasserbau, TH Darmstadt.
- [18] HATZFELD, F. (2010): Sturzfluten in urbanen Gebieten. Vorsorge ist möglich. In: DWA (Hrsg.): Fachbeiträge. Korrespondenz Wasserwirtschaft, Aachen.
- [19] HOCHSCHILD, J. (2008): Hydrologische Charakterisierung des alpinen Einzugsgebietes der Dornbirner Ache. Diplomarbeit: Institut für Hydrologie, Universität Freiburg i. Br.
- [20] HOFFMANN, P. (2009): Modifikation von Starkniederschlägen durch urbane Gebiete. Diplomarbeit: Meteorologisches Institut, Department Geowissenschaften, Universität Hamburg.
- [21] Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH, Fachhochschule Aachen, DWD (2008): Vorhersage und Management von Sturzfluten in urbanen Gebieten (URBAS). In: Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.): Förderprogramm des BMBF, Aachen.
- [22] Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH, Fachhochschule Aachen, DWD (2008): Ergebnisse des Forschungsvorhabens. In: Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.): Förderprogramm des BMBF, Aachen.
- [23] IHK Rhein-Neckar (2011): Starkregen – Auswirkungen und Anpassungsstrategien. 8.Hochwasserschutzforum in der Metropolregion Rhein-Neckar. In: Schriftenreihe des Verbandes Region Rhein-Neckar, Heft 9.
- [24] KEIL, C. (2000): Numerische Simulation von Starkniederschlagsereignissen mit mesoskaligen Wettervorhersagemodellen. Dissertation: Institut für Physik und Atmosphäre, Universität München.
- [25] KIPFER, A., KIENHOLZ, C., LIENER, S. (2012): Ein neuer Ansatz zur Modellierung von Oberflächenabfluss: 12. Kongress INTERPRAEVENT, Grenoble/Frankreich.
- [26] Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN-Normenausschuss KRdL (2014): Wetterradar-Anwendungen für die Wasserwirtschaft. In: VDI-Expertenforum, Offenbach.

- [27] KORNDÖRFER, C., SEIFERT, J., KROLL, H., FUHRMANN, L. (2000): Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Ziele und Planungsgrundlagen einer naturnahen Regenwasserbewirtschaftung in Dresden. In: DWA (Hrsg.): KA Abwasser/Abfall, Dresden.
- [28] KRÄMER, S., VERWORN, H.-R., TREIS, A., PFISTER, A., BECKER, M. (2009): Korrektur von C-Band-Radardaten für die Niederschlags-Abfluss-Modellierung. Grundlagen, Algorithmen und Verifikation. In: DWA (Hrsg.): Fachbeiträge. Korrespondenz Wasserwirtschaft, Essen, Hannover.
- [29] LANG, P. (2003): CONRAD. In: DWD (Hrsg.).
- [30] LEMPERT, M. (2000): Ein GIS gekoppeltes rasterbasiertes Modell zur Berechnung des Wasserhaushaltes kleiner Einzugsgebiete. In: Wasserbaumitteilungen, Heft 110. Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, TU Darmstadt.
- [31] MARX, A. (2006): Einsatz gekoppelter Modelle und Weterradar zur Abschätzung von Niederschlagsintensitäten und zur Abflussvorhersage. In: Universität Stuttgart, Institut für Wasserbau (Hrsg.): Mitteilungen - Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart. 160.
- [32] Ministerium für Umwelt und Forsten, Rheinland Pfalz (2000): Naturnaher Umgang mit Niederschlagswasser. Konzeption und ausgeführte Beispiele, Mainz.
- [33] PEUßNER, J. (2013): Untersuchung der Nutzbarkeit von zeitlich hoch aufgelösten Radardaten des Niederschlags zur verbesserten Simulation des Bodenabtrags durch Wasser. Masterarbeit: Institut für Physische Geographie und Landschaftsökologie, Universität Hannover.
- [34] PFAFF, T. (2012): Processing and Analysis of Weather Radar Data for Use in Hydrologie. In: Universität Stuttgart, Institut für Wasser- und Umweltsystemmodellierung (Hrsg.): Mitteilungen - Institut für Wasser- und Umweltsystemmodellierung, Universität Stuttgart. 216.
- [35] PLATE, E. J., ZEHE, E. (Hrsg.)(2008): Hydrologie und Stoffdynamik kleiner Einzugsgebiete, Prozesse und Modelle. Verlagsbuchhandlung Schweizerbart.
- [36] SCHATZL, R. (2001): Skalenabhängiger Vergleich zwischen Weterradardaten und Niederschlagsmessungen. In: TU Graz (Hrsg.): Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft, Technische Universität Graz. 39.
- [37] SCHÄDEL, W. (2006): Schritte zur Verbesserung einer Hochwasserfrühwarnung mittels Online-Bodenfeuchtemessungen. Dissertation: Universität Karlsruhe (TH).
- [38] SCHMALZL, K. (2014): Sturzfluten hydrodynamisch numerisch mit HYDRO-AS-2D berechnen. Wasserwirtschaftsamt Rosenheim.
- [39] Stadt Graz (2013): Fließpfadkarte Graz.

