



Bachelorarbeit

Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel Anwendungsbeispiel einer Risikoanalyse zu Wassererosion und Sturzfluten

Hochschule Anhalt

Fachbereich Architektur, Facility Management und Geoinformation

vorgelegt von

Carolin Franke

2014

Erstprüfer:

Prof. Dr.-Ing. Norbert Gerhards (Hochschule Anhalt)

Zweitprüfer:

Min.-Rat Hubertus Bertling (Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt
Sachsen-Anhalt)

Bibliografische Hinweise

Franke, Carolin: Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel -
Anwendungsbeispiel einer Risikoanalyse zu Wassererosion und
Sturzfluten

Hochschule Anhalt, Fachbereich Architektur, Facility Management und Geoinformation,
Institut für Geoinformation und Vermessung, Bachelorarbeit, September 2014

99 Seiten, 11 Tabellen, 76 Abbildungen

Zusammenfassung

Ziel der Bachelorarbeit ist es, eine Situations- und Risikoanalyse zu Wassererosion und Sturzfluten durchzuführen. Die Wahrscheinlichkeit von starken Niederschlagsereignissen wird immer höher. Die Auswirkungen des Klimawandels sind mittlerweile für jeden spürbar und nicht mehr von der Hand zu weisen. Laut den aktuellen Wetterprognosen des Deutschen Wetterdienstes wird in den kommenden Jahren eine Verschiebung der Niederschlagsintensitäten erfolgen. Die Sommer werden trockener und die Winter feuchter. Die sanften Sommerregen werden immer seltener. Dafür nehmen die Starkregenereignisse zu.

Aufgrund fehlender Schutzmaßnahmen kommt es immer häufiger zu Schäden durch Wassererosion und Sturzfluten. Straßen werden überspült und Keller geflutet. Durch die Bodenerosion durch Wasser wird Bodenmaterial abgetragen und mit dem Oberflächenwasser hangabwärts transportiert bis es zur Akkumulation kommt. Dieses führt vor allem zu einem Verlust an Bodenfruchtbarkeit, stellt eine Gefahr für die Verkehrsteilnehmer dar und ist ein erhebliches finanzielles Problem für die betroffenen Menschen.

Um geeignete Gegenmaßnahmen finden zu können, soll eine Analyse der aktuellen Gefahrensituation Aufschluss über die Probleme und Dimensionen geben. Dafür werden im Laufe der Arbeit Erosionsgefährdungskarten erstellt, Gesamtmengen des Oberflächenabflusses berechnet und Scheitelwerte ermittelt.

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass die von mir eingereichte Bachelorarbeit selbständig unter Benutzung der angegebenen Literatur sowie Hinweisen der Betreuer angefertigt wurde.

Bezüglich der Bachelorarbeit wird der Hochschule Anhalt, insbesondere dem Institut für Geoinformation und Vermessung, ein einfaches Nutzungsrecht eingeräumt.

Dessau-Roßlau, Oktober 2014

Carolin Franke

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Norbert Gerhards vom Institut für Geoinformation und Vermessung der Hochschule Anhalt für die Betreuung und Unterstützung während dieser Bachelorarbeit.

Ministerialrat Herrn Hubertus Bertling vom Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt danke ich für die Übernahme des Zweitgutachtens.

Ebenfalls möchte ich mich bei Herrn Dr. Matthias Schrödter von der Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau, Herrn Dr. Henrik Helbig vom Landesamt für Geologie und Bergwesen und Herrn Dr. Michael Steininger vom Mitteldeutschen Institut für angewandte Standortkunde und Bodenschutz Halle für die fachliche Unterstützung bedanken.

Ich bedanke mich bei Herrn Siegfried Wiese und allen Kollegen vom Büro des Öffentlich bestellten Vermessungsingenieurs Wiese aus Halberstadt, welche mich während meines dualen Studiums immer unterstützten. Desgleichen bedanke ich mich bei dem Landwirt Herrn Frank Grossmann von der Agriculture GmbH aus Wolferode, der mir die Untersuchungsflächen und sein Agrarwissen zur Verfügung stellte.

Natürlich möchte ich meiner Familie und allen Menschen danken, die mir während dieser Arbeit stets Motivation gaben und somit diese Bachelorarbeit möglich gemacht haben.

Inhalt

Bibliografische Hinweise.....	II
Eidesstattliche Erklärung.....	III
Danksagung.....	IV
Inhalt	V
1 Einleitung.....	1
1.1 Ziel der Arbeit	5
1.2 Methodisches Vorgehen	5
2 Klimaschutzprogramm 2020 des Landes Sachsen-Anhalt.....	7
2.1 Ziele der Landesregierung	14
2.2 Beitrag der Landwirtschaft zum Klimaschutz	18
2.3 Bildung für nachhaltige Entwicklung.....	21
3 Klimawandel und Extremereignisse	23
3.1 Kennzeichen des Klimawandels und seine Folgen.....	25
3.2 Regionale Klimaprojektionen für Sachsen-Anhalt.....	27
3.3 Das Klimainformationssystem ReKIS.....	33
3.4 Maßnahmen zum Erosionsschutz	40
3.4.1 Außenbereich	41
3.4.2 Innenbereich.....	43
3.5 Theoretische Grundlagen zur Risikoanalyse	45
3.5.1 Allgemeine Bodenabtrags-Gleichung.....	45
3.5.2 Oberflächenabfluss nach dem Standard-CN-Verfahren.....	49

4	Anwendungsbeispiel einer Risikoanalyse zu Wassererosion und Sturzfluten	55
4.1	Allgemeines und Abgrenzung des Gebietes	55
4.2	Erfassung der erosionswirksamen Faktoren	58
4.3	Bestimmung des langjährig mittleren aktuellen Bodenabtrages	63
4.4	Erstellung unterschiedlicher Szenarien des Oberflächenabflusses.....	65
4.5	Auswertung der Szenarien.....	72
4.6	Ausblick für weiteres Vorgehen	84
4.7	Erörterung der Ergebnisse mit den Beteiligten.....	90
4.8	Bodenordnungsmaßnahmen zur Umsetzung der Ziele im Bereich Klimawandel	95
5	Fazit.....	99
	Glossar.....	VII
	Abbildungsverzeichnis.....	X
	Tabellenverzeichnis.....	XIII
	Literaturverzeichnis.....	XIV

1 Einleitung

Die globale Erwärmung schreitet immer weiter fort und die Konzentration von Treibhausgasen (THG) in der Atmosphäre steigt immer weiter. Schon bei einem Temperaturunterschied von nur zwei Grad Celsius sind ganze Ökosysteme (zum Beispiel die Alpengletscher) in großer Gefahr. Um das ganze noch weiter zu verdeutlichen: Der Unterschied zwischen einer erdgeschichtlichen Warm- und Eiszeit beträgt nur etwa fünf Grad Celsius im Jahresmittel. Auch die ökonomischen Schäden, welche die extremen Wetterereignisse anrichten, sind erheblich und die Menschen sind mit großer Sicherheit die Hauptursache des aktuellen Klimawandels. Das Ziel, diese von Menschen hervorgerufene Entwicklung zu verringern, ist nur durch internationale Zusammenarbeit und Harmonisierung in der Klimapolitik zu erreichen.

Aufgrund des globalen Klimawandels verschieben sich die bekannten Klimazonen von Süd nach Nord, bis 2080 werden die Temperaturen in Deutschland voraussichtlich um 1,6 bis 3,8 Grad Celsius (°C) steigen, die Winterniederschläge um bis zu 30 Prozent (%) zunehmen und die Sommerniederschläge um bis zu 30 % abnehmen. Die stärksten Änderungen werden im Nordosten und Südwesten Deutschlands erwartet. Weniger Niederschlag und höhere Durchschnittstemperaturen sorgen für immer kleinere Wasservorkommen, mit denen vor allem die Landwirtschaft in Konflikt geraten wird.¹ Gerade das Grundwasser, welches mancherorts auch als Trinkwasser aufbereitet wird, ist zwar eine sich ständig erneuernde Ressource, doch wenn im Sommer der Niederschlag immer weniger wird, kommt es zu einer Verknappung des Grundwassers, begleitet von einer sinkenden Qualität. Deshalb werden beispielsweise Wasserschutzgebiete als Vorsorgemaßnahme für das Trinkwasser eingerichtet. Somit sollte eine nachhaltige Nutzung der Grundwasserressourcen, letztendlich aller Ressourcen, im Vordergrund stehen. Jedes Land trägt schlussendlich eine große Mitverantwortung an der Erfüllung der internationalen Ziele.²

Es wird immer deutlicher, dass der Klimawandel sich auch in Sachsen-Anhalt auswirkt und bemerkbar macht. Es ist mit erheblichen Auswirkungen durch anthropogene Klimaveränderungen in Sachsen-Anhalt zu rechnen. Die Vulnerabilität des Landes wird immer größer, wenn keine Schutzmaßnahmen getroffen werden. Bisher ist eine Erwärmung

¹ Arbeitskreis 5 <Landmanagement> 2010, S. 23

² IPCC-Bericht 2013, Teilbericht 1 und 3, S. 1

von 0,5 - 1,5 °C zu verzeichnen, wobei ein stärkerer Anstieg in den Wintermonaten zu finden ist. Trockenere Regionen, wie zum Beispiel das Leegebiet des Südharzes, werden trockener. Hier ist die klimatische Wasserbilanz teilweise schon im negativen Bereich. Das bedeutet es herrscht mehr potenzielle Verdunstung als Niederschlag. Auf der anderen Seite sind vermehrt Niederschläge in feuchten Gebieten zu verzeichnen. Schon jetzt ist eine regional sehr unterschiedliche Entwicklung zu verbuchen. Doch egal wie es sich verändert, dieser Umbruch ist nicht mehr aufzuhalten und Ziel sollte es sein, sich auf die Folgen einzustellen.

"Die Durchschnittstemperatur wird wahrscheinlich steigen und das Risiko von Extremereignissen wie Hitzewellen und Hochwasserereignisse wird zunehmen."³ Verbunden mit den Hochwasserereignissen wird auch die Häufigkeit von Starkregen und Sturzfluten zunehmen. Somit muss sich jeder Bürger auf seinem eigenen Grund und Boden mit dem optimalsten Weg zur schadlosen Wasserabführung bei solchen Ereignissen auseinandersetzen. Laut dem Wasserhaushaltsgesetz und dem Wassergesetz des Landes Sachsen-Anhalt obliegt dem Grundstückseigentümer die schadlose Beseitigung von Niederschlagswasser. Allerdings darf dieses nicht zum Nachteil des hangabwärts oder hangaufwärts gelegenen Nachbarn erfolgen. Das ist allerdings nur zu leisten, indem eine entsprechende Koordinierung der Maßnahmen erfolgt. Hier dürfte dann auch die zuständige Gemeinde (Kreise und Länder) in der Pflicht sein.

Letztes großes Unwetterereignis war das Hochwasser in Mitteleuropa im Mai / Juni 2013. Es ist noch sehr vielen als große Katastrophe mit schweren Überflutungen in Erinnerung. Auslöser waren vorhergehende tagelange Regenfälle als Folge atmosphärischer Einflüsse. Gebildet hat sich diese verheerende Großwetterlage am 26. und 27. Mai 2013 im östlichen Mittelmeerraum. Das Niederschlagsmaximum wurde zwischen 31. Mai bis 02. Juni erreicht und brachte eine Regenmenge von bis zu 403 Millimeter (mm) in vier Tagen.

³ Grundwasserprobleme und Vernässungen 2014, S. 103

Niederschlagstation: Aschau-Stein
im Landkreis Rosenheim



Niederschlagssumme [mm]

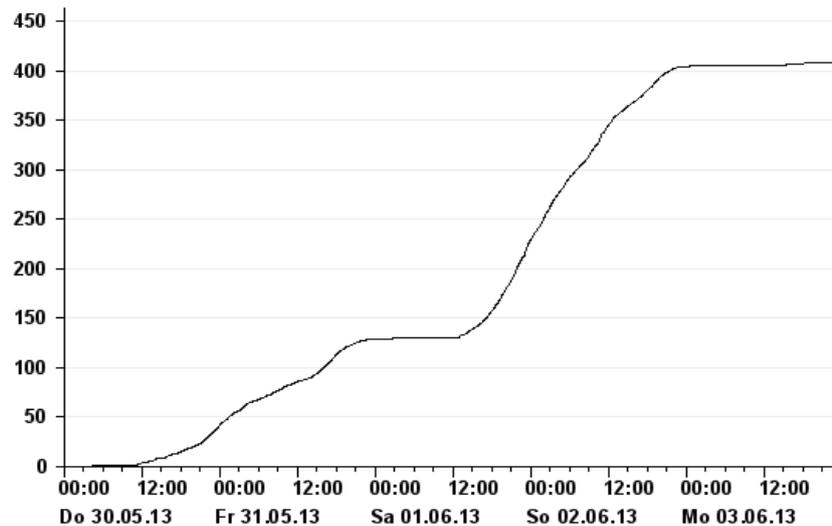


Abbildung 1: Kumulatives Niederschlagsdiagramm der Station Aschau-Stein.⁴

Der gesamte Frühling 2013 war schon verhältnismäßig verregnet und der Mai war der niederschlagsreichste seit Beginn der Wetteraufzeichnungen. Die Böden und Speicherbecken waren komplett gefüllt und konnten kein weiteres Wasser mehr aufnehmen. Somit waren alle Puffervorrichtungen, die entlastend wirken könnten, ausgeschöpft und der hohe Niederschlag traf vor allem die Bundesländer Bayern, Sachsen, Thüringen und Hessen. Am schlimmsten vom Hochwasser betroffen war Passau mit einem Pegel von circa 12,9 Meter (m). Damit liegt es dort im Bereich eines 500-jährigen Hochwasserereignisses. Auch Sachsen-Anhalt hat dieses Hochwasser stark getroffen.

Etwas in den Hintergrund geraten sind dagegen die weiteren Folgen des Starkregens. Dabei kam es verstärkt zu Schäden durch Wassererosion in Sachsen-Anhalt, vor allem in bergigem Gelände. Durch den starken Niederschlag wird Bodenmaterial von landwirtschaftlichen Flächen zusammen mit dem abfließenden Wasser abtransportiert. Das führt zur Schädigung der Fruchtbarkeit der Böden und es entstehen hohe Kosten, wenn der Schlamm beispielsweise auf Autobahnen oder in heimische Keller gespült wird. Dieses stellt ein erhebliches Gefahrenpotential für den Straßenverkehr dar und kann zu enormen Schäden an Verkehrsanlagen führen.⁵ So wurde der bundesweite Gesamtschaden sowohl an privatem, als

⁴ www.hnd.bayern.de (Zugriff 15.08.2014)

⁵ "Gefährdung von Autobahnen und B6n durch Wassererosion in Sachsen-Anhalt", S. 5

auch an öffentlichem Eigentum auf über 6,5 Milliarden Euro geschätzt. Davon sind etwa drei Milliarden Euro in Sachsen-Anhalt zu finden.



Abbildung 2: Bilder vom Saalehochwasser 2013.⁶

Die Hochwasservorsorge ist zwar nicht das Thema dieser Arbeit, jedoch verdeutlicht es die Heftigkeit und mittlerweile auch die steigende Häufigkeit der Niederschlagsereignisse im Zuge des Klimawandels. Aufgrund dieser Ereignisse und der immer wichtiger werdenden Frage nach dem richtigen Konzept für die Anpassung an den Klimawandel, liegt der Schwerpunkt dieser Arbeit auf einer Risikoanalyse zu Wassererosion und Sturzfluten. Aufgearbeitet wird die Thematik an einem konkreten Beispiel. Ziel ist es, eine Risikoanalyse zur Prognostizierung von Sturzfluten zu erarbeiten, welche gegebenenfalls den "Beratungsleitfaden Bodenerosion und Sturzfluten" des Landes Sachsen-Anhalt ergänzen könnte. Ebenfalls wünschenswert wäre eine Erhöhung der Risikowahrnehmung vor Ort, um die betroffenen Grundstückseigentümer und Bewirtschafter zu erreichen. Gerade Sachsen-Anhalt, dessen landwirtschaftliche Fläche circa 62 % der Gesamtfläche ausmacht, sollte ein erhöhtes Interesse am Erhalt der Ertragsfähigkeit und Fruchtbarkeit seiner sehr guten Böden haben. Mit der Bodengüte der Bördeböden können nur Ackerflächen um Halle, im Thüringer Becken und in der Kölner Bucht mithalten.

⁶ YouTube und Mitteldeutsche Zeitung (Zugriff: 17.08.2014)

1.1 Ziel der Arbeit

In der Arbeit werden Situations- und Risikoanalysen als fachliche Grundlage für die Gefahrenvorsorge mit dem Ziel der Vermeidung von Wassererosion und lokalen Überflutungen bei Starkregen in Kleineinzugsgebieten erarbeitet.

Vor allem die Verbesserung des vorsorgenden Erosionsschutzes in der Fläche steht im Vordergrund. So sollen zum Beispiel Anpassungen der Bewirtschaftungsart und die Gestaltung der Schläge zu einem Gesamtkonzept zur Rückhaltung des Bodenabtrages und des Oberflächenwassers beitragen. Dieses würde auch zum Schutz der Ortslagen und Infrastrukturen vor Sturzfluten erfolgen. Für den Niederschlag gibt es eigentlich nur zwei wünschenswerte Möglichkeiten. Entweder kann er in den Boden versickern oder, wenn der Boden bereits gesättigt ist, er muss den Vorflutern zugeführt werden und gegebenenfalls in Rückhaltebecken gesammelt werden. Einfachste Möglichkeit ist natürlich die gefahrfreie Abführung in Fließgewässern, doch diese Möglichkeit ist nicht immer gegeben. Sedimente können mittels Vegetation (Barrieren) in der Fläche zurück gehalten werden, Oberflächenwasser jedoch nur in einem sehr beschränkten Maß.

1.2 Methodisches Vorgehen

Um die örtlichen Gegebenheiten besser zu verstehen, werden Situations- und Risikoanalysen erarbeitet. Grundlagen dieser Analysen sind die lokalen Bedingungen, wie zum Beispiel Geomorphologie, Böden, Bodenstruktur, Hydrologie und die aktuelle Landnutzung. Natürlich wird immer ein gewisses Restrisiko bestehen bleiben, doch Anpassungen der Bodennutzung, Bodenbearbeitung, Schlaggestaltung, Landeskultur und Vorsorgemaßnahmen an Grundstücken und Gebäuden sollen ein Teil der gewünschten Sicherheit wiederherstellen.

Eine erste Vor-Ort-Begehung soll die grundlegenden Bedingungen verdeutlichen. Die ortsansässigen Bewohner kennen meist ihre lokalen Problemstellen. Jedoch bedarf es teilweise einer öffentlichen Analyse mit Beteiligung der Gemeinde und einem neutralen Entscheidungsträger, um eine zufriedenstellende Lösung zu finden. Vor Ort werden die gegebenen Kleineinzugsgebiete, die Reliefverhältnisse zusammen mit der Schlag- und Anbaustruktur, der dazugehörigen Bodenbearbeitung, welche maßgeblich für das Infiltrationsvermögen ist, und die Infrastruktur erfasst.

Aus dieser Datengrundlage wird mittels der allgemeinen Boden-Abtrags-Gleichung ABAG (DIN 19708 (17)) der langjährig mittlere Bodenabtrag berechnet. Zur Ableitung der

Hanglängen- und Bewirtschaftungsfaktoren (L- und C-Faktoren) werden Schlagstrukturen und Bodenbedeckungsgrad, welcher abhängig ist von dem Bodenbearbeitungsverfahren, ermittelt. Mit Hilfe eines digitalen Geländemodells werden potenzielle Fließwege (Tallinien) und Kleineinzugsgebiete lokalisiert.

Als zweites Analyseverfahren wird zur Abschätzung des Oberflächenabflusses das Standard-CN-Verfahren (Curve Number-Verfahren) angewendet. Mit diesem soll der Abfluss an Oberflächenwasser für ein 50-jähriges Niederschlagsereignis bei einer Bodenvorfeuchte von 80% nFK (nutzbare Feldkapazität) und einer vereinfachten Berücksichtigung des Infiltrationsvermögens für ein Kleineinzugsgebiet erfolgen.

Im Anschluss der Analyse wird versucht vereinfachte Maßnahmenvorschläge zur Gefahrenabwehr zu erarbeiten. Soweit es möglich ist werden diese Maßnahmen zur besseren Verdeutlichung der Wirksamkeit mit den Analyseverfahren simuliert. Mögliche Schutzmaßnahmen sind Schlagunterteilung oder Änderung der Bewirtschaftung mit und ohne Neuanlage von Barrieren. Es erfolgt eine Einschätzung möglicher Wasserübertritte, um diese schadlos an der Ortslage vorbeizuführen und / oder durch diese hindurch. Eine andere Alternative wäre die Bestimmung von Retentionsräumen.

Aufgrund der sehr hohen Komplexität von Gewässerberechnungen ersetzt die Simulation der Maßnahmenwirksamkeit nicht die hydrologischen Berechnungen und Bauausführungsplanungen.

2 Klimaschutzprogramm 2020 des Landes Sachsen-Anhalt

In den Schlagzeilen ist gerade folgende Überschrift zu lesen: "Klimaziele ade in Deutschland". Laut dem Zeitungsbericht der Volksstimme vom 23.07.2014 haben deutsche Kohlemeiler den höchsten Kohlenstoffdioxid-Ausstoß in Europa. Das neue Kraftwerk Neurath in Nordrhein-Westfalen hat alleine einen jährlichen Ausstoß von 33,28 Millionen Tonnen Kohlenstoffdioxid (CO₂). Die hohe Kohlestromproduktion lasse, laut des Artikels, die Bundesregierung zunehmend am Erreichen der Klimaziele zweifeln. So seien sogar die bis 2020 angestrebten 40 % Reduzierung der Treibhausgase deutlich gefährdet. Grund dieser Entwicklung sind die Preise für die Emissionszertifikate. Die Verstromung von Braunkohle ist immer noch wirtschaftlich interessanter als die des saubereren Erdgases. Doch wie gedenkt die Bundesregierung das Klima zu schützen und mit den Klimaentwicklungen umzugehen? CO₂ zählt zu den Hauptverursachern des globalen Klimawandels. Somit ist es das wesentlichste Ziel des Klimaschutzes, diesen schädlichen Ausstoß zu verringern. Weitere schädliche Gase sind vor allem Fluor-Chlor-Kohlen-Wasserstoff (FCKW) und Methan.

Seit dem 4. Sachstandsbericht des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) aus dem Jahr 2008 steht sowohl der Klimaschutz als auch die Anpassung an die Klimafolgen wieder in einem besonderen Focus. Der IPCC, welcher auch oft als Weltklimarat bezeichnet wird, ist ein zwischenstaatlicher Ausschuss über Klima-

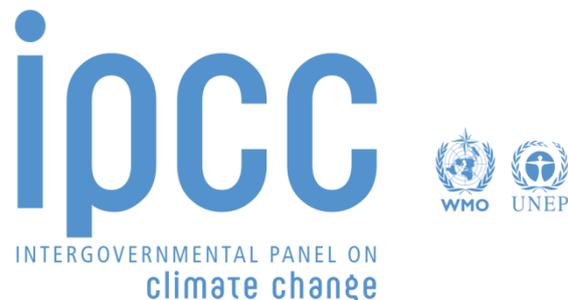


Abbildung 3: Logo des IPCC.

veränderungen. Er wurde 1988 vom Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP) und der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) als zwischenstaatliche Institution gegründet. Die Berichte des IPCC werden zwar ausschließlich von Wissenschaftlern ausgearbeitet, doch vor allem werden sie für den politischen Gebrauch benötigt. Sie dienen Politikern und Regierungen als Grundlage für Klimaschutzbeschlüsse, beurteilen die Risiken der globalen Erwärmung und tragen Vermeidungs- und Anpassungsstrategien zusammen. Aktuellster Bericht des IPCC ist der 5. Sachstandsbericht von 2013, welcher sich in drei Teilberichte untergliedert. Der erste Teil widmet sich den naturwissenschaftlichen Grundlagen des Klimawandels (Arbeitsgruppe 1), der zweite Teil den Risiken und Folgen des Klimawandels sowie Möglichkeiten der Anpassung (Arbeitsgruppe 2) und der letzte Teil behandelt Maßnahmen zur Minderung des

Klimawandels unter wissenschaftlichen, technischen, umweltbezogenen, wirtschaftlichen und sozialen Aspekten (Arbeitsgruppe 3).

Dieser IPCC-Bericht dient als Grundlage und Anstoß für das 2. Klimaschutzprogramm 2020 im Land Sachsen-Anhalt. Im Anschluss der Veröffentlichung des Berichts gründet die Landesregierung Sachsen-Anhalts die Arbeitsgruppe zur Anpassung an den Klimawandel (AG Klimawandel) und beschließt die Fortschreibung des Klimaschutzprogramms von 1997. In diesem war das Prognose-Jahr 2010 mit Zwischenschritten 2000 und 2005. Leitgedanke war vor allem die integrierte Ressourcenplanung. Im neuen Klimaschutzprogramm mit dem Prognose-Jahr 2020 geht es hauptsächlich um die Begrenzung des Temperaturanstiegs auf zwei Grad. Beschlossen wurde das 2. Klimaschutzprogramm des Landes Sachsen-Anhalt im Jahr 2008 und beinhaltet eine relativ große Anzahl an Maßnahmen, um den schädlichen CO₂-Ausstoß zu verringern und somit die zwei Grad-Grenze zu erreichen.

Betrachtet man die Eckpunkte des Klimaprogramms der Europäischen Union und der Bundesregierung und bezieht sie auf die Ziele des Landes Sachsen-Anhalts, kann man feststellen, dass die der Europäischen Union schon 2005 erreicht wurden. Dieses ist zwar eine gute Ausgangssituation für das Land, dennoch wird noch viel Arbeitsaufwand notwendig sein um den Klimaschutz weiter voran treiben zu können.⁷

Fasst man alle Tendenzen der CO₂-Entwicklung zusammen, wird deutlich, dass seit dem Jahr 1990 ein Rückgang zu verzeichnen ist. Lediglich beim Vergleich des Landes Sachsen-Anhalt und dem Bundesdurchschnitt in Bezug auf die CO₂-Emissionen je Einwohner ist auf den ersten Blick eine nicht sehr positive Entwicklung zu sehen.

⁷ Klimaschutzprogramm 2020, S 11

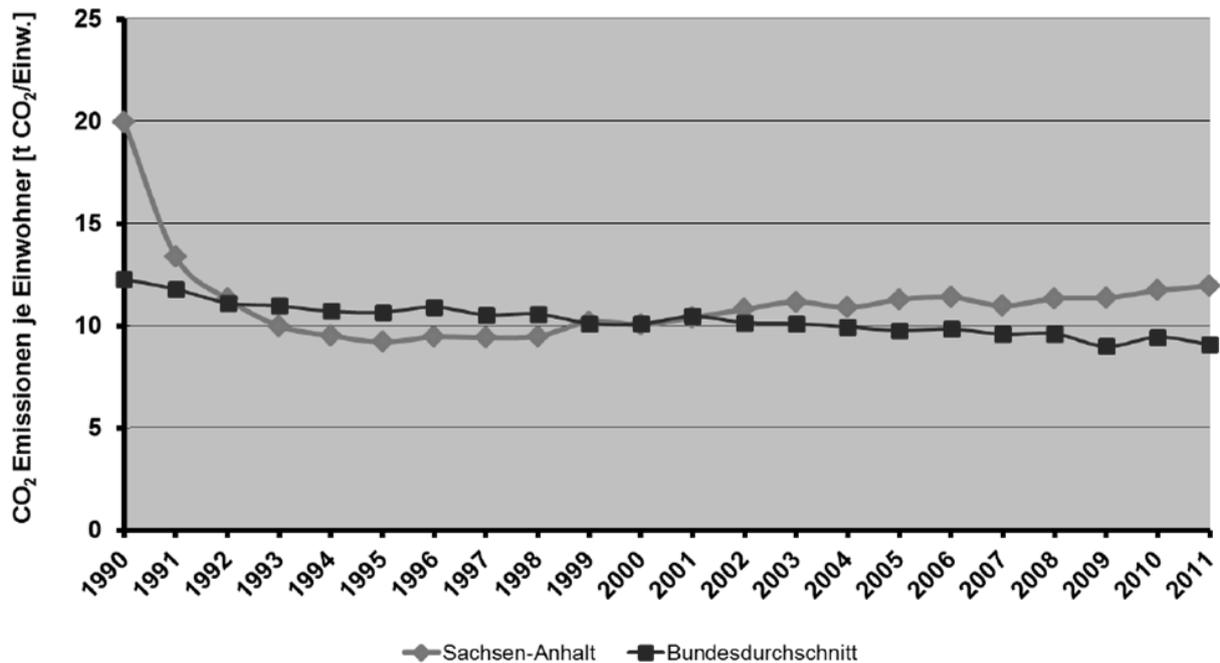
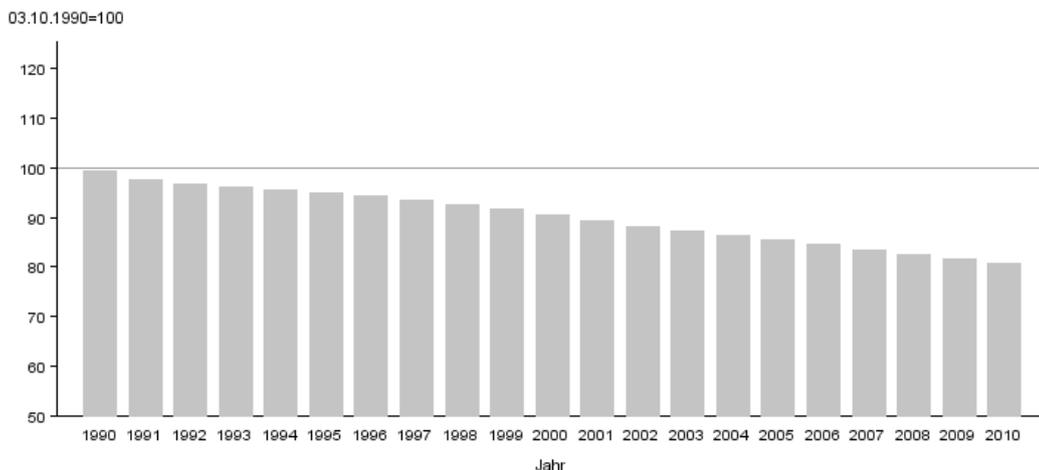


Abbildung 4: Entwicklung der CO₂-Emissionintensität (Stand 26.02.2014).⁸

In der Abbildung 4 ist zu erkennen, dass bis etwa 1992 die CO₂-Emissionen je Einwohner in Sachsen-Anhalt über dem des Bundesdurchschnitts lagen. Bis zur Jahrtausendwende ist das Verhältnis umgekehrt. Das bedeutet, der Bundesdurchschnitt liegt über dem des Wertes von Sachsen-Anhalt. In der darauffolgenden Zeit bis 2011, wo die Abbildung endet, stößt ein Bürger Sachsen-Anhalts wieder mehr CO₂ aus als ein durchschnittlicher Bundesbürger. Tendenziell wird dieser Abstand im Verlauf der circa elf Jahre immer größer. Eine mögliche Erklärung ist die Tatsache, dass das Land 2010 circa 2,335 Millionen Einwohner hat. Vergleicht man diese Zahl mit dem Wert von 1990 mit circa 2,873 Millionen Einwohnern, dann ist ein deutlicher Rückgang zu verzeichnen. Sachsen-Anhalt hat in den letzten 20 Jahren fast ein Fünftel seiner Bevölkerung verloren (durchschnittlicher jährlicher Rückgang um 0,9 %). In den 1990er Jahren haben vor allem die Städte einen Rückgang erlebt. Ab circa 2005/2006 ist in dieser Entwicklung ein Umkehrprozess eingetreten. "Insbesondere die großen Städte erfahren wieder einen Bevölkerungszuwachs, während die kleineren Städte und ländlichen Bereiche einer Bevölkerungsabnahme unterliegen."⁹ So lässt sich die Vermutung aufstellen, dass dieses Verhältnis teilweise auf den Bevölkerungsrückgang zurückzuführen ist.

⁸ Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt

⁹ Bericht "Grundwasserprobleme, Vernässungen und das dazugehörige Wassermanagement" 2014, S. 93



© Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt

Abbildung 5: Bevölkerungsentwicklung Sachsen-Anhalt (Stand 31.12.2012).¹⁰

Bei den verschiedenen Emissionsgasen ist zwischen den drei entscheidendsten Treibhausgasen zu unterscheiden. Das dominanteste Gas in allen Bundesländern stellt das CO₂ dar. Der Anteil an den gesamten Treibhausgasemissionen streut aber zwischen 60 und 98 %. Der fehlende Teil zu 100 % besteht aus den Gasen Methan und Lachgas. Dabei sollte beachtet werden, dass eine Tonne Methan (CH₄) um einen Faktor 21, Lachgas (N₂O) sogar um den Faktor 310, einen höheren Treibhausgaseffekt in der Atmosphäre bewirkt als eine Tonne CO₂. Ungefähr zwei Drittel der CO₂-Emissionen durch private Haushalte entstehen durch Raumwärme- und Warmwasserversorgung. Auch die allgemeine Tendenz, dass pro Person mehr Wohnfläche als 1990 bewohnt wird, trägt zu einer erhöhten Pro-Kopf-Emission bei. Methan entsteht zum größten Teil in der Land- und Forstwirtschaft, wenn organisches Material ohne Sauerstoff abgebaut wird. Mehr als ein Drittel entwickelt sich bei der Viehhaltung, genauer gesagt beim Fermentationsprozess im Magen von Wiederkäuern. Positiv zu bewerten sind die Entwicklungen bei der Abfalllagerung. Hier sind die Methanemissionen in den letzten Jahren deutlich zurück gegangen. Allerdings wird sich die Treibhausgasemission in der Zukunft weiter zuspitzen. Der Fleischkonsum der Weltbevölkerung nimmt immer mehr zu. Bis zum Ende des Jahrhunderts soll sich laut Welternährungsorganisation FAO der Konsum nochmals verdoppeln und somit auch die Anzahl der Zuchtrinder weiter zunehmen. Auch der Anbau von Reis stößt viel Methan aus und kann nicht einfach verhindert werden, denn für etwa 2,3 Milliarden Menschen ist Reis die Basis ihrer Ernährung. Lachgas entsteht, wenn organisches Material verfault (mit Sauerstoff)

¹⁰ Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt

und somit ebenfalls hauptsächlich in der Landwirtschaft, Tierhaltung und bei Verbrennungsprozessen (zum Beispiel Kohle und Öl). Vor allem das übermäßige Düngen mit stickstoffhaltigen Kunstdüngern auf stark genutzten Böden stellt eine Quelle für Lachgas dar. Der Dünger kann von der Pflanze nicht unbedingt vollständig aufgenommen werden, der Überschuss wird dann als Lachgas in die Atmosphäre freigesetzt.¹¹

In einem sind sich Wissenschaft und Politik einig: Der Klimawandel ist trotz aller Bemühungen nicht mehr aufzuhalten.¹² Doch ohne einen deutlichen Rückgang der Treibhausgasemissionen werden wir unsere Welt nicht wieder erkennen. Somit muss auch das Land zur Verwirklichung der internationalen Verpflichtungen der Bundesregierung mit beitragen. Auf internationaler Ebene ist eindeutig zu erkennen, dass eine immer größer werdende Weltbevölkerung immer mehr der, nur begrenzt zur Verfügung stehenden, Ressourcen verbraucht.¹³ Infolgedessen wird die Umwelt in irreversibler Weise immer mehr belastet. Ziel der gesamten Klimaschutzmaßnahmen sollte es sein, dass das Handeln der Menschen immer mehr im Einklang mit der Natur erfolgt.

In nachfolgendem Diagramm wird ersichtlich, wie die Entwicklung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Deutschland verläuft. Zum Zeitpunkt der Wiedervereinigung hat die Stromerzeugung ihren Tiefstwert erreicht. "Ab diesem Zeitraum hat sich die erzeugte Bruttostrommenge bis zum Jahr 2005 vervierfacht."¹³ Wie zu erkennen ist, bleibt die Tendenz bis 2010 gleich, somit hat sich das Land Sachsen-Anhalt von einem Stromimporteur zu einem Stromexporteur entwickelt. Vor allem im Bereich der Windenergie ist ein deutlicher Sprung zu sehen. Aber auch die Erzeugung aus Biomasse und Photovoltaik leisten ihren Beitrag zur Energiewende. Einziger konstant bleibender Bereich ist die Wasserkraft. Dieses lässt sich damit erklären, dass in den letzten Jahren kaum noch neue Wasserkraftanlagen in Betrieb genommen wurden, da dafür besondere topografische Bedingungen vorhanden sein müssen. Zusätzlich fördernd wirkten die Erneuerbaren-Energien-Gesetze (EEG), welche den Ausbau erneuerbarer Energien regeln.

¹¹ Umweltbundesamt (Zugriff: 08.2014)

¹² Klimaschutzprogramm 2020, S. 62

¹³ Klimaschutzprogramm 2020, S. 11f

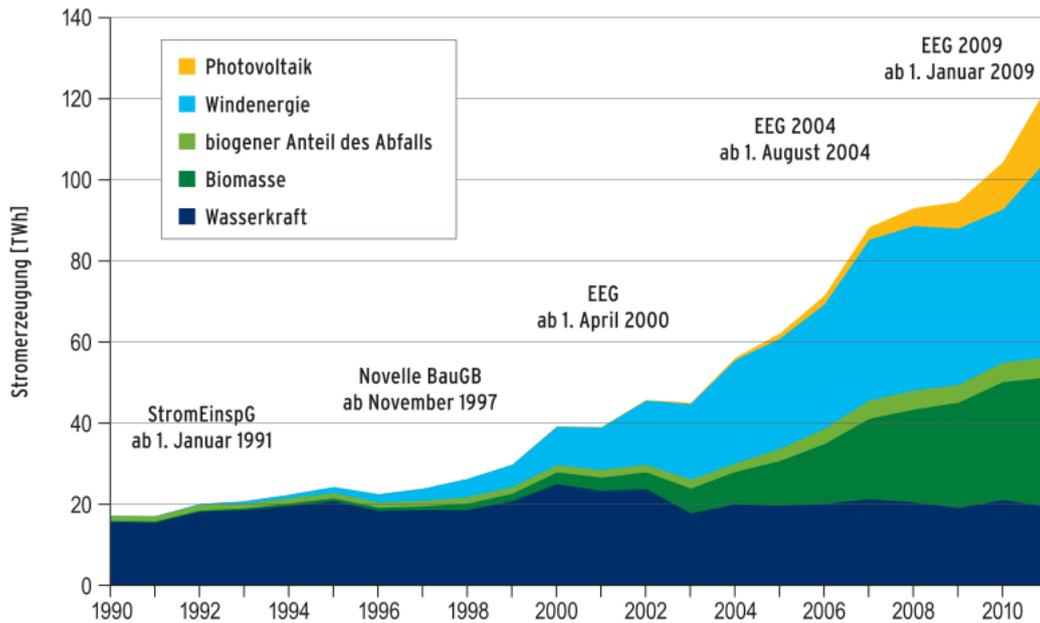


Abbildung 6: Entwicklung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Deutschland.¹⁴

Mittlerweile zeichnet sich eine Veränderung des Klimas für fast jeden Bundesbürger ab. In den vergangenen Jahren wurden extreme Unwetterereignisse immer häufiger. Es kommt immer öfter zu Starkregenereignissen und somit zu Schäden durch Wassererosion. Besonders betroffen sind die landwirtschaftlichen Nutzflächen, da es zwischen den Fruchtfolgen meist leider keine schützende Vegetation gibt, die den Boden bedeckt. Somit wird der Abtrag von Bodenmaterial ein immer größer werdendes Problem und führt damit langfristig gesehen zur Schädigung von Böden und ihrer Fruchtbarkeit.

Bei einem solchen Unwetterereignis kann es zu einem Niederschlag von über 120 mm (120 Liter pro Quadratmeter) in wenigen Stunden kommen, wie zum Beispiel zuletzt 2014 im nördlichen Harzvorland (Ilseburg)¹⁵. Dieses entspricht in etwa einer Niederschlagsintensität von 30 mm/h. Diese Wassermassen fließen vorrangig in den Tiefenlinien des Reliefs hangabwärts und reißen Bodenmaterial mit sich. Nimmt zum Beispiel die Fließgeschwindigkeit zu, kommt es zur Akkumulation der Sedimente. Bei starken Unwettern können sehr große Massen an Bodenmaterial auf diese Weise transportiert werden. Waldflächen oder Wiesen sind von diesem Problem deutlich weniger betroffen. Natürlich kommt es auch hier zu Oberflächenabfluss. Allerdings zu keinen oder sehr geringen Transportfrachten, da sie zumeist das

¹⁴ BMU auf Basis AGEE-Stat sowie weitere Quellen, S. 20

¹⁵ MDR Sachsen-Anhalt (Zugriff: 08.2014)

ganze Jahr über eine schützende Vegetationsdecke besitzen. Lediglich unbefestigte Waldwege können als Abflussbahn wirken, und es kann zu Bodenabtrag kommen.

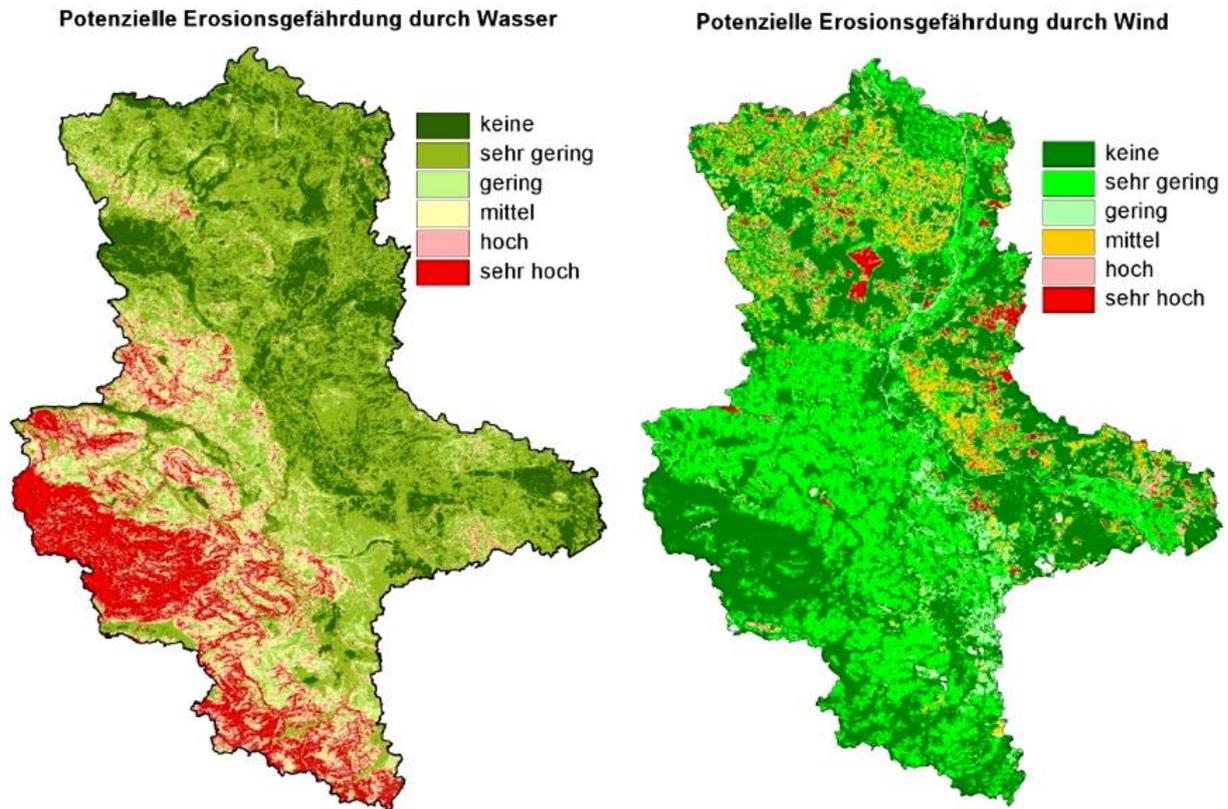


Abbildung 7: Erosionsgefährdete Landschaften in Sachsen-Anhalt.¹⁶

Die Abbildung 7 zeigt die Ergebnisse einer landesweiten Analyse zur Erosionsgefährdung. Vor allem in den Gebirgsregionen ist eine hohe Gefährdung durch Wasser zu erkennen. Aber auch die ackerbaulichen Flächen des Unterharzes, die Lössböden des östlichen und nördlichen Harzvorlandes, die Magdeburger Börde und die Querfurter Platte sind sehr stark gefährdet. In den flachen Regionen hingegen ist die Anfälligkeit für Winderosion vorherrschend. Dazu zählen die Altmark, der Fläming und die Dübener Heide. Ebenfalls gefährdet sind die Niedermoorstandorte, wie zum Beispiel der Drömling, der Fiener Bruch und der Große Bruch.¹⁷

Die in Sachsen-Anhalt vorhandenen Lössböden besitzen die Eigenschaft, dass sie unbedeckt, bei hoher Windoffenheit und Trockenheit an der Oberfläche eine sehr hohe Gefährdung für Winderosion aufweisen.