- [40] THUNIG, S. (2004): Berechnung der Hochwasserscheitelminderung der Windach am Auslass des Windachspeichers durch den Bau zweier geplanter Retentionsbecken. Diplomarbeit: Institut für Wasserwesen, Universität der Bundeswehr München.
- [41] Verein Deutscher Ingenieure (2014): Umweltmeteorologie. Bodengebundene Fernmessung des Niederschlags. Wetterradar. In: VDI-Richtlinien.
- [42] WETZEL, M. (2005): Modellierung der Hangwasserdynamik eines Untersuchungsgebietes im Nationalpark Hainich mit dem Modell HYDRUS-2D. Diplomarbeit: Universität Jena.
- [43] WINTERRATH, T. Dr., WEIGL, E. (2012): RADOLAN, RADVOR-OP und die RADOLAN-Klimatologie. Status und Pläne. In: DWD (Hrsg.): DWD-Kundenforum Hydrometeorologie, Offenbach.

9 Allgemeine Informationen, Zeitplan und Ressourcen

9.1 Allgemeine Informationen

Antragsteller:	Prof. Dr.-Ing. Ernesto Ruiz Rodriguez Wasserbaulaboratorium am Fachbereich Architektur und Bauingenieurwesen Hochschule RheinMain Kurt-Schumacher-Ring 18 65197 Wiesbaden
Projektbearbeiter:	Arbeitsgruppe „Starkregen und Sturzfluten“ am Wasserbaulaboratorium Prof. Dr.-Ing. Ernesto Ruiz Rodriguez (Projektleitung) B.Eng. Lisa Trost (Projektbearbeitung) Frank Salfner (Vermessungstechniker, Laborant am Wasserbaulaboratorium und in der EDV- Arbeitsgruppe des Fachbereichs) Die Arbeitsziele werden durch Studienarbeiten des Master- Studienganges „Umweltmanagement und Stadtplanung in Ballungsräumen“ (UMSB) unterstützt.
Partnerschaften/ Kooperationspartner:	Prof. Dr. Ralf Dörner, Hochschule RheinMain, FG Graphische Datenverarbeitung und Virtuelle Realität Prof. Dr. Robert Seuß, Fachhochschule Frankfurt, FG Geoinformation und Kommunaltechnik Berufsfeuerwehr Wiesbaden Dr. André Assmann, Fa. Geomer, Heidelberg
gewünschte/ Zusammenarbeit:	Deutscher Wetterdienst, Abt. Hydrometeorologie
Projektdauer:	4 Jahre (vgl. 9.2 Zeitplan)
Eigenmittel:	Projektleitung durch Prof. Dr. E. Ruiz Rodriguez Nutzung der Einrichtungen des Wasserbaulaboratoriums der Hochschule RheinMain Unterstützung bei Laborarbeiten und EDV Infrastruktur durch Frank Salfner

9.2 Zeitplan

	1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	4. Jahr	Bemerkung
Arbeitspaket 1: Verwendung von Radardaten zur Simulation von Starkregen/ Sturzfluten für kleine Einzugsgebiete					Beginn der Arbeiten
Klärung der Verfügbarkeit von Radarniederschlagsdaten (für Modellierer/ Ingenieurbüros)					
Aufwand zur Nutzung und Aufbereitung von Radarniederschlagsdaten für Modellierer/ Ingenieurbüros Erstellung eines Werkzeugs zur Visualisierung der archivierten und aktuellen Radarniederschlagsdaten Erstellung eines Werkzeugs zur Transformation und Projektion der DWD-RADOLAN-RW und RY-Komposit-Radarniederschlagsdaten in Gauß-Krüger und/oder UTM-Projektion Erstellung eines GIS Werkzeugs zur Aufbereitung der DWD-RADOLAN-Komposit-Raster zur Simulation von Starkregen in kleinen Einzugsgebieten					
Auswertung der RADOLAN Radarniederschlagsdaten des DWD					
Praxisseminar/ Kolloquium „Verwendung von Radardaten zur Simulation von Starkregen/ Sturzfluten in Hessen“					
Arbeitspaket 2: Überprüfung und Anpassung von Modellansätze zur Ermittlung des abflusswirksamen Niederschlages bei Starkregen					
Überprüfung und Anpassung der Modellansätze zur Ermittlung des abflusswirksamen Niederschlages bei Starkniederschlägen, unter besonderer Berücksichtigung von Bodenfeuchte und Bodenluftkompressionseffekten					
Arbeitspaket 3: Überprüfung und Anpassung der hydraulischen Ansätze zur Berechnung des Oberflächenabflusses bei Starkregen/ Sturzfluten an steilen Hängen					
Bau der Versuchsrinne am Wasserbaulaboratorium Durchführung und Auswertung der Versuche Überprüfung und Anpassung der hydraulischen Ansätze zur Berechnung des Oberflächenabflusses					
Arbeitspaket 4: Instationäre, 2-dimensionale Modellierung des Oberflächenabflusses bei Starkniederschlägen					
Anpassen des 2-dimensionalen Modelles auf instationäre Niederschlagsfronten, Schnittstelle zu DWD RADOLAN Komposite Einarbeiten der verbesserten Ansätze zu Berechnung des abflusswirksamen Niederschlages bei Starkniederschlägen Einarbeiten der verbesserten hydraulischen Ansätze					
					1. Berichterstattung Arbeitspaket 1 (Teil 1)
					2. Berichterstattung Arbeitspaket 2 und Arbeitspaket 3 (Teil1)

wird fortgesetzt

	1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	4. Jahr	Bemerkung
Arbeitspaket 5: Erarbeitung von Starkregen Gefahrenkarten für das Land Hessen					
Überprüfen und Anpassung von fachlichen Kriterien für die Erstellung von Starkregen-Karten Definition der Inhalte von Starkregen-Hinweiskarten Definition der Inhalte von Starkregen- Gefahrenkarten					3. Berichterstattung Arbeitspaket 3 (Teil 2), Arbeitspaket 4 und Arbeitspaket 5 (Teil1)
Arbeitspaket 6: Modell-/ Pilotprojekt „Umgang mit Starkniederschlägen in Hessen“					
Erarbeitung von Starkregen-Hinweiskarten für die ausgewählten Pilot-Einzugsgebiete Erarbeitung von Starkregen-Gefahrenkarten für die ausgewählten Pilot-Einzugsgebiete Überprüfen der fachlichen Kriterien und Ansätze (Arbeitspaket 5) für die Erstellung von Starkregen-Karten Diskussion über die Starkregen-Karteninhalte und Starkregen-Kartendarstellung mit den Nutzern					4. Berichterstattung Arbeitspaket 5 (Teil 2) und Arbeitspaket 6 (Abschlussbericht)

9.3 Beantragte Mittel

Zur Durchführung und Erreichung der im Antrag beschriebenen Arbeitsziele werden für das:

1. Projektjahr: 35.000 Euro
2. Projektjahr: 35.000 Euro
3. Projektjahr: 35.000 Euro
4. Projektjahr: 35.000 Euro

beantragt.