¹⁶ Landesamt für Geologie und Bergwesen 2014

¹⁷ Beratungsleitfaden - Bodenerosion und Sturzfluten 2014, S. 19

2.1 Ziele der Landesregierung

Es ist nicht mehr leugnen, das Klima verändert sich. Deshalb fährt Sachsen-Anhalt eine Doppelstrategie. Auf der einen Seite der Klimaschutz, auf der anderen Seite die Anpassung an den Klimawandel.

Hauptaugenmerk der Landesregierung ist eine massive Steigerung der Energieeffizienz und das Ersetzen fossiler durch erneuerbare Energieträger. Dieses wird die wirtschaftliche Entwicklung und die Zukunftsgestaltung des Landes stark beeinflussen und umformen. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass mögliche Konflikte schon von Anfang an möglichst vermieden werden, indem durchgreifende Plausibilitätsprüfungen durchgeführt werden. Aufgrund der voranschreitenden Technik und der demografischen Entwicklung soll es laut Trendszenario des Klimaschutzkonzeptes des Landes Sachsen-Anhalt bis 2020 möglich sein, einen Rückgang der Emissionen von etwa 7,6 Millionen Tonnen pro Jahr CO₂-Äquivalente zu erzielen.

Am meisten dazu beitragendes Handlungsfeld ist die Energieversorgung mit Strom durch den Ausbau der regenerativen Stromerzeugung. An zweiter und dritter Stelle, relativ dicht beieinander, stehen der nichtenergetische Bereich und der Umwandlungsbereich. Unter dem nichtenergetischen Bereich sind Einsparungen mit den Rohstoffen Erdöl und Kohle gemeint. Der Umwandlungsbereich ist der Teil der Energieerzeugung, wo Energie verloren geht um zum Beispiel Wasserenergie in Strom umzuwandeln. Einen weniger großen Anteil am CO₂-Ausstoß haben der Gewerbe-, Handel- und Dienstleistungsbereich, der Verkehr, die Haushalte und die Industrie. Eine Lösungsmöglichkeit wären neue Kraftwerksanlagen mit einem höheren Wirkungsgrad. Somit würde mehr Energie aus der gleichen Menge an Rohstoffen gewonnen werden können. Diese Einsparungen hätten in erster Linie nicht nur positive Effekte für den Ausstoß an Treibhausgasen, sondern wären gleichzeitig auch noch ressourcenschonend. Was natürlich auch zur Folge haben würde, dass die Versorgung mit Energie aus diesen Rohstoffen langfristiger möglich wäre. Aufgrund der vielen beeinflussenden Faktoren ist eine genaue Abschätzung leider nur bedingt möglich.

Schwerpunkt der Anpassung an den Klimawandel, für eine zukunftsfähige Entwicklung in Stadt und Land, sind die Landnutzung und Erhaltung / Gestaltung der ländlichen Räume. So wird versucht, mit den Instrumenten der ländlichen Neuordnung die Anforderungen an Planung und Bodenordnung zu erfüllen und negative Folgen so weit wie möglich zu vermeiden. Durch das vermehrte Auftreten extremer Niederschlagsereignisse oder das Ausbleiben von Niederschlägen, wird die Wasserverfügbarkeit für Flora, Fauna und Habitat

immer unregelmäßiger. Die saisonalen Schwankungen werden immer größer und der Wasserhaushalt wechselt häufig zwischen trocken und feucht. So werden die Bedingungen für die Land- und Forstwirtschaft immer schwieriger. Auch die Hochwasserschutzmaßnahmen sollten an die aktuellen Bedingungen angepasst werden. Überschwemmungen in Wohngebieten werden immer häufiger, da die Dimensionierung der Kanalsysteme für solche Extremereignisse nicht ausreichend ist. Die Schadenssummen steigen durch das häufigere und stärkere Auftreten von Gewittern mit Hagel. Die Landwirtschaft muss sich auf verschobene Klimazonen, vermehrten Hitzestress der Pflanzen und letztendlich auch auf eine Schädlingsausbreitung einstellen. Wenn es gelingt, die Bewirtschaftung so zu verändern, dass die Fruchtarten ertragsreicher sind, dann würden die mit dem Klimawandel einhergehenden Chancen genutzt.

Somit stellt der Klimawandel neue Anforderungen an Planung und Bodenordnung. Die Hochwasservorsorge und somit vor allem die gemeindeübergreifenden Hochwasserschutzkonzepte mit ihrem Krisenmanagement müssen gestärkt werden. Aber auch die Wasserrückhaltung in der Fläche wird immer mehr an Bedeutung gewinnen. Großes Potential wird in der Anlage von Flutpoldern gesehen, so wie sie schon erfolgreich am Rhein erprobt wurden. Das System muss einen dezentraleren Charakter bekommen, der Aus- und Rückbau von Gewässern sollte naturnaher erfolgen und die Entsiegelung der Flächen muss im Vordergrund stehen. Erster Schritt sind die so genannten Rigolensysteme, welche eine verbesserte Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahme vor allem in den urbanen Gebieten darstellen. Die eigentumsrechtliche Regelung dieser Maßnahmen ist zum Beispiel durch vereinfachte Flurbereinigungsverfahren (§ 86 FlurbG) oder Unternehmensflurbereinigungen (§ 87 FlurbG) denkbar. Somit sind vordergründig die Kommunen, Teilnehmergeinschaften, Wasserwirtschaftsverwaltungen und Flurbereinigungsbehörden mit ihren Zuständigkeiten gefragt. Aber auch jeder Grundeigentümer kann mit einfachen Maßnahmen, wie der Entsiegelung von Flächen oder Aufforstung zur verbesserten Wasserspeicherung, seinen Beitrag dazu leisten.¹⁸

In den folgenden Grafiken ist der Energieverbrauch in Sachsen-Anhalt von 1990 bis 2010 zu sehen. Ein deutlicher Einbruch ist nach der Wiedervereinigung zu erkennen. Diese Entwicklung ist damit zu erklären, dass in den Jahren nach der Wiedervereinigung der

¹⁸ Arbeitskreis 5 >Landmanagement<, S. 25f

Energiebedarf der heimischen Industrie deutlich zurückgegangen ist, da alte Kraftwerke und Feuerungsanlagen durch neue und effizientere ersetzt wurden sind.¹⁹

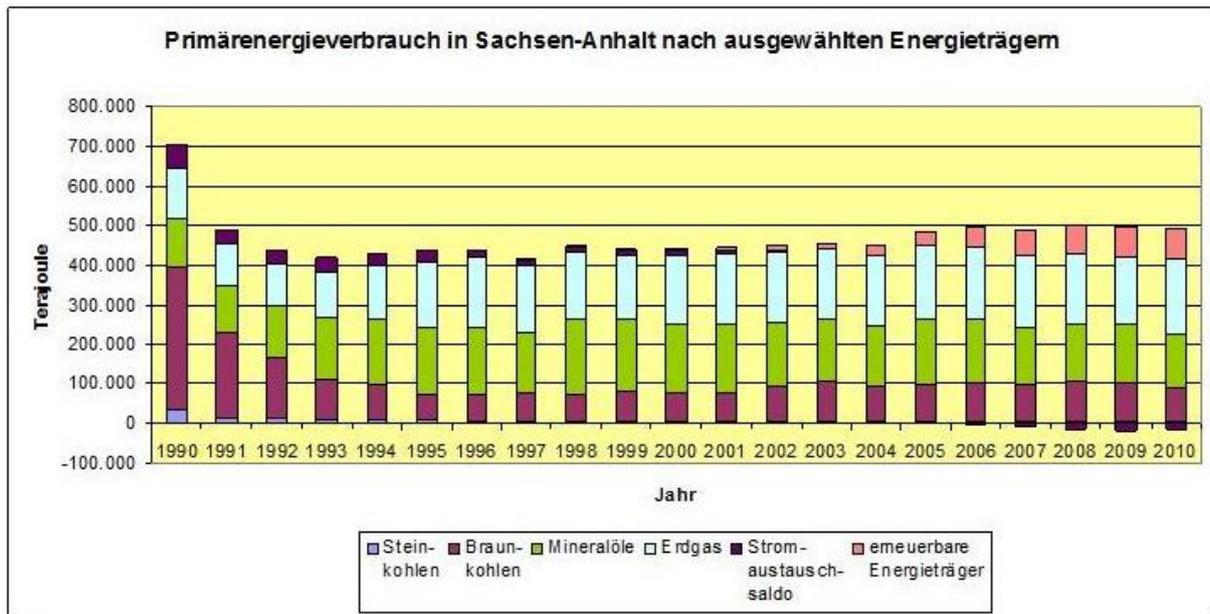


Abbildung 8: Primärenergieverbrauch in Sachsen-Anhalt nach ausgewählten Energieträgern.²⁰

So nennt sich Sachsen-Anhalt heute schon "Land der erneuerbaren Energien", denn die Gewinnung nachwachsender Rohstoffe hat in Sachsen-Anhalt günstige Voraussetzungen. Das Land besitzt weder nur eine einzige Energiequelle, noch einen monopolartigen Energiekonzern. Diese dezentralen Energieversorgungsstrukturen sind für Sachsen-Anhalt eine gute Ausgangssituation.

¹⁹ Klimaschutzprogramm 2020, S. 11f

²⁰ Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt (Zugriff 12.08.2014)

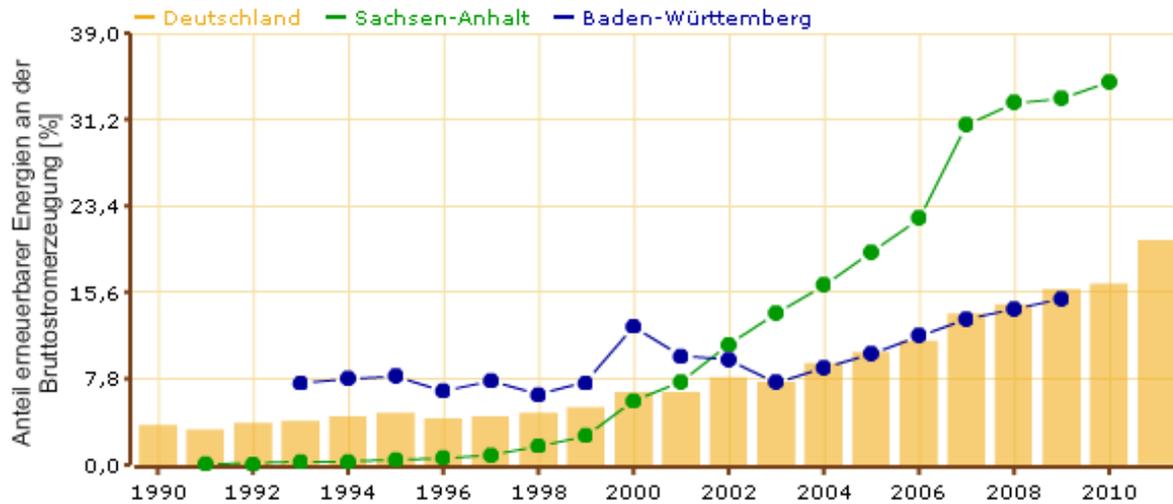


Abbildung 9: Anteil erneuerbarer Energieträger an der Bruttostromerzeugung, Baden-Württemberg.²⁰

Die Abbildung 9 verdeutlicht noch einmal die Entwicklung der erneuerbaren Energieträger in Sachsen-Anhalt verglichen mit dem Bundesdurchschnitt und dem alten Bundesland Baden-Württemberg. Der größte Aufschwung fand in Baden-Württemberg 2000 mit dem Inkrafttreten des EEG und einem daraufhin folgenden Ausbau erneuerbarer Energien statt. Vor 2001 war der Anteil Sachsens-Anhalts noch deutlich unter dem Bundesdurchschnitt und fast bei null. Baden-Württemberg war hingegen mit etwa sieben Prozent Anteil, 2000 sogar mit 12,5 %, über dem Bundesdurchschnitt. Doch etwa 2002 wechselte das Verhältnis. Während sich Baden-Württemberg nun am Bundesdurchschnitt orientiert, ist Sachsen-Anhalt mit steigender Tendenz schon bei 34,6 %, was 18,2 % über dem Bundesdurchschnitt liegt. Besser sind nur Mecklenburg-Vorpommern (50,3% Anteil 2009) und Thüringen mit 40,7 % (2010) Anteil an erneuerbaren Energien an der Bruttostromerzeugung.

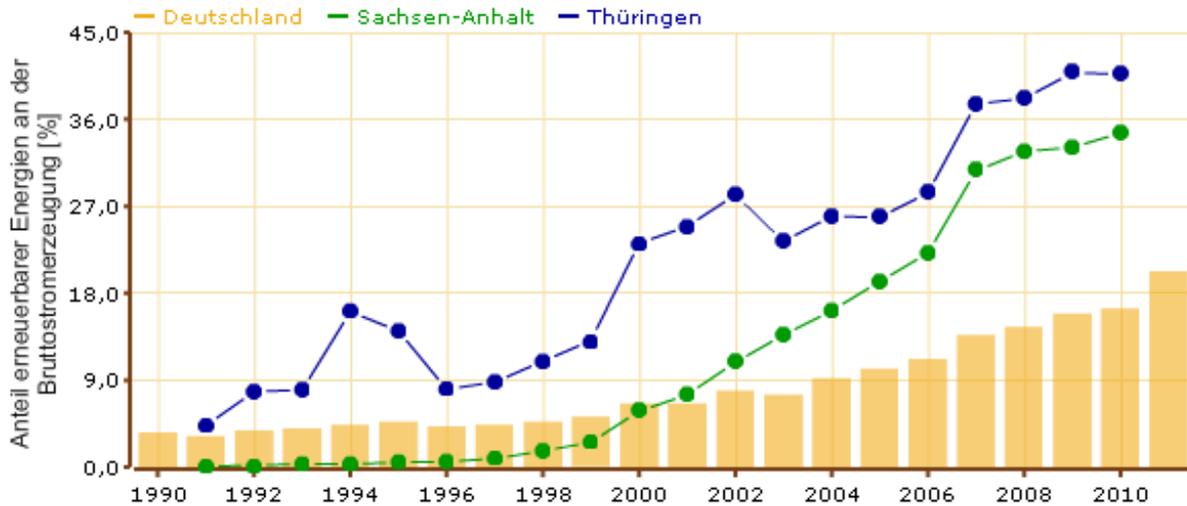


Abbildung 10: Anteil erneuerbarer Energieträger an der Bruttostromerzeugung, Thüringen.²¹

Einen besonders hohen Anteil an erneuerbaren Energien in Thüringen hat die Windenergie (39 %) und die Energieerzeugung aus Biomasse (37 %). Auch der Ausbau der Photovoltaik profitierte von dem Gesetz für erneuerbare Energien (EEG), besitzt aber immer noch nur acht Prozent Anteil an der Gesamtstromerzeugung in Thüringen.

2.2 Beitrag der Landwirtschaft zum Klimaschutz

Die Land- und Forstwirtschaft nimmt in Sachsen-Anhalt eine Sonderstellung ein. "Zum Einen bindet land- und forstwirtschaftliches Handeln in nicht unerheblichem Maße Kohlendioxid; zum Anderen ist die Landwirtschaft aber auch größter Emittent für besonders klimawirksame Treibhausgase wie Methan und Lachgas."²² Deshalb ist gerade die Landwirtschaft gefordert, ihre Treibhausgasemissionen zu mindern. Möglichkeiten bieten sich unter anderem im Bereich der Tierhaltung und Bewirtschaftung der Anbauflächen. Denn die Landwirtschaft ist im besonderen Maße auch abhängig von dem Klima, da sie mit und in der Natur produziert. Ändern sich die klimatischen Ausgangsbedingungen, dann muss sich auch die Landwirtschaft mit ihren gewohnten Produktionsabläufen ändern. So bedarf mancherorts die landwirtschaftliche Infrastruktur einer Verbesserung, welche zum Beispiel durch bodenordnende Instrumente (Flurneuordnung) herbeigeführt und unterstützt werden könnten, um damit die Energieeffizienz zu verbessern.

²¹ Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt (Zugriff 12.08.2014)

²² Klimaschutzprogramm 2020, S. 50ff

Die Veränderungen im Wasserhaushalt und die teilweise sehr starken Schäden durch Unwetterereignisse gefährden die landwirtschaftliche Erzeugung und die Bodenfruchtbarkeit. Die Anzahl der Schädlinge wird steigen und neue Krankheiten werden Einzug erhalten. Durch den vermehrten Stress der Tiere und Pflanzen steigt das Befalls-Risiko, während die Leistung sinkt. Auch die Witterungsvariabilität nimmt in den letzten Jahren immer mehr zu. Somit nehmen die Planungssicherheit ab und die Produktionsrisiken für die Landwirtschaft zu. Wie schon beschrieben werden die Handlungsoptionen in Sachsen-Anhalt aufgrund regionaler Besonderheiten sehr unterschiedlich ausfallen.

Die leicht sandigen Böden der Altmark oder im Fläming sind anfällig bei Trockenheit. Sie speichern Niederschlag nicht so gut wie andere Böden. Bei weniger Niederschlag in der Hauptwachstumszeit kann sich die Pflanze nicht optimal entwickeln oder geht gar ein, während im Winter der Niederschlag eher zu nimmt und es zu Vernässungen und erhöhten Grundwasserständen kommt. Dieses wiederum hat Auswirkungen auf die Futtermittelversorgung in der Tierhaltung und es wird zu wenig Material produziert, um die Biogasanlagen effizient betreiben zu können. Die Kalkulierbarkeit der Erträge wird immer schwerer und trägt somit zum erhöhten Risiko der Landwirte bei.

Anders verhält es sich bei den tiefgründigen Böden im Schwarzerdegebiet. Diese sind aufgrund ihrer Struktur wesentlich besser geeignet, um Wasser zu speichern und können Trockenphasen besser zu überbrücken. Jedoch sind sie erosionsanfällig und somit zukünftig noch stärker gefährdet beziehungsweise schutzbedürftig. Vor allem die großen Feldschläge sind in vegetationsfreien Zeiten einer großen Gefahr ausgesetzt. In dieser Zeit wird der Boden nicht durch Wurzeln und anderen bodenbedeckenden Materialien vor starkem Regen geschützt. Gerade Gewitterzellen können überall und kurzzeitig zu Starkregen führen. Die Infiltrationskapazität des Bodens ist schnell erreicht und die natürlichen und künstlichen Entwässerungssysteme sind überlastet. Im hügeligen Gelände (Gebirgslagen) bilden sich Abflusslinien, in denen hohe Fließgeschwindigkeiten entstehen können. Infolgedessen wird viel Bodenmaterial mitgerissen. Dieses stellt je nach Akkumulationsgebiet eine Gefahr für die Landwirtschaft, Infrastruktur und / oder Ortslagen dar.

Größter und auch am einfachsten zu beeinflussender Faktor für das Ausmaß der Schäden ist die Art der Bewirtschaftung, dicht gefolgt von den Entwässerungssystemen in den Ortslagen. Es sollen die Wassermassen weitestgehend in der Fläche zurück gehalten oder schadlos in den Vorfluter geleitet werden. Oberstes Gebot ist es, dass das Bodenmaterial nicht abtransportiert wird. Diese Ziele zu erreichen ist nicht nur mit privaten Mittel möglich, sondern liegt auch in

den Zuständigkeiten einiger Ministerien (Ministerium des Innern, Landentwicklung und Verkehr und Landwirtschaft und Umwelt).

Doch bieten sich auch neue Chancen für die Landwirtschaft? Im Allgemeinen wird von einem so genannten CO₂-Düngeeffekt ausgegangen, da viele Pflanzen in ihrer Photosynthese von mehr Kohlenstoffdioxid profitieren und besser wachsen. So wird in einem Versuch die Konzentration von Kohlenstoffdioxid von 380 Teilchen auf 550 Teilchen pro einer Million erhöht, so wie es etwa in 50 Jahren prognostiziert wird. Ergebnis dieser Studie zeigt, dass der Eiweißgehalt bei vielen Pflanzen zurück geht. Da stellt sich die Frage, wie reagieren die Pflanzenfresser auf dieses reduzierte Eiweißangebot im Futter? Es zeigt sich weiterhin, dass neben Proteinen auch andere Inhaltsstoffe wie Vitamin C und mineralische Spurenelemente weniger werden. Es bleibt abzuwarten, wie auf diese Entwicklung zu reagieren ist und welche langfristigen Auswirkungen es haben wird.²³

Werden zum Beispiel durch ein besseres regionales Wassermanagement den Pflanzen ausreichend Nährstoffe und Wasser zur Verfügung gestellt, sind höhere Erträge durchaus denkbar. Sogar neue Kulturen, die vorher in anderen Regionen wuchsen, können gegebenenfalls angebaut werden und somit das Spektrum an Arten erweitern. Ist die Landwirtschaft in der Lage, auf die Veränderungen richtig zu reagieren, besitzt das Land Sachsen-Anhalt aufgrund der vorhandenen Potentiale, moderner Landwirtschaft, Wissenschaft und angewandte Forschung eine günstige Ausgangssituation.

Die betrieblichen Änderungen für klimaangepasste Systeme sind zum Teil sehr aufwändig und kostspielig. Deshalb führt das Land regionale Feldversuche durch, um dieses bewerten zu können. So werden wichtige, existentielle und praxisnahe Antworten für eine gute Klimaanpassung erarbeitet. Im Vordergrund stehen Weiterentwicklung und Anbauwürdigkeit neuer Kulturen und Sorten, bodenschonende, wassersparende und emissionsmindernde Bodenbearbeitung und Düngung für eine nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen als Grundlage für eine qualifizierte Informations- und Wissensbereitstellung. "Als eine Möglichkeit [...] sind konservierende Bodenbearbeitungsverfahren zu sehen. Die auf der Bodenoberfläche verbleibenden oder oberflächennah eingearbeiteten Erntereste bieten einen natürlichen Verdunstungsschutz. Eine verbesserte Bodenstruktur erhöht die Infiltration des Regenwassers, verbessert das Wasserspeichervermögen und fördert die Durchwurzelung des

²³ agrarheute 2007

Bodens. Bei günstigen Standortbedingungen steht den Pflanzen dadurch mehr Bodenwasser für die Ertragsbildung zur Verfügung, wodurch Trockenperioden besser überbrückt werden können. Gleichzeitig wird bei der zu erwartenden Zunahme von Starkregenereignissen und Wind der Bodenerosion entgegengewirkt. Die verbesserte Infiltration trägt zum vorbeugenden Hochwasserschutz bei, da dadurch der Oberflächenabfluss reduziert bzw. zeitlich verzögert wird.²⁴ Natürlich gibt es ebenfalls die Möglichkeit, Pflanzen zu züchten oder auszuwählen, die eine höhere Trockentoleranz aufweisen. Es ist in beiden Fällen von Vorteil, wenn ein Wassermanagementsystem erarbeitet und angewendet wird. Bei der Ressource Wasser handelt es sich um eine sich zwar ständig neu bildende, aber auch endliche Quelle. Weshalb eine Schaffung von Wasserspeichern zu prüfen ist.

2.3 Bildung für nachhaltige Entwicklung

Um eine wirklich nachhaltige Entwicklung zu gewährleisten ist es von Vorteil, wenn eine bessere Risikowahrnehmung und erhöhte Akzeptanz gegenüber örtlichen Schutzmaßnahmen in der Bevölkerung vorhanden ist. Aus diesem Grund und weil die Anpassung an die neuen Klimabedingungen der Gesellschaft viel Geld kosten wird, ist die nachhaltige Entwicklung Bestandteil der Strategie des Landes. In allen Bildungsbereichen sollte die nachhaltige Entwicklung verankert sein. So ist 2007 der Aktionsplan "Nachhaltigkeit lernen in Sachsen-Anhalt" veröffentlicht worden.²⁵ Er soll helfen die dafür notwendigen Kompetenzen zu vermitteln. Ziel des Aktionsplans ist es, den Menschen die Augen zu öffnen und soll sie motivieren, aktiv zur Gestaltung einer ökologisch verträglichen, wirtschaftlich leistungsfähigen und sozial gerechten Umwelt beizutragen. Dieser soll auch eine Berücksichtigung der überregionalen, globalen Aspekte vermitteln.

Dieses Wissen zu vermitteln beginnt schon auf spielerische Art und Weise in den Grundschulen. Je grundlegender Nachhaltigkeit vermittelt wird, desto normaler wird es für die Kinder, vielleicht sogar zu einer Selbstverständlichkeit. Um auch aktiv daran mitarbeiten zu können, werden fachübergreifende Themenkomplexe zum Teil durch Projekte erarbeitet. Diese können in Umweltbildungseinrichtungen oder Jugendwaldheimen in den Ferien über Schulausflügen stattfinden, wenn während der Unterrichtszeit keine Zeit sein sollte. Auch die Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau (LLFG) bietet den berufsbildenden

²⁴ "Aktualisierung der Strategie des Landes Sachsen-Anhalt zur Anpassung an den Klimawandel" 2013; S.50

²⁵ "Klimaschutzprogramm 2020 des Landes Sachsen-Anhalt", S. 54

Schulen ein Begleitkonzept für die überbetriebliche Ausbildung und verbreitet Veröffentlichungen. Dabei legt sie Wert auf eine ökologisch verträgliche Düngung und den Pflanzenschutz, denn gerade dort lassen sich mit grundlegendem Fachwissen Umweltgefährdungen vermeiden.²⁶

Das wichtigste, was am Ende jeder verstehen sollte ist, dass menschliches Handeln einen sehr großen, wenn nicht sogar entscheidenden Einfluss auf den globalen Wandel hat. Wir alle sind in gewisser Weise für die derzeitigen Entwicklungen verantwortlich und wenn es nur der unausweichliche Konsum von zum Beispiel Energie oder Produktionsgütern ist. Die Öffentlichkeit sollte zur Mitwirkung am Klimaschutz motiviert werden und dem Klimaschutz zur gesamtgesellschaftlichen Aufgabe und Priorität verhelfen.

Um den Entscheidung treffenden Personen eine bestmögliche Beratung zu ermöglichen, wurden so genannte Konsolidierungsstellen eingerichtet. Zum Beispiel unter: www.Energieberatung.sachsen-anhalt.de können sich potenzielle Akteure über Klimaschutz und Energieeffizienzverbesserung informieren.

²⁶ "Aktualisierung der Strategie des Landes Sachsen-Anhalt zur Anpassung an den Klimawandel" 2013; S. 103

3 Klimawandel und Extremereignisse

Akute Probleme des Klimawandels sind die zunehmenden niederschlagsintensiven Extremereignisse. Diese Sturzfluten entstehen sehr kurzfristig und zumeist aus Gewitterzellen. Sie bringen sehr hohe Wassermengen in kurzer Zeit mit sich und verursachen Hochwasser und Wassererosion. Auch die saisonalen Schwankungen werden immer größer. In Zeiten der Trockenheit und wenig / keiner Vegetation auf den Ackerflächen kommt es vor allem auf großen Schlägen bei starkem Wind auch zu Winderosion. Die Winter werden immer milder. Der Niederschlag fällt in den Wintermonaten nicht mehr als Zwischenspeicher Schnee, sondern trifft auf Böden mit einem bereits sehr hohen Grundwasserstand. In diesem Zusammenhang entstehen Probleme mit Vernässungen.

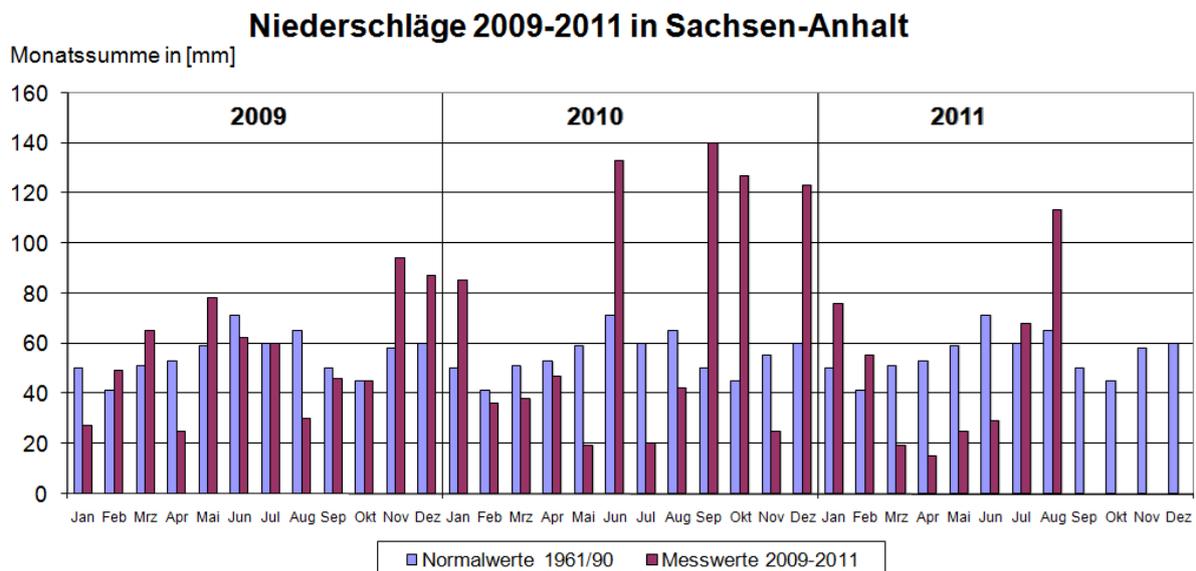


Abbildung 11: Niederschläge 2009-2011 in Sachsen-Anhalt, nach LHW 2011, (2).²⁷

Oftmals werden die wichtigen Barrieren und Retentionsräume beschädigt oder nicht genügend gepflegt. So kommt es zu Defiziten in der Flurgestaltung und einer schlechten Ausgangssituation, um sich vor Erosion zu schützen. Der richtige Weg wäre, in exponierter Lage dauerbegrünte Blühflächen als Filterstreifen anzulegen und nebenbei die Bodenbearbeitung zu optimieren. So könnte die Abflussdynamik verringert und Sedimente zurückgehalten werden. Dabei wird unterschieden zwischen On-Site und Off-Site Bereichen. Hiermit werden Schäden beschrieben, die On-Site, also in der Feldflur, oder Off-Site, also in

²⁷ Bericht "Grundwasserprobleme, Vernässungen und das dazugehörige Wassermanagement" 2014, S. 97

nachgeordneten Ökosystemen, erfolgen. Zu den Auswirkungen in der Feldflur gehören zum Beispiel linienhafte Erosionsformen (Rillen, Rinnen, Gräben) oder Akkumulationsbereiche in Hohlformen, Senken und Unterhängen. Die Belastung von Hecken oder Wegen durch Sedimente, erhöhte Schadstoffbelastung von Fließgewässern oder der Nährstoffeintrag in Standgewässern gehören oftmals zu den Off-Site Auswirkungen.

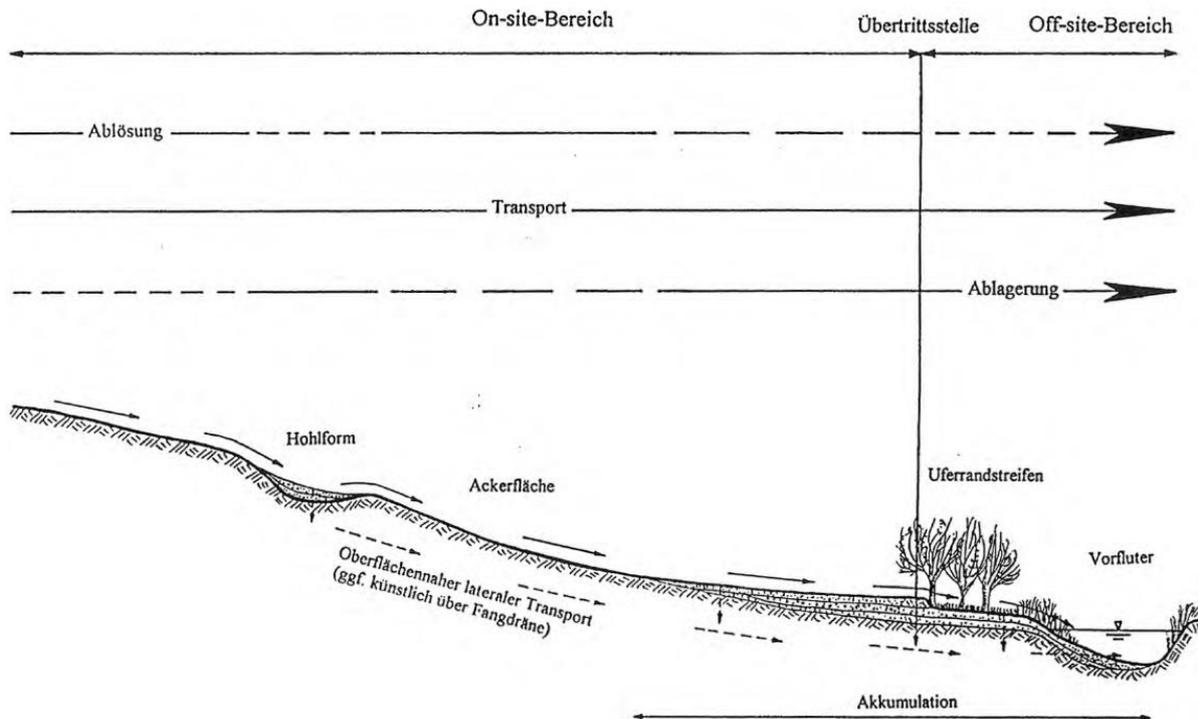


Abbildung 12: Zusammenhang zwischen Wassererosionsprozessen sowie On-Site und Off-Site Schäden.²⁸

Dabei erfüllt der Boden einige wichtige Funktionen. Zum einen dient er als Lebensgrundlage und Lebensraum für Menschen, Tiere, Pflanzen und Bodenorganismen und zum anderen ist er wichtiger Bestandteil des Naturhaushalts. Ebenso ist er unerlässlich bei der Stoffumwandlung. Mit seinen Filtereigenschaften reinigt er das Niederschlagswasser und speichert es als Grundwasser. In ihm wurden über die Jahre viele natur- und kulturgeschichtliche Informationen archiviert, aber auch Rohstoffe gelagert. Er dient als Fläche für Siedlung, Erholung und ähnlichem, sowie als Standort für die land- und forstwirtschaftliche Nutzung (siehe Bodenschutzgesetz).

²⁸ Bodenerosion BVB-Materialien, S. 31

3.1 Kennzeichen des Klimawandels und seine Folgen

Die mittlere Häufigkeit der Großwetterlage "Tief Mitteleuropa" hat zugenommen. Großwetterlagen sind definiert durch die Lage der Hochs und Tiefs über Europa und dem Nordostatlantik. Sie bestimmen das wesentliche Wettergeschehen. "Tief Mitteleuropa" ist dabei die gefährlichste Lage für Zentraleuropa. Es bedeutet feuchtes und sehr unbeständiges Wetter und gerade in den Sommermonaten besteht in dieser Zeit eine hohe Gefahr von Unwettern und Starkniederschlägen verbunden mit Überschwemmungen. Bildet sich aus dieser Wetterlage eine so genannte Vb-Lage, nimmt die Gefahr für extreme Niederschläge in Mitteleuropa noch zusätzlich zu. Dabei entsteht ein Tief über dem Mittelmeer und zieht über den Balkan in das östliche Mitteleuropa. Im Jahr 2014 hatten wir bereits an 19 Tagen eine solche Wetterlage, die ansonsten eher als selten gilt. Seit der Wetteraufzeichnung gab es nur ein Jahr, an dem diese Anzahl noch übertroffen wurde. Dabei handelt es sich um das Jahr 2002, welches das Jahr mit der großen Elbe- und Donauflut war. Forscher des Potsdamer Instituts für Klimaforschung (PIK) haben im August 2014 eine Studie veröffentlicht, die sich mit diesem Phänomen beschäftigt. Grund für diese



Abbildung 13: Bahnen der Jetstreams. (<http://www.srh.noaa.gov/jetstream/global/jet.htm>, Zugriff 08.2014)

anhaltende Wetterlage seien die Höhenwinde in der Atmosphäre. Wenn die so genannten Jetstreams ihre Zugbahnen nicht verändern. Infolgedessen kommt es zu den extremen Wetterlagen, welche sich in den letzten 30 Jahren, laut der Aussage von Herrn Peter Hoppe, Leiter der GeoRisikoForschung, verdoppelt hätten.

Die Treibhausgase sorgen für eine Erwärmung der Arktis. Die Eisflächen schmelzen, die sonst hellen Flächen, welche die Sonnenstrahlung mehr reflektieren, verschwinden und die dunklen Flächen erwärmen sich aufgrund der besseren Strahlungsabsorption wesentlich schneller. So nimmt der Temperaturunterschied zwischen Nord und Süd, welcher den Jetstream eigentlich antreibt, ab und die Höhenwinde ändern ihr Verhalten.

Durch die allgemeine Zunahme der Niederschlagsmenge und gleichzeitige Abnahme der Frosttage erhöht sich die Gefahr der Bodenschadverdichtung. Dieses wiederum hat entscheidenden Einfluss auf die Beschaffenheit des Bodengefüges. Für die schnelle Aufnahmefähigkeit von Niederschlag sind offene Poren und ehemalige Wurzel- oder

Regenwurmgänge von grundlegender Bedeutung. Sind allerdings Strukturschäden des Bodens, wie zum Beispiel Bodenschadverdichtung, vorhanden, dann sinkt die Wasseraufnahmefähigkeit (Infiltration) erheblich. Somit ist mit einem höheren Oberflächenabfluss zu rechnen, was wiederum einen stärkeren Bodenabtrag zur Folge hat.

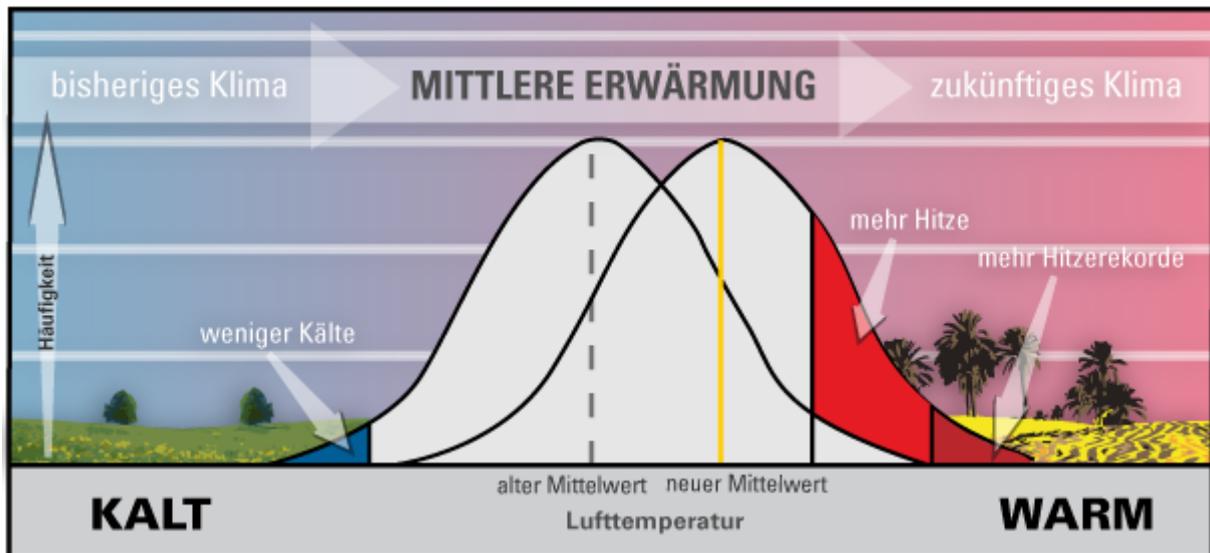


Abbildung 14: Mittlere Erderwärmung und die Folgen. (DWD, Zugriff: 08.2014)

Der Deutsche Wetterdienst hat in einer Pressekonferenz am 03.05.2012 in Berlin eine Zusammenfassung der aktuellen Wettersituation veröffentlicht. Quelle dieser Ergebnisse sind Wetterbeobachtungen von 1951 bis 2012 und betrachtet wird ein Zeitraum von 1951 bis 2100. Grundsätzlich ist zu verzeichnen, dass sich die Hauptwindssysteme auf beiden Halbkugeln zu den Polen hin verlagern. Das bedeutet in unseren mittleren Breiten, dass sich die Westwindzone nordwärts verlagert. Somit erhöhen sich die Häufigkeiten der Westwinde und die milden Wetterlagen. Die Wahrscheinlichkeit kalter Wetterlagen hingegen nimmt ab. Darüber hinaus wird, wie oben schon beschrieben, eine Zunahme von regenreichen Tiefdruckgebieten mit gefährlichen Starkniederschlägen und Überschwemmungen zu verzeichnen sein. "Die mittlere jährliche Zahl stieg von 1951 bis 2011 um 20 %. Das wird sich, wenn die Klimaprojektionen Recht behalten, bis zum Ende des Jahrhunderts fortsetzen." So heißt es in der Pressekonferenz. Aber auch die trockenen und sonnenreichen Hochdrucklagen über der Nordsee sollen stabil bleiben. Gerade aufgrund der ansteigenden Temperaturen wird sogar vermehrt mit Hitzerekorden und Trockenheit gerechnet. Diese kann zu Dürreperioden führen, die Landwirtschaft muss mit Ernteeinbußen rechnen und auch die generelle Wasserversorgung wird beeinträchtigt werden. Im schlimmsten Fall haben wir dann mit Problemen wie Trinkwasserversorgung (Südeuropa), Niedrigwasser in Flüssen oder sogar Kühlwasserprobleme in Kraftwerken (verbunden mit Stromversorgungsproblemen) zu

kämpfen. Die normalen Sommerschauer, die jeder kennt, werden wahrscheinlich immer weniger. Es wird eine Abnahme von 35 auf 25 Tagen pro Jahr bis 2100 gerechnet. Auch die Kaltlufteinbrüche in Spätsommer werden wohl erst später eintreten. Dieses hätte positive Folgen für die Spätfrostschäden im Obstbau. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Winter immer nasser werden und die Sommer eher von Trockenheit geprägt sein werden.

3.2 Regionale Klimaprojektionen für Sachsen-Anhalt

Man unterscheidet zwischen Klimadiagnose und Klimaprojektionen. Klimadiagnosen fassen die Verfahren der statistischen Aufbereitung und Analyse von langen Zeitreihen klimarelevanter Parameter zusammen. Der betrachtete Zeitraum sollte möglichst lang sein, um gesicherte Aussagen treffen zu können. Klimaprojektionen, welche in diesem Kapitel betrachtet werden sollen, beschreiben nicht die vergangenen Entwicklungen. Bei ihnen handelt es sich um Klimamodellberechnungen zur Bewertung künftiger möglicher Klimaentwicklungen. Anhand dieser können mögliche Folgen, Risiken und Anpassungsmaßnahmen, aber auch Chancen bewertet werden. Sie stellen eine qualitative und quantitative Abbildung der Auswirkungen der Treibhausgase auf unser Klima dar. Da nicht eindeutig absehbar ist, wie sich die Menschheit bis 2100 entwickeln wird, werden verschiedene Annahmen über den gesellschaftlichen, demografischen, wirtschaftlichen und technischen Wandel angenommen. Somit handelt es sich nur um mögliche Klimaentwicklungen der Zukunft.

Es gibt viele verschiedene Klimamodelle: regionale, globale, numerische und statistische Modelle. Die globalen Modelle haben den Nachteil, dass sie eine sehr grobe Auflösung besitzen. Bei einer Auflösung von nur 250 Kilometer (km) pro Pixel werden Unterschiede nur sehr schlecht erkennbar. Deshalb werden regionale Klimaprojektionen eingesetzt, die eine Auflösung von circa 18 km pro Pixel besitzen.