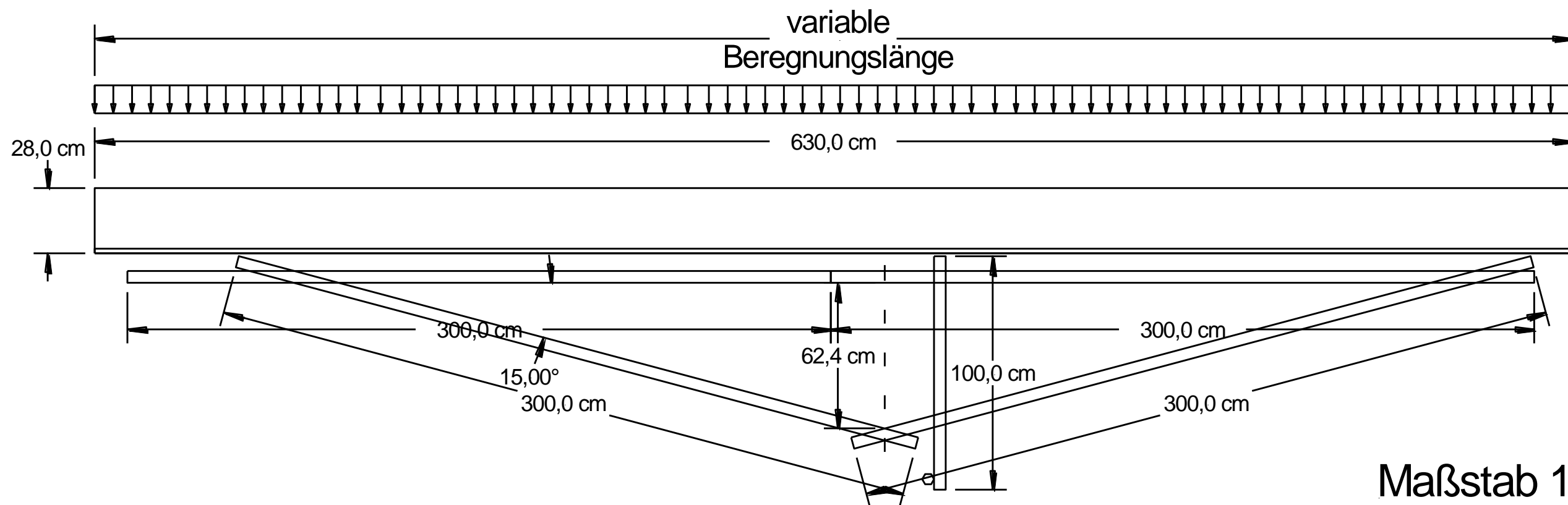
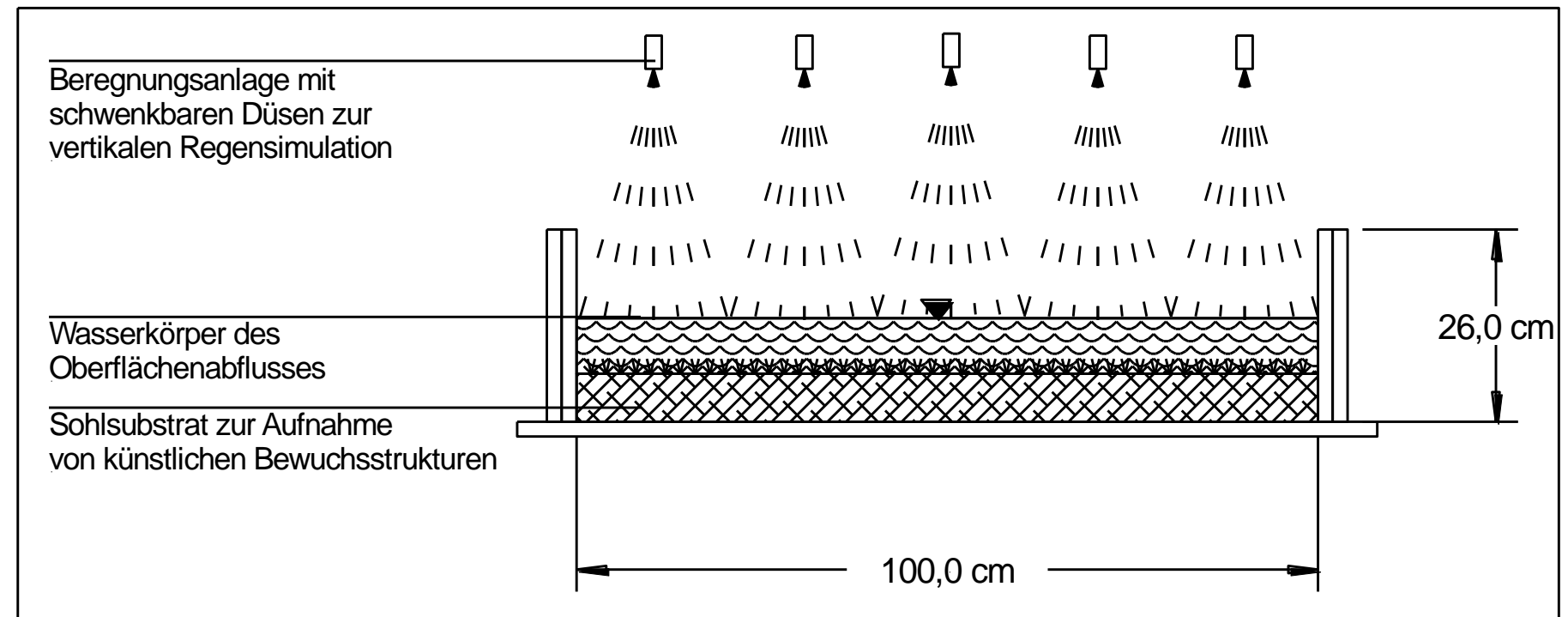
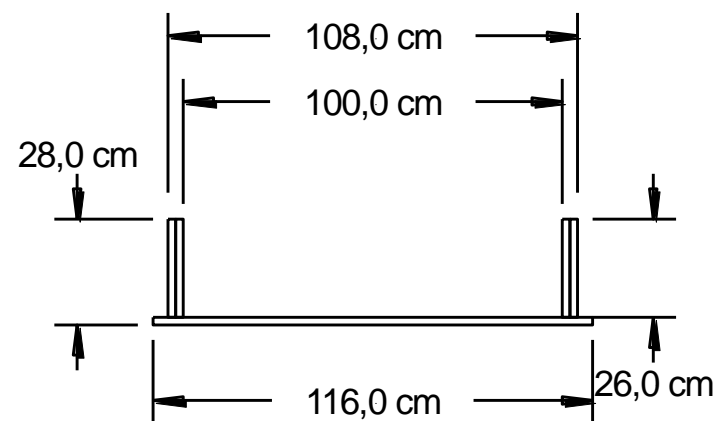
Kipprinne zur Simulation des Oberflächenabflusses an steilen Hängen

Länge= 6,30 m

Breite= 1,0 m

Höhe= 0,26 m

max. Neigungswinkel 45°



Maßstab 1:20

Kipprinne zur Simulation des Oberflächenabflusses an steilen Hängen

Länge= 6,30 m

Breite= 1,0 m

Höhe= 0,26 m

max. Neigungswinkel 45°