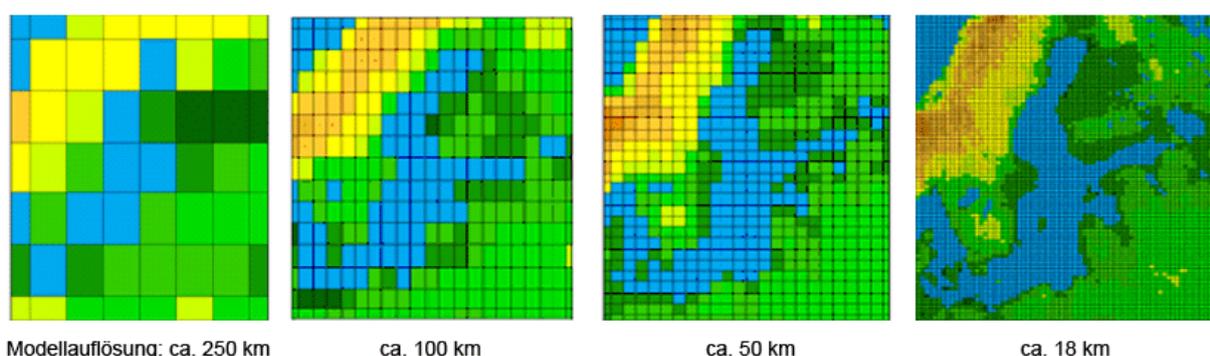


Abbildung 15: Darstellung der Ostsee in unterschiedlichen Modellgitterauflösungen (DWD, Zugriff: 08.2014)

Neben der räumlichen Auflösung werden auch unterschiedliche Ansätze verwendet, um die Auswirkungen eines veränderten Weltklimas auf die klimatischen Verhältnisse in einem bestimmten Gebiet möglichst genau zu beschreiben. Für Deutschland und Sachsen-Anhalt werden folgende regionale Klimamodelle von Forschungsinstituten zur Verfügung gestellt: REMO, CLM, WETTREG und STAR. Bei den ersten beiden handelt es sich um numerische Klimamodelle. Sie "[...] berechnen in Zeitschritten die Veränderung verschiedener Größen für Punkte eines drei-dimensionalen Gitters [...]".²⁹ Die restlichen beiden hingegen sind statistische Klimamodelle. "Sie simulieren zukünftige Klimaszenarien, indem vergangene Witterungsabschnitte und deren Aufeinanderfolge mittels statistischer Verfahren modifiziert und in die Zukunft extrapoliert werden."³⁰ Für alle Berechnungen wurde das mittlere Emissionsszenarium A1b verwendet. A1 stellt unsere Welt mit einem sehr raschen Wirtschaftswachstum, einer Mitte des 21. Jahrhunderts seinen Höhepunkt findenden und im Anschluss rückläufigen Weltbevölkerung mit Einführung effizienter Technologien dar. Dabei wird noch zwischen drei technologischen Entwicklungsrichtungen unterschieden. Bei der Variante b geht man von einer ausgewogenen Nutzung aller Energiequellen aus. Ausgewogene Nutzung bedeutet eine Versorgung durch dezentrale Energiequellen und ein ähnliches Verbesserungspotenzial für alle Energieversorgungs- und Energieverbrauchs-Technologien.

Das Modell **REMO** ist in Zusammenarbeit des Max-Planck-Instituts für Meteorologie mit dem Umweltbundesamt und der Bundesanstalt für Gewässerkunde entstanden. Es enthält Klimaprojektionen für Deutschland, Österreich und der Schweiz. Die Auflösung beträgt 10 x 10 km und wird für Untersuchungen regionaler Klimafolgen bereitgestellt. Es zeigt die Klimaentwicklungen des vergangenen Jahrhunderts realitätsnah. Es liefert detaillierte Informationen, wie zum Beispiel über die deutschen Mittelgebirge. Gerade die Modellierung von Gebirgen ist sehr kompliziert, da hier die Windrichtung und Form der Erdoberfläche sehr starken Einfluss haben. So wird zum Beispiel zwischen Luv- und Lee-Effekten unterschieden.

Genauso wie das REMO ist auch das **COSMO-CLM** (früher CLM) ein dynamisches Regionalmodell. Das COSMO-CLM ist eine Gemeinschaftsentwicklung von etwa 25 Institutionen und besitzt eine Auflösung von 18 x 18 km. Laut dem



Abbildung 16: Logo www.clm-community.eu.

²⁹ DWD, Klimaszenarien - Rechnungen für Deutschland (Zugriff: 08.2014)

³⁰ DWD, Klimaszenarien - Rechnungen für Deutschland (Zugriff: 08.2014)

Deutsches Klimarechenzentrum wurde es von der Klima-Version des Wettervorhersagemodells "LM" des Deutschen Wetterdienstes abgeleitet. Das CLM basiert auf den Ergebnissen der globalen IPCC-AR4-Rechnungen und wurde von dem Hamburger Modell ECHAM5/MPI-OM angetrieben.

WETTREG (Wetterlagenbasierte Regionalisierungsmethode) ist ein statistisches regionales Klimamodell von der Firma CEC Climate & Environmental Consulting Potsdam GmbH. Dafür werden die Wetterlagen der einzelnen Jahreszeiten unterteilt zwischen Temperaturregime und Feuchtregime und objektiv klassifiziert. Im Anschluss werden die Zeitreihen der Messdaten anhand der Leitgröße Temperatur in übernormal warme und kalte Abschnitte unterteilt. Damit letztendlich mittels Zufallsgenerator eine Neukombination mit einer bestmöglichen Anpassung an die vorgegebene Häufigkeitsverteilung der Witterungsabschnitte erfolgen kann. Kurz gesagt werden empirische Daten der Vergangenheit entwickelt und auf die Zukunft übertragen.

Schließlich gibt es noch das Klimamodell **STAR**. Es gehört ebenfalls zu den statistischen Modellen. Grundlage sind die großräumigen Änderungen meteorologischer Größen aus den globalen Klimamodellen für eine regionale Umsetzung. Mittels Ähnlichkeitsbeziehungen werden Trendinformationen an bereits vorliegenden Beobachtungsdaten von 1951 bis 2006 gekoppelt, um regionale Klimamodellergebnisse zu berechnen. STAR wurde am Potsdamer Institut für Klimaforschungen (PIK) für einen Zeitraum von 2001 bis 2055 entwickelt.

Nachfolgend werden die genannten Klimamodelle mit ihren Entwicklungen in zwei Phasen gegenübergestellt.

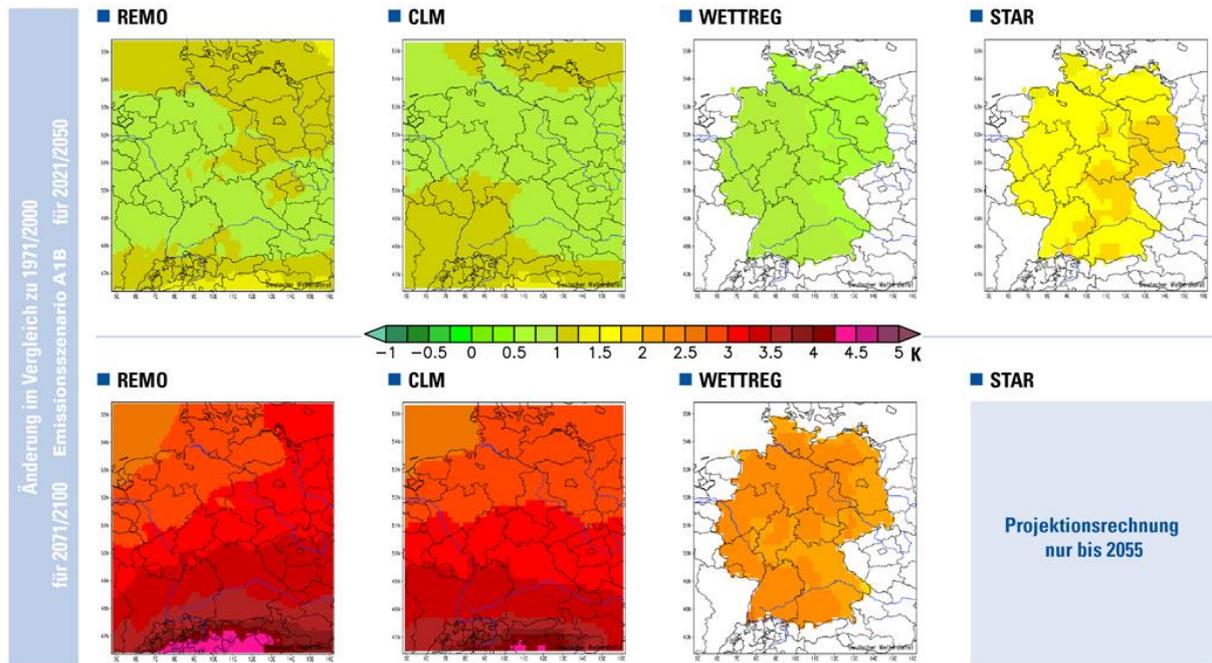


Abbildung 17: Klimaprojektionen für die Änderung der mittleren jährlichen Lufttemperatur im Vergleich zum Zeitraum 1971/2000.³¹

In der Abbildung 17 ist die prognostizierte Änderung der mittleren jährlichen Lufttemperatur, gemessen zwei Meter über dem Erdboden, in freiem offenen Gelände und vor Sonneneinstrahlung geschützt, für die verschiedenen regionalen Klimamodelle zu sehen. Alle wurden mit dem Emissionsszenario A1b berechnet, welches die prognostizierten Emissionen weder sehr optimistisch, noch sehr pessimistisch einschätzt. Oben werden die Prognosen für den Zeitraum 2021/2050 und unten für 2071/2100 dargestellt. Sehr ähnlich sind die Modelle REMO und CLM. WETTREG liegt etwas unter dem Durchschnittswert von etwa einen Grad Celsius und STAR etwas über diesem Wert. Im Jahr 2100 ist dieser Trend noch wesentlich deutlicher zu sehen, wobei leider die Projektion von STAR nur bis ins Jahr 2055 reicht und deshalb hier nicht verglichen werden kann. Alle anderen Szenarien wurden bis ins Jahr 2100 berechnet. Im Norden Deutschlands ist ein Temperaturanstieg von etwa 2,5 °C (WETTREG) bis drei °C (REMO, CLM), im Süden sogar laut REMO und CLM um 3,5 °C, zu verzeichnen. Im Modell WETTREG ist kein signifikanter Nord-Süd Verlauf zu erkennen. Bei REMO und CLM ist hingegen ein Anstieg der Temperatur von Nord nach Süd zu sehen.

Laut Definition ist ein Sommertag ein Tag, an dem die Lufttemperatur über 25,0 °C erreicht. Diese Anzahl wird, betrachtet man die Abbildung 18, in allen Regionen Deutschlands

³¹ Datenquelle: REMO: MPI-M i.A. des Umweltbundesamt, 2006 | CLM: MPI-M/MaD i.A. des BMBF, 2007 | WETTREG: Meteo Research i.A. des Umweltbundesamtes, 2006 | STAR: PIK Potsdam, 2007

zunehmen. Während es an der Küste nur wenig mehr Sommertage geben wird, sind es im Süden wesentlich mehr. Im Südwesten wird mit einer Zunahme von 54 Sommertagen mehr pro Jahr als vor 100 Jahren gerechnet. Im Allgemeinen wird bis 2050 von 12 - 30 und bis 2100 von 30 - 42 Sommertagen mehr gesprochen.

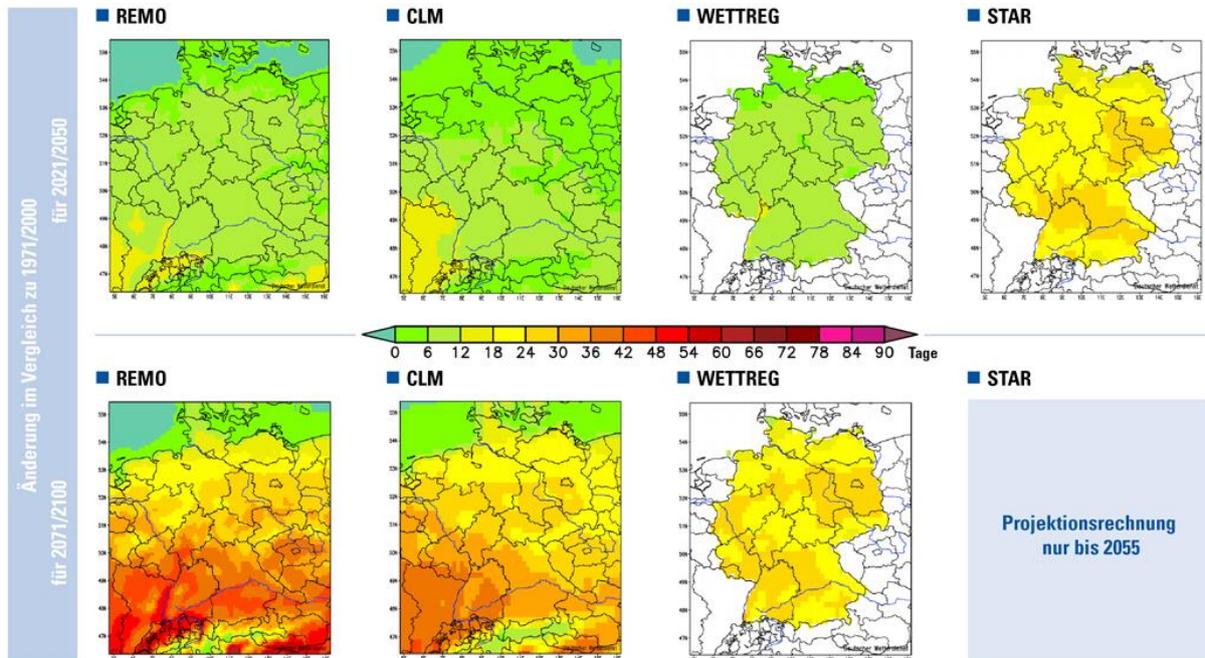


Abbildung 18: Klimaprojektionen für die Änderung der mittleren jährlichen Anzahl an Sommertagen [a] im Vergleich zum Zeitraum 1971/2000.³¹

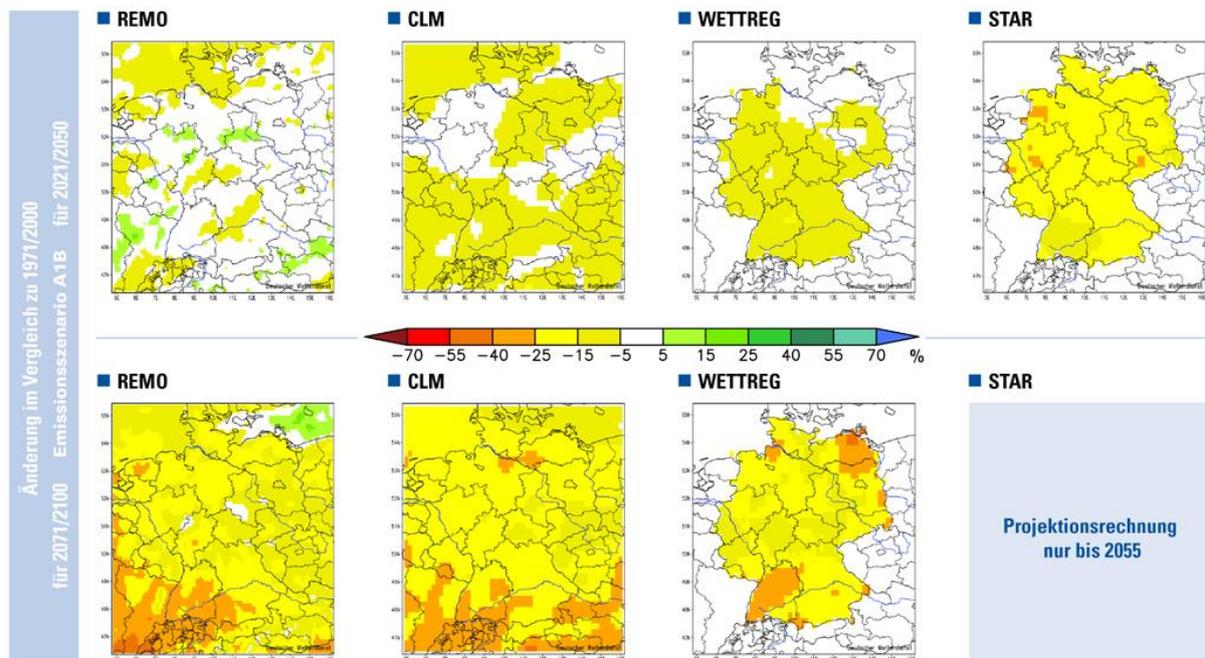


Abbildung 19: Klimaprojektionen für die Änderung der mittleren Niederschlagshöhen im Sommer [a] im Vergleich zum Zeitraum 1971/2000.³¹

In der Abbildung 19 sind die Änderungen der mittleren Niederschlagshöhen in den Sommermonaten im Vergleich zum Zeitraum 1971/2000 dargestellt. Bei allen Modellen wird von einer geringen Niederschlagsabnahme ausgegangen. Nur bei REMO sind in dem ersten Zeitraum auch vereinzelt Regionen mit einer geringen Zunahme zu erkennen. Diese Tendenz (weniger Niederschlag) setzt sich so stark fort, dass in einzelnen Regionen sogar bis zu 40 % weniger Niederschlag erwartet wird. Was in diesen Abbildungen nicht zu erkennen ist: Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Starkniederschlägen nimmt ebenfalls zu.

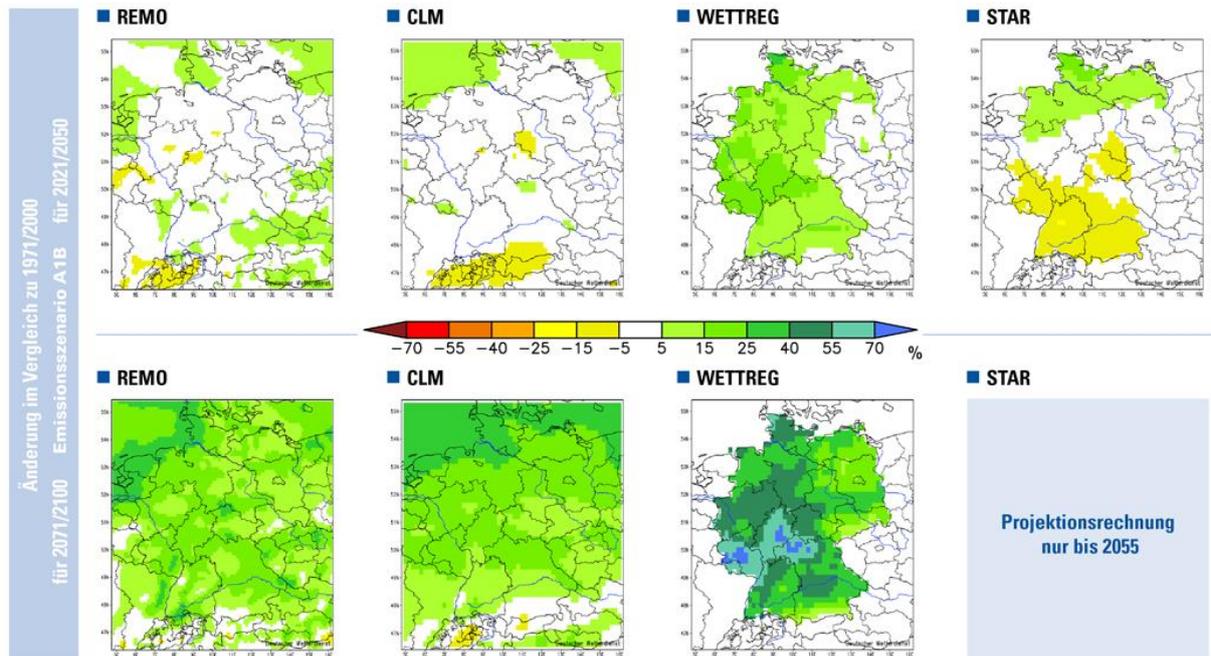


Abbildung 20: Klimaprojektionen für die Änderung der mittleren Niederschlagshöhen im Winter [a] im Vergleich zum Zeitraum 1971/2000.³¹

Abbildung 20 zeigt die Änderung der Niederschlagshöhen im Winter. Die Tendenz ist hier, entgegengesetzt zum Sommer, dass mehr Niederschlag vorherrschen wird. WETTREG zeigt hier die größten Veränderungen gegen Ende des 21. Jahrhunderts. Die anderen Modelle zeigen zwar vereinzelt auch negative Ausschläge (vor allem 2021/2050), doch in der zweiten Phase (2071/2100) sind nahezu überall deutlich höhere Niederschläge errechnet worden. REMO und CLM weisen bis zu 25 % und WETTREG sogar bis zu 70 % mehr Niederschlag auf.

In der Abbildung 21 werden die Änderungen der Niederschlagshöhen nun auf das gesamte Jahr betrachtet. Die Tendenzen des höheren Niederschlags im Winter und geringeren Niederschlags im Sommer heben sich über das Jahr gesehen teilweise auf. Für den Jahresniederschlag werden geringfügige Änderungen von $\pm 10\%$ des bisherigen Wertes nicht überschritten. Im Modell REMO wird in den Mittelgebirgen und an der Küste etwas mehr

Niederschlag erwartet. Auf weniger Niederschläge wird in der ersten Phase vom Modell STAR sowie in der zweiten Phase im Modell CLM im Süden und Osten hingewiesen.

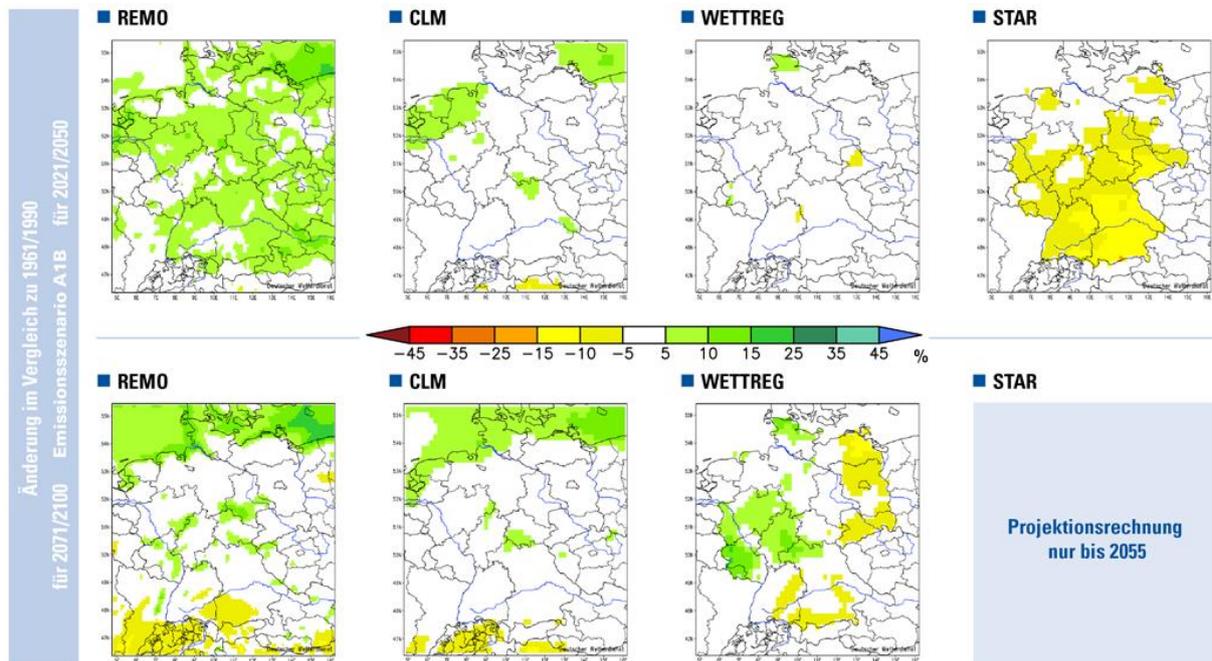


Abbildung 21: Klimaprojektionen für die Änderung der mittleren Niederschlagshöhen [a] im Vergleich zum Zeitraum 1971/2000.³¹

3.3 Das Klimainformationssystem ReKIS

ReKIS ist die Abkürzung für Regionales Klimainformationssystem. Es ist ein interaktives Werkzeug für die fachgerechte Bereitstellung, Dokumentation, Bewertung und Interpretation von Klimadaten und Klimainformationen der Bundesländer Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen. Beauftragt wurde es vom Freistaat Sachsen und wurde 2012 als Internetplattform zur Verfügung gestellt. Das Institut für Hydrologie und Meteorologie der Technischen Universität Dresden hat es entwickelt. Es stellt die Resultate der Ergebnisse und Erfahrungen aus den regionalen Klimafolgeforschungen der letzten zehn Jahre dar. So werden Karten und Grafiken zu klimarelevanten Themen bereit gestellt und auch Rasterklimadaten (RaKliDa) berechnet. Auf diese Art und Weise dient es "[...] als Schnittstelle zwischen Nutzern und Landesbehörden sowie der Wissenschaft und interessierten Bürgern."³² Viele Informationen sind für jeden Nutzer sichtbar und frei zugänglich. Durch eine einfache Registrierung werden noch weitere Fachinformationen abrufbar und eine individuelle Analyse von Klimadaten ist möglich. Die Klimainformationen werden auf die Bedürfnisse der regionalen Akteure

³² Aktualisierung der Strategie des Landes Sachsen-Anhalt zur Anpassung an den Klimawandel 2013, S.15

(Bildung, Planung, Politik, Forschung und andere) unter dem Motto "Global Denken und regional Handeln" zugeschnitten.

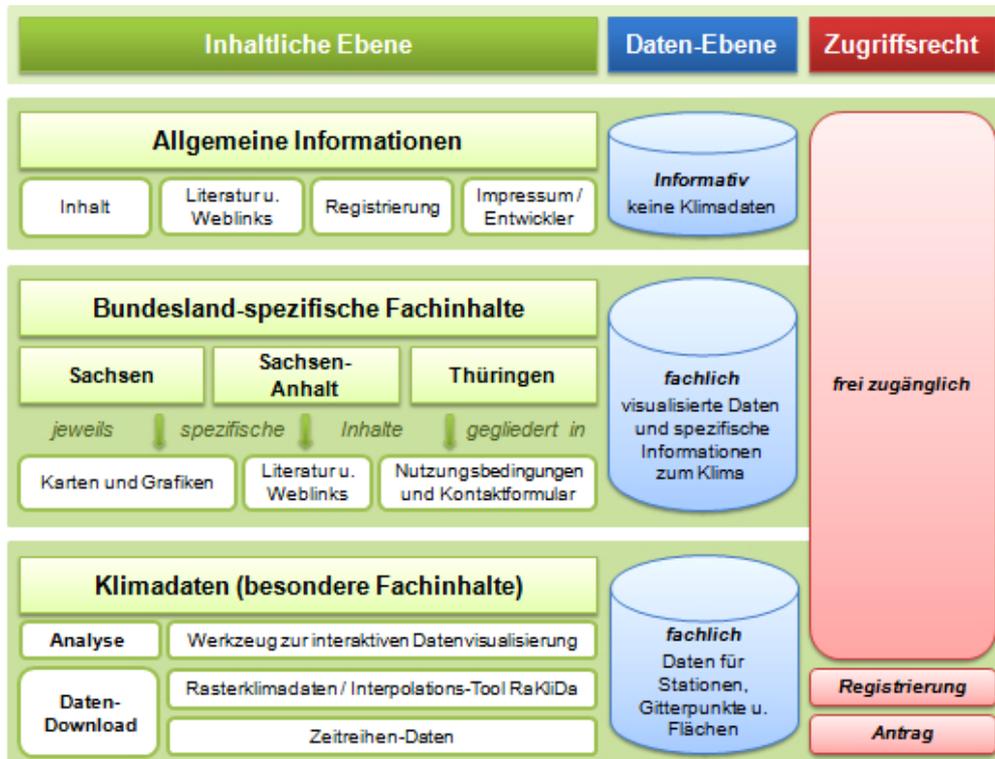


Abbildung 22: Inhalt ReKIS (Stand: 02.2014).³³

Die gemessenen Daten, welche auf ReKIS dargestellt werden, stammen von dem Deutschen Wetterdienst (DWD) und dem Tschechischen Hydrometeorologischen Institut (CHMI). Die Datenherkunft der simulierten Daten sind die oben beschriebenen regionalen Klimamodelle WETTREG, REMO, STAR und CLM.

Um einen Einblick zu bekommen, wie umfangreich die Datenbank des Internetportals ReKIS ist, wurde die folgende Abbildung 23 ausgewählt. Sie zeigt auf einfache Art und Weise die Entwicklung der Blüte des Schneeglöckchens nach Jahresbeginn. Die Aufzeichnungen reichen bis 1951 zurück und enden 2006. Legt man eine ausgleichende Gerade durch alle Messwerte, dann ist eine leicht fallende Tendenz zu erkennen. Das bedeutet, dass das Schneeglöckchen im Durchschnitt jedes Jahr etwas früher zu blühen beginnt. Es kann somit als einfacher Indikator für den voranschreitenden Klimawandel betrachtet werden.

³³ Internetauftritt ReKIS: <http://141.30.160.223/fdm/index.jsp?k=rekis>

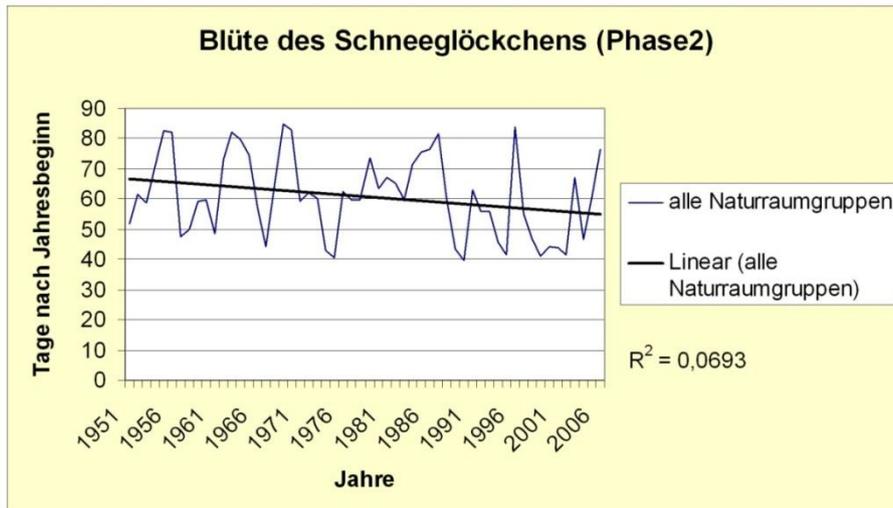


Abbildung 23: Blüte des Schneeglöckchens (ReKIS).

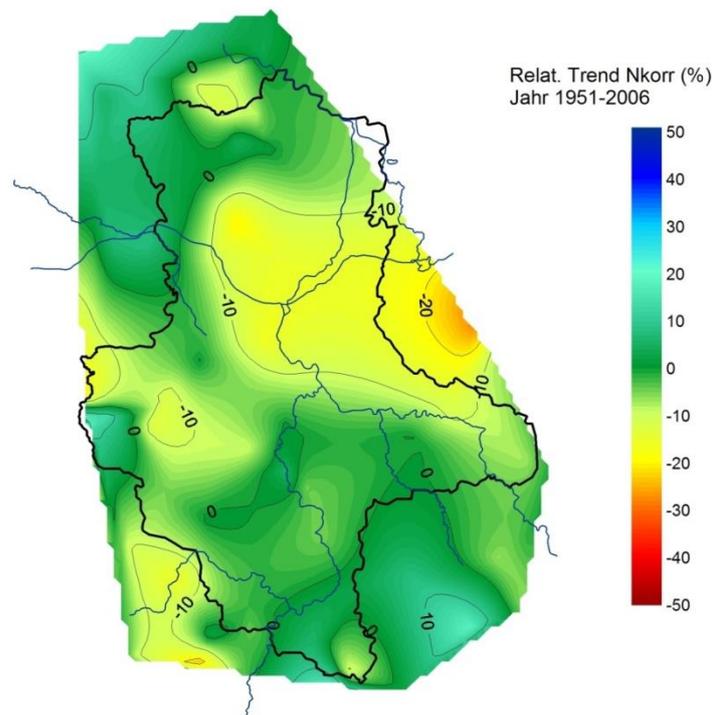


Abbildung 24: Relativer Trend des Jahresniederschlags [%] in Sachsen-Anhalt. (ReKIS)

Die Abbildung 24 zeigt den relativen Trend des Jahresniederschlags in Sachsen-Anhalt. Es sind regional sehr unterschiedliche Entwicklungen zu sehen. Vor allem im Fläming, dem südlichen und nördlichen Harzvorland und in der Nähe von Salzwedel und Arendsee ist ein Niederschlagsrückgang in dem Zeitraum 1951 bis 2006 zu erkennen. Im Gegensatz dazu ist in der Harzregion, der Lüneburger Heide und im Erzgebirgsvorland ein gegenläufiger Trend zu verzeichnen.

Niederschlagsanalyse

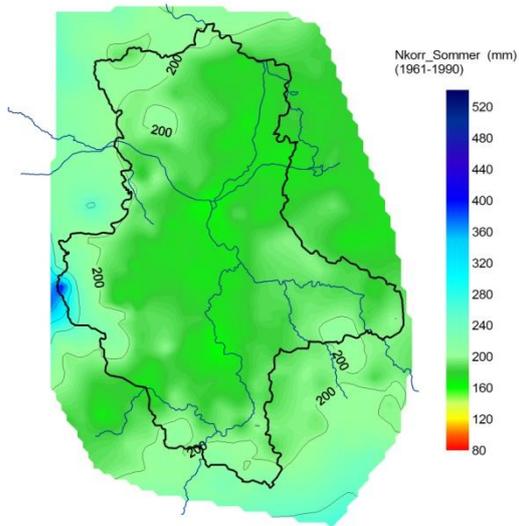


Abbildung 25: Niederschlag in Sachsen-Anhalt, Sommer; 1961-1990.

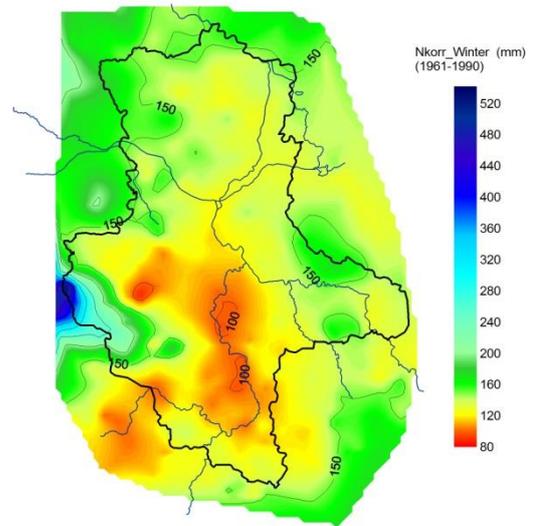


Abbildung 26: Niederschlag in Sachsen-Anhalt, Winter; 1961-1990.

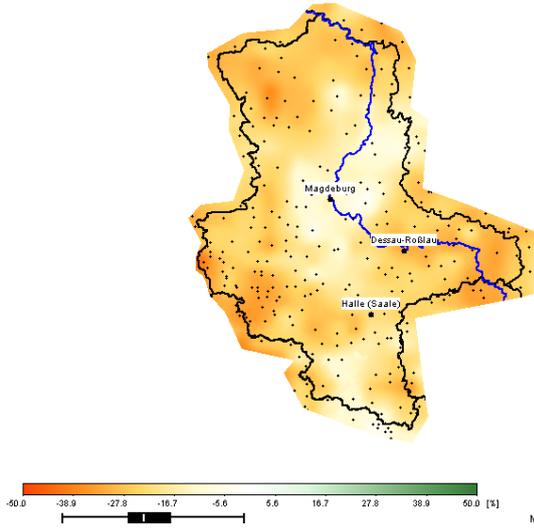


Abbildung 27: WETTREG; A1b; prozentuale Änderung Sommerniederschlag; 2071/2100 gegenüber 1971/2000.

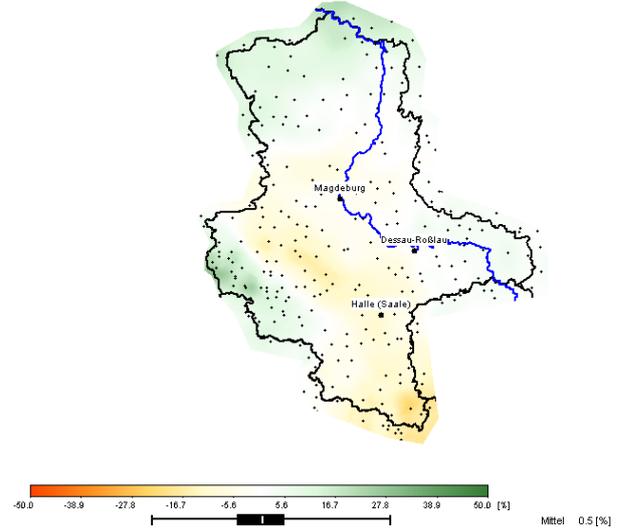


Abbildung 28: WETTREG; A1b; prozentuale Änderung Winterniederschlag; 2071/2100 gegenüber 1971/2000.

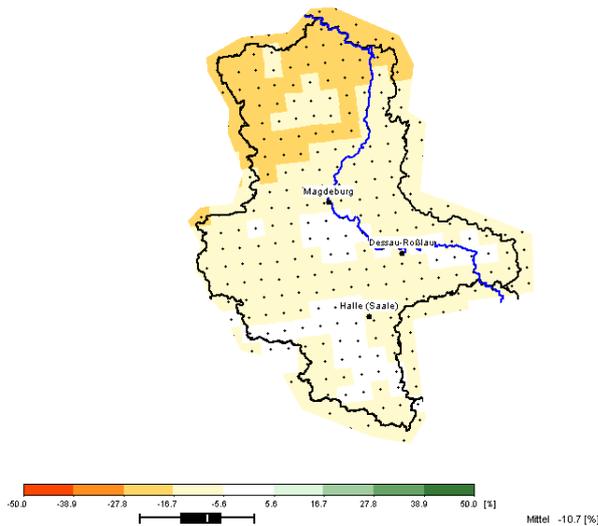


Abbildung 29: REMO; A1b; prozentuale Änderung Sommerniederschlag; 2071/2100 gegenüber 1971/2000.

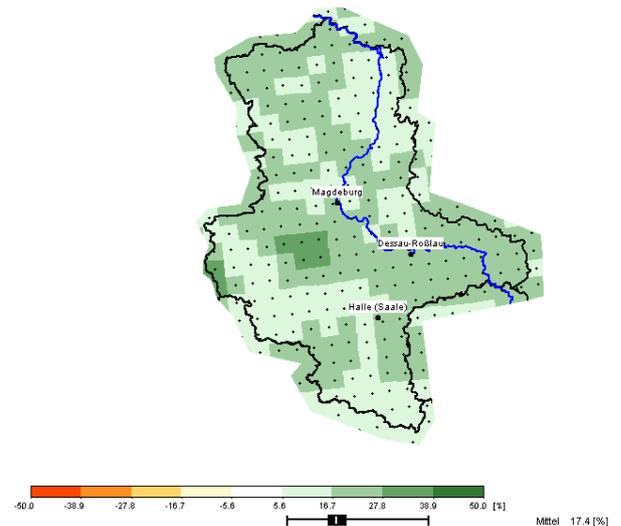


Abbildung 30: REMO; A1b; prozentuale Änderung Winterniederschlag; 2071/2100 gegenüber 1971/2000.

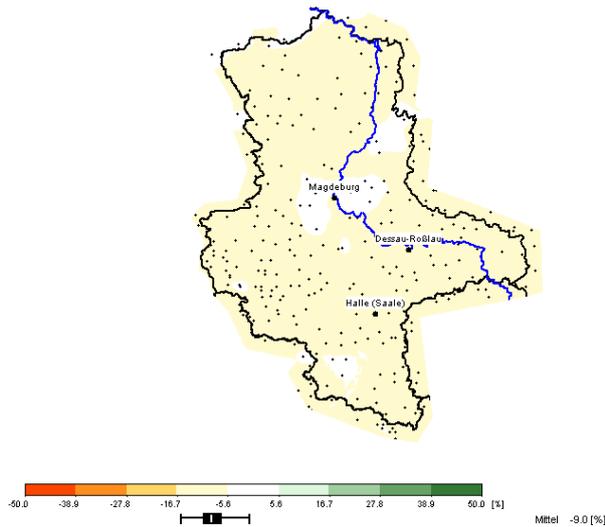


Abbildung 31: WETTREG; A1b; prozentuale Änderung Jahresniederschlag; 2071/2100 gegenüber 1971/2000.

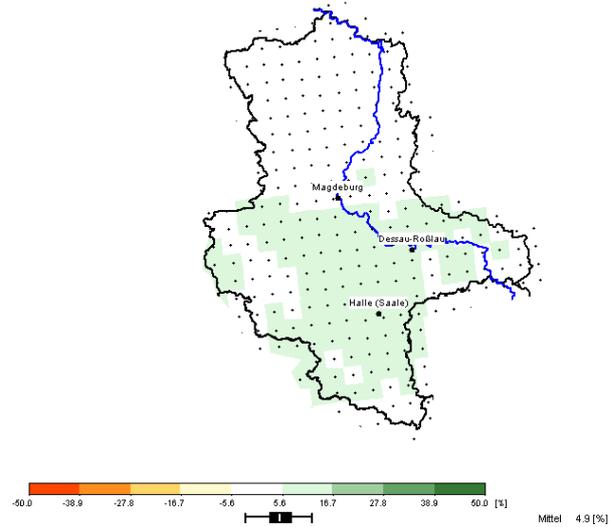


Abbildung 32: REMO; A1b; prozentuale Änderung Jahresniederschlag; 2071/2100 gegenüber 1971/2000.

Die oberen acht Abbildungen wurden alle dem System ReKIS entnommen und verdeutlichen die Niederschlagsentwicklungen in Sachsen-Anhalt. Abbildung 25 und Abbildung 26 stellen die Niederschlagsverteilung für den Sommer und Winter von 1961 bis 1990 dar. Es ist deutlich zu erkennen, dass vor allem im Winter sehr wenig Niederschlag gefallen ist. Nur die Region Hochharz (Brocken) verzeichnete einen Niederschlag von über 400 mm. Im Sommer zeigt sich ein ähnliches Bild: Die meisten Regionen sind eher trocken, wenn auch nicht so trocken wie in den Wintermonaten. Nur der Brocken ragt mit etwa 400 mm etwas heraus.

Die vier restlichen Abbildungen (Abbildung 27 bis Abbildung 30) stellen die aktuellen Prognosen mit den Klimaprojektionen WETTREG und REMO dar. Auch sie wurden für Sommer und Winter getrennt berechnet. Sowohl REMO als auch WETTREG zeigen beide die gleiche Tendenz. Die Sommer werden trockener und die Winter feuchter. Allerdings zeigen sie in jeweils unterschiedlichen Jahreszeiten verschiedene Ausprägungen. Laut dem Modell WETTREG wird der Sommer trockener (im Mittel -22,2 %) als der Sommer des Modells REMO (im Mittel -10,7 %). Betrachtet man den Winter ist dieser Trend weiter zu verfolgen. Im Modell WETTREG wird der Winter nicht so extrem feucht (im Mittel 0,5 %) wie der Winter im Modell REMO (im Mittel 17,4 %).

Die letzten beiden Abbildungen (Abbildung 31 und Abbildung 32) kennzeichnen die prozentuale Änderung des Jahresniederschlags 2071-2100 gegenüber 1971-2000. Die Niederschlagsänderungen des Sommers und Winters heben sich gegenseitig teilweise auf. Das Modell WETTREG zeigt insgesamt einen Niederschlagsrückgang von im Mittel -9,0 %. Mit dem Modell REMO wurde ein tendenzieller Anstieg von 4,9 % berechnet.

Temperaturanalyse

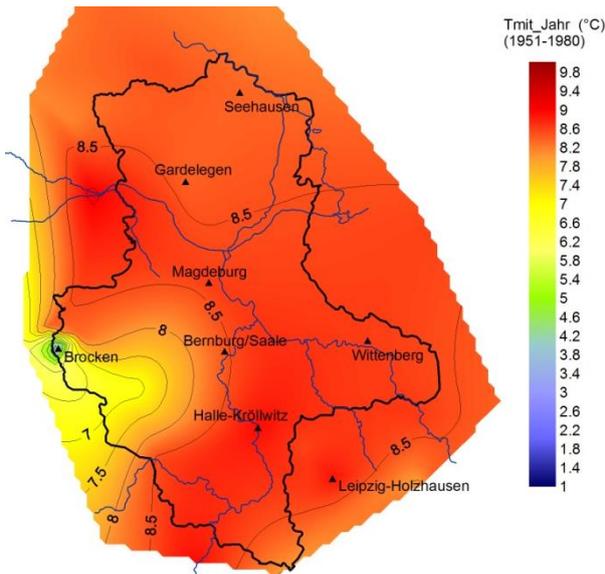


Abbildung 33: Temperatur [°C] in Sachsen-Anhalt; Jahr; 1951-1980.

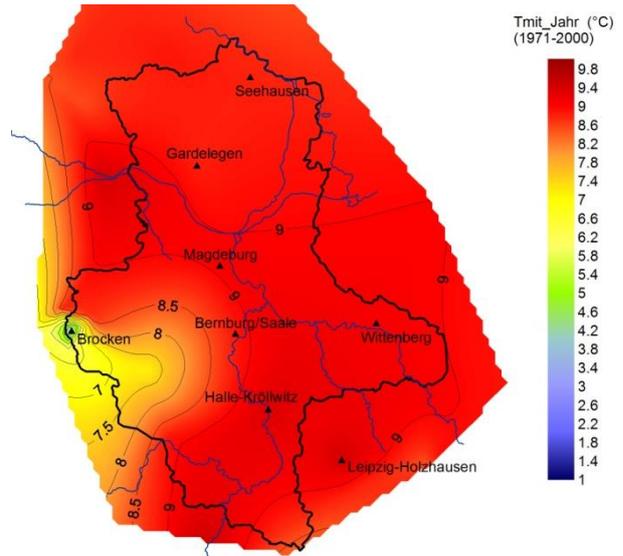


Abbildung 34: Temperatur [°C] in Sachsen-Anhalt; Jahr; 1971-2000.

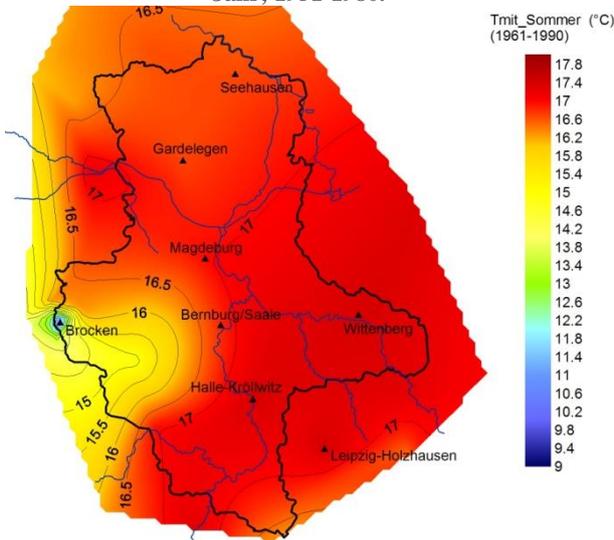


Abbildung 35: Temperatur [°C] in Sachsen-Anhalt; Sommer; 1961-1990.

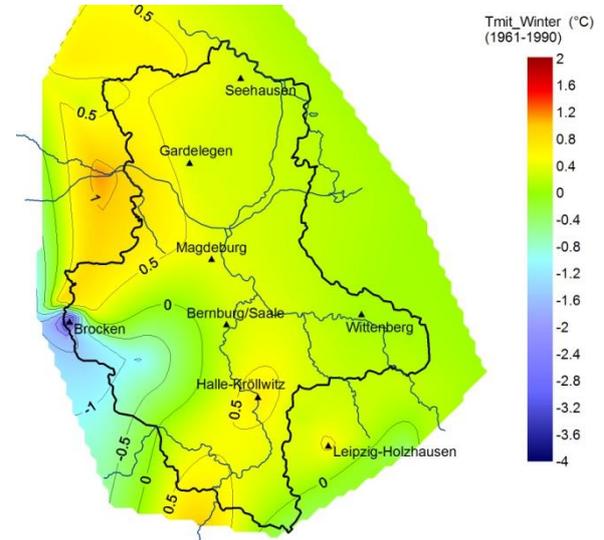


Abbildung 36: Temperatur [°C] in Sachsen-Anhalt; Winter; 1961-1990.

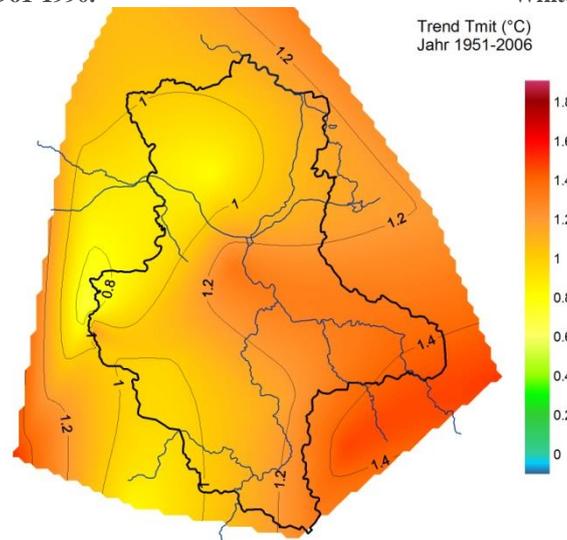
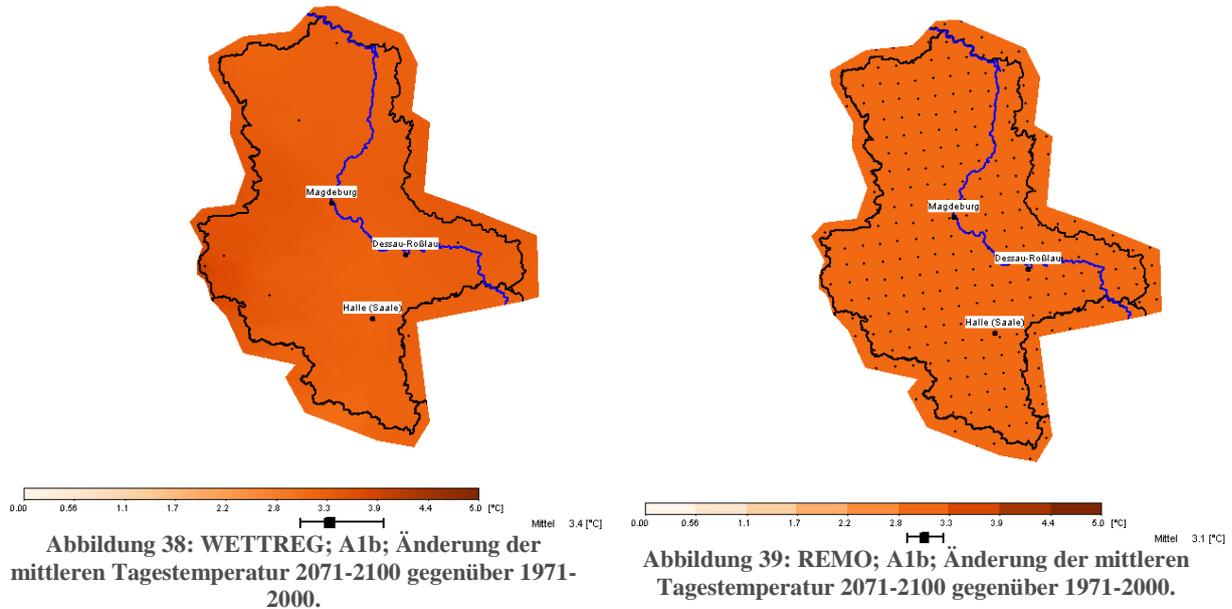


Abbildung 37: Absoluter Trend [K] der Temperatur in Sachsen-Anhalt; Jahr; 1951-2006.



Auch die Abbildung 33 bis Abbildung 39 stammen aus dem Internetportal ReKIS und beschreiben eine Temperaturanalyse. Die ersten beiden Abbildungen (Abbildung 33 und Abbildung 34) beziehen sich auf die Jahre 1951-1980 und 1971-2000. Es ist also die Änderung zwischen diesen beiden Zeitphasen zu erkennen. Die Temperaturverteilung ist bei beiden gleich. Jedoch ist die zweite Phase insgesamt um etwa 0,5 °C wärmer als die erste Phase. Bei der Abbildung 35 und Abbildung 36 wurde eine Kombination der Zeiten gewählt (1961-1990) und die Jahreszeiten Sommer und Winter genauer betrachtet. Auch hier bleiben die Verteilungen ähnlich. Der Brocken, mit 1141,2 Meter über Normalhöhennull (NHN) höchster Punkt Sachsen-Anhalts, ist immer der kälteste Punkt. Verteilt über gesamt Deutschland ist ein Anstieg von circa 17 °C im Vergleich Winter zu Sommer erkennbar. Die Darstellung zur Klimadiagnose (Abbildung 37) zeigt den absoluten Trend der Temperatur für den Zeitraum 1951 bis 2006. Der maximalste Anstieg ist weit im Osten zu erkennen. Hier wurde es in dem genannten Zeitraum über 1,4 °C wärmer. Geringere Temperaturanstiege sind vor allem in der Region Osterwieck mit weniger als 0,8 °C, der Altmarkt und dem Thüringer Becken mit etwa einem Grad Celsius zu verzeichnen.

Die Abbildung 38 und Abbildung 39 gehören zu den Klimaprojektionen und beschreiben die Klimaentwicklungen mittels der Modelle WETTREG und REMO. Beide gehen im Durchschnitt von einem ähnlichen Temperaturanstieg aus. WETTREG prognostiziert einen mittleren Anstieg bis 2100 von 3,4 °C und REMO von 3,1 °C. Diese Werte sind fast deckungsgleich und auch über die gesamte Landesfläche sehr ähnlich.

3.4 Maßnahmen zum Erosionsschutz

Die Maßnahmen zum Erosionsschutz lassen sich unter anderem in Schutzmaßnahmen für den Ortsbereich (Innenbereich) und für den Außenbereich einteilen, wobei man sich in den Ortslagen nur vor den Folgen und Auswirkungen der Erosion und den Sturzfluten schützen kann. Damit es nicht zu diesen Schlammlawinen kommt, muss in den Feldlagen, zumeist landwirtschaftliche Flächen, für abtragsmindernde Strukturen und Bewirtschaftungssysteme gesorgt werden. So wird das Risiko für schadhafte Erosionsereignisse gemindert.

Ist auf einer landwirtschaftlichen Fläche eine erhöhte Erosion zu verzeichnen, müssen die anbautechnischen, landeskulturellen und natürlichen Bedingungen überprüft werden, um dann die richtigen Gegenmaßnahmen bestimmen zu können. Meist gibt es zwei Ursachen für die Erosion. Zum einen kann sie außerhalb der Fläche liegen, beispielsweise wenn Fremdwasser aus einem Graben auf die Ackerfläche fließt und dort für Bodenabtrag sorgt. Eine andere Möglichkeit ist, dass die Ursache auf der Fläche selber zu finden ist. Erosive Faktoren sind:

- Regenfaktor
- Bodenfaktor
- Hangneigungsfaktor
- Hanglängenfaktor
- Bewirtschaftungsfaktor und
- Querbewirtschaftungsfaktor.

Die ersten drei Faktoren sind als gegebene Größen anzusehen, da der Landwirt auf diese keinen Einfluss ausüben kann. Allerdings kann er durchaus etwas an den letzten drei Faktoren ändern. Der Hanglängenfaktor kann zum Beispiel durch eine Schlagunterteilung verändert werden. Den Bewirtschaftungsfaktor kann der Landwirt mit acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmen beeinflussen, indem er den Bodenbedeckungsgrad verbessert. Der Querbewirtschaftungsfaktor, welcher zwischen null und eins liegt, wird in den meisten Fällen mit eins festgelegt. "Die Bewirtschaftung quer zum Gefälle bremst bei nicht zu großer Hanglänge den Oberflächenabfluss des Wassers."³⁴ Wird die maximale Hanglänge nicht überschritten, dann kann ein entsprechender Querbewirtschaftungsfaktor eingesetzt werden. Jedoch wird dieser Faktor oft pauschalisiert.

³⁴ "Bodenerosion - Wie stark ist die Bodenerosion auf meinen Feldern?" 2013, S. 13

3.4.1 Außenbereich

Fruchtfolgegestaltung (A1)

Gerade im ackerbaulichen Bereich liegt viel Potenzial für den Erosionsschutz. Die Fruchtfolgegestaltung ist meist schon der erste zu verbessernde Faktor. Der Reihenabstand sollte so gering wie möglich gehalten werden und auch ein möglichst ganzjährig hoher Bodenbedeckungsgrad ist von entscheidendem Vorteil. So sind zum Beispiel Winterzwischenfrüchte mit einer anschließenden Direktsaat erosionshemmend.

Zwischenfruchtanbau (A2)

Insgesamt ist sowohl bei Wind- als auch bei Wassererosion ein Zwischenfruchtanbau positiv zu bewerten. Dadurch werden die Brachzeiten der Schläge verkürzt und die Hauptfrüchte profitieren von der Zwischenfrucht als Düngung oder es wird als Tierfutter verwendet. Zusätzlich profitiert die Bodenfruchtbarkeit und Bodenstabilität durch eine Zunahme des Wurzelgeflechts.

Untersaaten (A3)

Bei manchen Fruchtarten, wie zum Beispiel Mais, ist es nicht möglich den Reihenabstand kurz genug zu gestalten, um auch in Zeiten mit Vegetation ausreichend Erosionsschutz bieten zu können. Deshalb können so genannte Untersaaten neben der Hauptkultur angepflanzt werden, welche ebenfalls als Tierfutter genutzt werden können.

Konservierende Bodenbearbeitung (A4)

Außerdem ist eine konservierende Bodenbearbeitung, also ohne Einsatz des Pfluges, zu empfehlen. Der Boden wird nur oberflächlich bearbeitet. Es ist auf unterschiedliche Bearbeitungstiefen in den Fruchtfolgen zu achten, damit keine Bearbeitungssohlen entstehen. Um eine Bodenbedeckung von mindestens 25 % zu erreichen, werden Erntereste oberflächlich in den Boden eingearbeitet. Mittels empirischer Untersuchungen wurde eine Reduzierung der Bodenerosion um 50 bis 90 % nachgewiesen, wenn in Kombination mit dem Mulchsaatverfahren gearbeitet wird. Vor allem bei erosionsgefährdeten Fruchtarten (Mais, Zuckerrüben und Kartoffeln) zeigen sich deutliche Unterschiede. Ab einer Bodenbedeckung von 30 % beginnt der Schutz gegen Wassererosion deutlich zuzunehmen. Aber erst bei mehr als 50 % Bodenbedeckung ist von einer größeren Sicherheit zu sprechen.

Direktsaatverfahren (A5)

In extremen Fällen kann auch die Direktsaat angewendet werden. Hierbei wird komplett auf eine Bodenbearbeitung verzichtet, um eine möglichst hohe Bodenbedeckung zu erreichen. Um den Acker zu bestellen, wird der Boden mit einem Säschlitz aufgerissen und das Saatgut abgelegt. Leider ist mit dieser Variante die Unkrautregulierung problematisch. Eine angepasste Fruchtfolge und Herbizideneinsatz sollen dabei helfen.

Humuszufuhr und Kalkung (A6)

Ein verbessertes Infiltrationsvermögen des Bodens ist mit dem Einsatz von Kalk und Humus zu erreichen. Sie sorgen für den Aufbau und Erhalt verschlammungsmindernder stabiler Bodenaggregate und biologische Aktivität.

Verminderung Bodenschadverdichtung (A7)

Ebenfalls sollte die Bodenschadverdichtung (Strukturschäden) vermieden werden. Dieses tritt ein, wenn mit zu hohen Achslasten auf aufgeweichtem Boden gefahren wird. Eine Verringerung des Kontaktflächendrucks wird immer wichtiger, denn "Die Vergrößerung der Radaufstandsfläche hat bei gleicher Radlast die Verringerung des Kontaktflächendrucks zur Folge."³⁵ Ein altbewährtes Mittel stellen so genannte Gitter- oder Zwillingsreifen dar, aber auch die Breit- und Terra-Reifen sind eine gute Alternative. Die meisten Schlepper besitzen zwar heutzutage schon eine so genannte Reifendruckregelanlage, jedoch sollte bei sehr feuchten Böden trotzdem keine Befahrung der Flächen erfolgen. Auch während des Pflügens sollte der Schlepper außerhalb der Furche fahren (Onland-Pflügen) und es ist sinnvoll die Arbeitsgänge so weit es geht zusammenzulegen. Eine Kombination der Arbeitsgänge Grundbodenbearbeitung, Saatbettbereitung und Aussaat ist durchaus mit leistungsstarken Schleppern möglich, wünschenswert und auch kostengünstiger. Der Kraftstoffverbrauch der kombinierten Arbeitsgänge ist um 50 % geringer als bei getrennten Arbeitsgängen. Jede zusätzliche Befahrung der Flächen sollte vermieden werden. Deshalb eignen sich auch Schlepper mit Knickgelenken. Mit diesen ist es möglich, im so genannten Hundegang zu fahren. Dabei werden nicht nur Fahrspuren belastet, sondern die Gesamtlast wird annähernd auf die komplette Arbeitsfläche abgestützt. Sollte es doch einmal zu erheblichen Strukturschäden kommen ist eine Tiefenlockerung unvermeidbar.

³⁵ "Gute fachliche Praxis zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen und Bodenerosion" 2002, S. 25

Grobe Saatbettbereitung (A8)

Ein gröberes Saatbett hilft ebenfalls, den Erosionswiderstand von Böden zu erhöhen. Um die größeren Bodenpartikel zu transportieren, bedarf es einer höheren Transportkraft der Wassermassen.

Hang-, Flur- und Schlaggestaltung (A9)

Die Unterteilung von großen Schlägen führt auf der einen Seite zu unterschiedlichen Entwicklungsstadien und auf der anderen Seite zu verschiedenen Bodenbedeckungsgraden. Diese Untergliederung kann auf einfachem Weg durch unterschiedliche Bearbeitungsrichtungen erfolgen. Reicht dieses nicht aus, ist auch eine Anlage von Grünstreifen, Fanggräben oder anderen Barrieren empfehlenswert. Dieses würde zu einer Verminderung der erosionswirksamen Wassermenge, Verringerung der Fließgeschwindigkeit, Zurückhaltung der Sedimente und somit zum Erosionsschutz beitragen.

Kulturtechnische Schutzmaßnahmen (A10)

Eine Neuanlage von Gräben oder die Rekultivierung bestehender Gräben führt zu einem besseren Abfluss der Wassermassen und Abtransport in ein Fließgewässer oder einem örtlichen Hauptvorfluter. Die Bodenmelioration, durch zum Beispiel Anbau von tiefwurzelnenden Pflanzen, ist als kulturtechnische Maßnahme zu nennen. Durch das Anlegen von Gehölz-, Grün-, oder Blühstreifen wird zusätzlich die Biotopvernetzung unterstützt. Vielerorts wird diese immer mehr vernachlässigt. Ebenso wirken Gehölzstreifen winderosionshemmend, wenn sie quer zur Hauptwindrichtung und im richtigen Abstand gepflanzt werden.³⁶

3.4.2 Innenbereich

Neben den Maßnahmen des Außenbereichs sind auch in den Ortschaften Regelungen zu treffen. Eine sehr einfache aber auch wirksame Vorkehrung ist die Freihaltung und Pflege von allen Zuläufen für die Kanalisation. So werden Regenwasserrückstaus vermieden. Weiterhin sollte natürlich auch eine regelmäßige Kanalspülung erfolgen, damit Hindernisse im Kanal den Durchfluss nicht blockieren. Leider sind die meisten Kanalisationen für die Starkregenereignisse teilweise unterdimensioniert. Deshalb sollte für eine schadlose Ableitung, auch bei Überlastung, gesorgt werden.

³⁶ "Gute fachliche Praxis zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen und Bodenerosion" 2002, S. 57

Bei Neubauten kann eine Erhöhung der Hauseingänge erfolgen, um bei Überflutungen das Eindringen von Schlamm und Wasser zu reduzieren. Handelt es sich um Bestandsgebäude, können kleine Mauern als Gefahrenabwehr vor Kellerfenstern oder ganzen Grundstücken dienen. Allerdings muss beachtet werden, dass diese Maßnahmen nicht zum Nachteil von Nachbarn erfolgen dürfen. Zusätzlich angebrachte Einbauten in Kellerfenstern oder Hauseingängen können ebenfalls vor Wassereinbruch schützen. Laut dem DWA-Themenheft "Starkregen und urbane Sturzfluten - Praxisleitfaden zur Überflutungsvorsorge" sollen Kommunen schon während der Bauleitplanung für Schutz sorgen und gegebenenfalls in einem Risikogebiet auf die Ausweisung von Bauland verzichten. Die Einplanung von Retentionsflächen sollte ebenfalls bei der Bauleitplanung erfolgen. Grundsätzlich sollte auch auf unnötige Versiegelung der Fläche verzichtet werden. Die immer weiter zunehmende Versiegelung der Böden macht ein Versickern und Speichern des Niederschlags immer schwieriger. Die Zeiten mit andauernden Dürren werden vor allem in den Sommermonaten immer länger. Deswegen macht es Sinn, Rigolensysteme zu installieren. So wird das überschüssige Niederschlagswasser unterirdisch aufgefangen und kann nach und nach wieder abgegeben werden.

Eine auch gerne verwendete Maßnahme ist der Anbau von Kurzumtriebsplantagen. Sie können als Retentionsfläche oder Pufferfläche für zum Beispiel Fließgewässer dienen und bleiben gleichzeitig als Ackerland erhalten. Sie können sehr lukrativ wirtschaftlich genutzt werden.

Während die Wassererosion alle Bodenarten betrifft, findet Winderosion vor allem auf den sogenannten "leichten" Standorten statt. Dabei handelt es sich zum einen um sandige und schwach lehmige und zum anderen um lößartige Böden in den Trockenphasen. Neben der schleichenden Winderosion kommt es vereinzelt zu Staubstürmen. Diese stellen hauptsächlich eine erhöhte Gefahr für den Straßenverkehr dar. Um diesem Ereignis vorzubeugen, sind ausschließlich Maßnahmen in der Entstehungsfläche zu finden. Zum Beispiel das Anpflanzen eines Windschutzstreifens quer zur Hauptwindrichtung und etwa alle 250 Meter könnten schützend wirken.

3.5 Theoretische Grundlagen zur Risikoanalyse

3.5.1 Allgemeine Bodenabtrags-Gleichung

Die allgemeine Bodenabtrags-Gleichung ABAG beschreibt in relativ einfacher Art und Weise die Beziehungen zwischen dem Bodenabtrag und korrelativ ermittelten Klima-, Boden-, Relief- und Nutzungsfaktoren. Sie ist an die mitteleuropäischen Verhältnisse angepasst und stammt ursprünglich von der Universal Soil Loss Equation (USLE) ab. Jeder Einzelfaktor zeigt schon eine eindeutige Einflussgröße auf das Gesamtergebnis.

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$$

- A...mittlerer, jährlicher Bodenabtrag [$\text{t x ha}^{-1} \times \text{Jahr}^{-1}$]
- R...Regen- und Oberflächenabflussfaktor
- K...Bodenerodierbarkeitsfaktor
- LS...Relieffaktor (Hanglänge und Hangneigung)
- C...Bedeckungs- und Bearbeitungsfaktor
- P...Erosionsschutzfaktor

R-Faktor

Der R-Faktor ist das Maß der gebietspezifischen Wirksamkeit der Niederschläge. Die Niederschlagshöhe wird meist angegeben in Millimeter pro Jahr [mm/a], pro Tag [mm/Tag] oder einer anderen Zeitspanne. Ein Millimeter bedeutet einen Niederschlag von einem Liter Wasser pro Quadratmeter. Ausgangsgrundlage ist, dass mit zunehmender Niederschlagsintensität und somit auch der kinetischen Energie die erosive Wirkung des Niederschlages zu nimmt. Erst bei der Überschreitung einer bestimmten Niederschlagsmenge kommt es überhaupt zu Bodenerosion. Diese Menge wird im optimalsten Fall für jedes Untersuchungsgebiet separat bestimmt. Die deutschlandweiten Regressionsgleichungen wurden durch länderspezifische Gleichungen konkretisiert.

K-Faktor

Der Bodenfaktor K beschreibt die Erodierbarkeit des Oberbodens. Er wird anhand der Bodenschätzung ermittelt. Berücksichtigung finden die Bodenart, die Entstehung und die Zustandsstufe des Bodens. Unterschieden wird zwischen Grünland und Ackerland. Da die Grünlandschätzung sehr grob eingeteilt ist, sollten benachbarte Ackerflächen mit ähnlicher

Bodenart herangezogen werden. Eine typische Beschreibung des Bodens ist zum Beispiel L 3 LÖ 74/72. Der erste Buchstabe gibt Informationen zu der Bodenart.

S	=	Sand
Sl	=	Schwach lehmiger Sand
IS	=	Lehmiger Sand
SL	=	Stark lehmiger Sand
sL	=	Sandiger Lehm
L	=	Lehm
LT	=	Schwerer Lehm oder toniger Lehm
T	=	Ton
Mo	=	Moor

Die erste Zahl beschreibt die Zustandsstufe, welche die Ertragsfähigkeit einer bestimmten Bodenart kennzeichnet. "Die Bodenarten des Ackerlandes werden in 7 Zustandsstufen (1-7), die des Grünlandes in 3 Zustandsstufen (I-III) eingeteilt."³⁷ Die erste Zustandsstufe besitzt die höchste Ertragsfähigkeit und ist durch eine tiefe humusreiche Krume und einen humus- und kalkhaltigen Untergrund gekennzeichnet. Er lässt eine ausgezeichnete Durchwurzelung zu. Die Güte des Bodens nimmt mit zunehmender Zustandsstufe ab. Die letzte Stufe (sieben) besitzt die geringste Ertragsfähigkeit. Diese Stufe bekommen fast ausschließlich Heiden und Waldböden. Hier ist kaum noch Durchwurzelung möglich. Die Krume ist sehr schwach und der Untergrund ist biologisch vollkommen tot.

Der nächste Buchstabe gibt Aufschluss über die Entstehung des Bodens. Bei Ackerland wird unterschieden zwischen:

D	=	Diluvium	Eiszeit, Anschwemmungen und Gletscherablagerungen
Lö	=	Löß	Zwischeneiszeit, Windanwehungen, wertvollste Böden
Al	=	Alluvium	Junge Schwemmlandböden in den Talniederungen
V	=	Verwitterungsböden	Verwitterung der anstehenden Gesteine an Ort und Stelle, Gebirgsböden
Vg	=	Gesteinhaltige Verwitterungsböden	Grobes Material in der Krume, schwere Bewirtschaftung

³⁷ Bayrisches Landesamt für Steuern 2009, S. 3

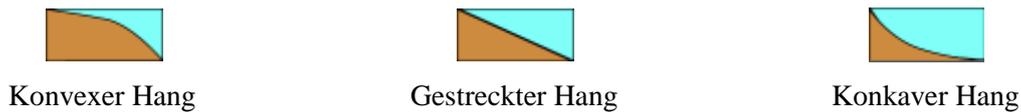
Zur Bestimmung der Ertragsfähigkeit von Grünland werden die Wasserstufen verwendet. Diese reichen von eins bis fünf. Die erste Stufe ist das beste Wasserverhältnis, welches für ein sehr gutes Wiesenwachstum sorgt. Grünland der letzten Stufe hingegen ist so gut wie nicht nutzbar. Hier herrschen entweder sehr nasse (Sumpfwiesen) oder sehr trockene Verhältnisse (Schafhütung). Für Grasland werden noch die klimatischen Verhältnisse angegeben. Sie reichen von a für Weinbauklima, über b für Gebiete mit einer Jahrestemperatur zwischen sieben und acht Grad Celsius und c für die Mittelgebirgslagen, bis d für die Hochgebirgslagen der Alpen. Wohl wichtigstes Klassenzeichen sind die Wertzahlen. Höchste zu erreichende Zahl ist hier die 100. Sie beschreiben das prozentuale Ertragsverhältnis zum besten Boden und werden Bodenzahl (Acker) und Grünlandgrundzahl (Grünland) genannt. Durch Ab- und Zuschläge von anderen Faktoren werden die Acker- oder Grünlandzahlen als reale Ertragsfähigkeit berechnet.

C-Faktor

Der C-Faktor als Grad der Vegetationsbedeckung hat einen wesentlichen Einfluss auf die Erosionsgefährdung. Dieser Wert liegt immer zwischen null (dichter Grünlandbewuchs) und eins (Schwarzbrache). Beeinflussende Faktoren sind die Fruchtarten, Zwischenfrüchte oder Untersaaten und die Bodenbearbeitung. Besonders der Mais mit anschließendem Pflugeinsatz ist sehr erosionsgefährdet. Der relativ hohe Reihenabstand schützt den Boden nur gering vor Wassererosion.

S- und L-Faktor

Die Hangneigung S und Hanglänge L sind weitere Bestandteile der ABAG. Als erstes muss der zu untersuchende Hang in seiner Ausdehnung bestimmt werden. Früher wurden vorwiegend nur Standardlängen von 100 oder 250 Meter verwendet. Mittlerweile wird optional die reale Hanglänge mit eingebunden. Je länger und steiler der erosionswirksame Hang ist, desto höher wird der LS-Faktor. Hier werden nicht Flurstücksgrenzen als Abgrenzung gewählt, sondern örtliche Strukturen wie Gräben, Wege oder Furchen. Diese führen Oberflächenwasser ab und wirken erosionshemmend. Auch für die entsprechenden Hangneigungen wurden S-Faktoren festgelegt. Mit zunehmender Neigung steigen die Fließgeschwindigkeit des abfließenden Wassers und somit die erosive Wirkung. Hänge können in drei verschiedene Formen unterteilt werden. Zum einen der gestreckte Hang mit seinem geradlinigen Verlauf. Auf der anderen Seite der konkave und konvexe Hang.



Bei einem konkaven Hang, welcher nach unten immer flacher wird, wird der S-Faktor mit dem Wert 0,8 multipliziert. Bei konvexen, immer steiler werdenden Hängen sogar mit dem Wert 1,2. Nimmt die Neigung des Hangs nach unten hin ab, entsteht oft dort ein Ablagerungsbereich, da die Fließgeschwindigkeit des Wasser abnimmt und somit große Mengen an Sediment in der Tiefenlinie akkumulieren.

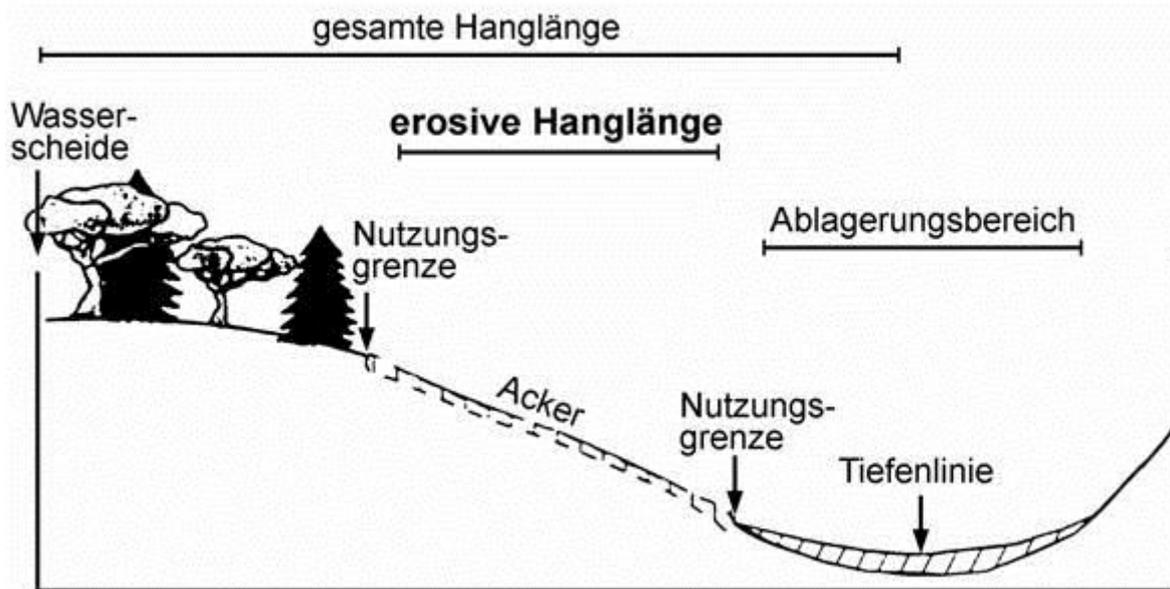


Abbildung 40: Hangaufteilung.³⁸

P-Faktor

Der letzte Faktor, welcher zur Berechnung der ABAG benötigt wird ist der P-Faktor. Er wird als Erosionsschutzfaktor oder Querbearbeitungsfaktor bezeichnet. Ist die Bearbeitung eines Schlages quer zur Gefällerrichtung, wird das abfließende Wasser bei nicht zu großer Hanglänge gebremst. Wird dieser Wert überschritten, dann wird für C der Wert eins eingetragen.

Nachdem man nun den aktuellen Bodenabtrag von einem Hang ermittelt hat, stellt sich die Frage, ob dieses den maximal tolerierbaren Abtrag überschreitet. Diese Obergrenze ist Abhängig von der Bodenzahl und wird mit der Formel: $A_t = \frac{\text{Bodenzahl}}{8}$ berechnet. In Sachsen-Anhalt werden Werte über sieben Tonnen pro Hektar im Jahr generell als nicht tolerierbar

³⁸ Umweltbundesamt 2011; S. 48

betrachtet (oberer Schwellwert). Prinzipiell lässt sich ein Bodenabtrag auf landwirtschaftlichen Flächen nicht vermeiden. Liegt der berechnete Bodenabtrag unter dem maximal tolerierbaren Abtrag, ist es nicht zwingend erforderlich weitere Schutzmaßnahmen zur Bodenerosion vorzunehmen und befindet sich im Ermessen des Landwirtes. Wird allerdings der maximal tolerierbare Abtrag überschritten, wird dringend empfohlen Maßnahmen gegen weitere Bodenerosion vorzunehmen. Es liegt ja auch im Interesse des Landwirtes, seinen Boden, als Basis für seine Ertragshöhe, mit seiner Fruchtbarkeit zu erhalten. Nur so kann ein Fortbestehen seines Ertrages gewährleistet werden.

Schwachstelle der ABAG ist laut der Bayrischen Landesanstalt für Landwirtschaft eine Unterschätzung der "[...]Erosionsgefährdung dort, wo in Tiefenlinien gebündelter Abfluss Rinnen- oder Grabenerosion verursacht. Gleiches gilt für sehr lange aber nur gering geneigte Hänge, die aber doch ein Zusammenfließen des Oberflächenabflusses erlauben."³⁹

3.5.2 Oberflächenabfluss nach dem Standard-CN-Verfahren

Als zweites Verfahren findet das CN- oder Curve-Number-Verfahren Anwendung. Es dient der Modellierung der abflusswirksamen Anteile eines Niederschlagsereignisses auf Basis gebietsspezifischer Parameter, wie Landnutzung, Landbearbeitung, Bodenart und Fruchtgehalt. Entwickelt wurde es von der US Soil Conservation Service in den fünfziger Jahren auf Grundlage empirischer Analysen für kleine natürliche Einzugsgebiete. Die Untersuchungen fanden auf landwirtschaftlich genutzten Flächen über einen Zeitraum von 20 Jahren statt. Ergebnis ist ein Maß für das Wasserspeichervermögen für verschiedene Bodentypen. Der CN-Wert liegt zwischen null und 100. Ist der Wert klein, besitzt der Boden ein hohes Infiltrationsvermögen. Je weiter sich der Wert an 100 annähert, desto weniger Wasser kann der Boden aufnehmen. Wird der Wert 100 erreicht, kommt es zu einem fast vollständigen Gesamtabfluss des Niederschlagswassers. Die Formeln für diese Berechnungen entstammen alle dem Buch "Hydrologie und Wasserwirtschaft" von U. Maniak.

Die Böden werden anhand ihrer Infiltrationswerte (k_f -Werte in Zentimeter pro Tag [cm/d]) in vier hydrologische Bodentypen unterteilt. So kann in einem vereinfachten Verfahren jedem Bodentyp mit einer dazugehörigen Bodennutzung ein CN-Wert zugeordnet werden. Der k_f -Wert beschreibt, wie weit ein Wassermolekül in einem Tag in den Boden versickert. Er stellt die Infiltrationsgeschwindigkeit des Wassers in einen spezifischen Boden dar.

³⁹ "Bodenerosion - Wie stark ist die Bodenerosion auf meinen Feldern?" 2013, S. 3

Gruppe	Bodenart	Bodeneigenschaften	k _f (cm/d)
A	Tiefgründige Sand- und Kiesböden, tiefgründige Lehme und aggregierte Schluffböden.	Hohe Infiltrationsraten auch bei gründlicher Durchfeutung, hoher k _f .	>18
B	Flachgründige Lößböden und sandige Lehme.	Mäßige Infiltrationsraten mit mäßigen k _f .	≤ 18 bis > 9
C	Böden mit mäßig feiner bis feiner Textur (tL), flachgründige sL, hoher Gehalt an organischem Material, hoher Tongehalt. Böden mit Stauschichten	Geringe Infiltrationsraten und geriner k _f .	≤ 9 bis > 3
D	Böden die quellen, Tone, sowie einige Salzböden und Böden mit permanent hohem Grundwasserspiegel.	Sehr geringe Infiltrationsraten, sehr geringer k _f .	≤ 3

Tabelle 1: Zuordnungstabelle für die Bodengruppe nach k_f-Wert.

Landnutzungsszenario	Zugeordnete Kategorie	CN für Bodengruppe			
		A	B	C	D
Wald	Wald, dicht	25	55	70	77
Grünland	Dauerwiese	30	58	71	78
Ackernutzung	Getreide, herkömmlich	64	76	84	88
Siedlung	Wirtschaftshöfe	59	74	82	86

Tabelle 2: Auszug der CN-Werte in Abhängigkeit von Bodengruppe und Nutzung für Bodenfeuchteklasse II.

Alternativ kann auch mittels einer Formel anhand verschiedener Kriterien der zugehörige CN-Wert berechnet werden. Hier gibt es verschieden Ansätze, welche Kriterien berücksichtigt werden und welche gegebenenfalls vernachlässigt werden sollen. So kann man zum Beispiel von einer vegetationslosen Ausgangssituation ausgehen, um damit den ungünstigsten Fall zu simulieren oder man entscheidet sich für eine Berücksichtigung der Vegetation und versucht somit eine vegetationsbedeckte Analyse durchzuführen. Weiterhin können Faktoren wie die Hangneigung mit einfließen oder eine Berechnung der tatsächlichen Hanglänge erfolgen. Meist werden jedoch Standardwerte für die Hanglänge verwendet.

Entscheidend für die Berechnung des Infiltrationsvermögens ist neben der Bodenbeschaffenheit auch die Vorfeuchte, also die Bodenfeuchteklasse. Sie wird aus den gemessenen Niederschlägen der letzten fünf Tage und der aktuellen Vegetationsperiode abgeleitet.

Niederschlag der vorangegangenen 5 Tage [mm]		
Bodenfeuchteklasse	Vegetationsperiode	Vegetationslose Periode
I	< 30	< 15
II	30 bis 50	15 bis 30
III	> 50	> 30

Tabelle 3: Ableitung der Bodenfeuchteklasse.

Ausgangsgröße ist immer die Bodenfeuchteklasse II. Sie entspricht einer mehr als durchschnittlichen, aber nicht extrem hohen Bodenfeuchte. Eine Umrechnung in die Bodenfeuchteklasse I sollte erfolgen, wenn es während der Vegetationszeit zu weniger als 30 mm Niederschlag und weniger als 15 mm Niederschlag außerhalb dieser kam. Bei Regenmengen von über 30 mm in der vegetationslosen Periode und über 50 mm in der Vegetationsperiode sollte hingegen die Bodenfeuchteklasse III verwendet werden. Die Umrechnung zwischen den Bodenfeuchteklassen erfolgte nach folgenden Formeln aus dem Maniak 2010 auf der Seite 303.

$$CN_I = \frac{CN_{II}}{2,334 - 0,01334 \cdot CN_{II}}$$

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0,4036 - 0,0059 \cdot CN_{II}}$$

Die CN-Werte lassen sich für unbewachsene Böden und unter Berücksichtigung der Nutzung in folgende Klassen untergliedern.

CN-Werte unbewachsener Boden (CNunbew)	Klasse (CNunbew_K)	CN-Werte des Bodens unter Berücksichtigung der Nutzung (CNnutz)	Klasse (CNnutz_K)	verbal
80 - 82	5	38 - 49	5	Sehr hoch
83 - 86	4	50 - 62	4	Hoch
87 - 89	3	63 - 72	3	Mittel
90 - 91	2	73 - 78	2	Gering
≥ 92	1	≥ 79	1	Sehr gering

Tabelle 4: Klassifizierung der CN-Werte.

Der Niederschlag, welcher auf der Erdoberfläche aufkommt, lässt sich untergliedern in effektiven Niederschlag und die Verluste aus Verdunstung und Versickerung. Ein Teil des Niederschlags verdunstet auf der Erdoberfläche und ein anderer Teil versickert und fließt dem Grundwasser zu. Der übrige Teil nennt sich Direktabfluss. Dieser unterteilt sich noch einmal in Oberflächenabfluss und Zwischenabfluss. Zwischenabfluss ist die Menge des

Niederschlag, welcher als Speicherterm in verzögerter Form später teilweise doch noch abfließt. Ziel der Analyse ist es, den abflusswirksamen Niederschlag in vereinfachter Form zu berechnen. Wichtig ist zu beachten, dass es nur dann zu einem Abfluss kommt, wenn der Niederschlag höher ist als der Anfangsverlust. Nachfolgend werden die grundlegenden Formeln zur Berechnung der abflusswirksamen Bestandteile des Niederschlages dargestellt.

$$N_{eff} = \frac{(N - I_a)^2}{(N - I_a) + S} \quad \text{für } N > I_a$$

$$S = 25,4 \cdot \left[\frac{1000}{CN} - 10 \right]$$

$$I_a = a \cdot S$$

- N_{eff} ...Abfluss [mm]
- N ...Niederschlag [mm]
- S ...maximaler Gebietsrückhalt des Einzugsgebietes [mm]
- CN ...Curve Number (berücksichtigt Bodencharakteristika und Vegetation)
- I_a ...Anfangsverlust [mm]
- a ...Anfangsverlust der möglichen Versickerung, meist 20 %, MANIAK (2005) empfiehlt für mitteleuropäische Verhältnisse einen Anfangsverlust von 5 % des maximalen Gebietsrückhaltes

Sind alle CN-Werte für das Wassereinzugsgebiet berechnet, hat man die Abflusswerte jeder Fläche in einem bestimmten Raster. Da meistens mit der Einheit Millimeter für den Niederschlag gerechnet wird, beziehen sich die effektiven Abflüsse auf eine Fläche von einem mal einem Meter (einem Quadratmeter). Interessant ist allerdings die Summe der effektiven Niederschlagswerte für ein Einzeleinzugsgebiet. Dafür werden mit dem Programm ArcGIS der Firma ESRI Wassereinzugsgebiete für Hotspots berechnet. Hotspots sind kritische Übertritts-Punkte des Oberflächenwassers. Kumuliert man nun alle effektiven Niederschläge für ein Wassereinzugsgebiet, so erhält man die Wassermenge, welche im Laufe des Niederschlagsereignisses an diesem Hotspot zusammen fließt. Neben dieser Gesamtsumme, welche einen guten Eindruck von den Wassermassen gibt, ist vor allem der Scheitelabfluss von Bedeutung für Aussagen zur Risikoanalyse. "Der maximale Scheitelabfluss stellt sich ein,

wenn die Regendauer der längsten Fließzeit im Gebiet (= Konzentrationszeit t_c) gleicht."⁴⁰ Das bedeutet, dass der Scheitelabfluss, also der Zeitpunkt mit der höchsten Abflusskonzentration am Gebietsauslass, zu dem Zeitpunkt eintritt, wenn der erste Niederschlag vom Gebietsrand am Gebietsauslass eintritt. Diese Zeitspanne nennt sich Konzentrationszeit. Der Zeitpunkt ist maßgeblich von der Länge des Hauptvorfluters, also der Gebietslänge, und dem durchschnittlichen Gefälle abhängig. Hierbei wird von einem Blockregen ausgegangen. Doch dieser sorgt nicht unbedingt für den größten Scheitelabfluss. Kritischster Intensitätsverlauf ist gegeben, wenn die Niederschlagsintensität etwa umgekehrt zur Einheitsganglinie verläuft. Dieses ist die Funktion, welche als Impulsantwort eines Gebietes auf eine kurz andauernde Belastung der Größe eins beschrieben wird. Weitere Eingangsgröße ist der Niederschlag für ein Einzelereignis. Werte für n-jährliche Regen können dem KOSTRA für Deutschland entnommen werden. In Abhängigkeit von Niederschlagsdauer (5 Minuten bis 72 Stunden) und Jährlichkeit (0,5 Jahre bis 100 Jahre) werden extremwetterstatistische Niederschlagshöhen aus dem Basiszeitraum 1951-2000 dargestellt. Natürlich fließen neue Erkenntnisse und methodische Verbesserungen mit ein.

Jede Ganglinie u_i des direkten Abflusses Q_D wird gebildet, indem aus Einzelwellen je Intervall des effektiven Niederschlags I_{wi} folgende Gleichung gelöst wird.⁴¹

$$Q_{Di} = u_i I_{w3} + u_2 I_{wi-1} + \dots + u_i I_{w1}$$

So setzt sich ein Niederschlagsereignis aus k Intervallen der Breite Δt mit den k Intensitäten $I_{wi}(i=1, 2, \dots, k)$ zusammen. Besteht der Niederschlag nur aus einem Blockregen und einem Zeitintervall, vereinfacht sich die Gleichung für die Ganglinie u_i zu:

$$u_i(t) = \frac{Q_{Di}}{I_w} \quad \text{in } \frac{m^3}{s} \cdot mm$$

Für kleine Einzugsgebiete bis acht Quadratkilometer wurde für den SCS-Ansatz eine Generalisierung vorgenommen. "Kenngrößen dieser synthetischen Einheitsganglinie sind die Anstiegszeit t_A der Einheitsganglinie und ihre Form in dimensionsloser, auf den Scheitel bezogener Form. Der Scheitel Q_{max} einer Ganglinie berechnet sich aus:

$$Q_{max} = u_{max} \cdot A_{Eo} \cdot N_{eff}/3,6 \quad \text{in } \frac{m^3}{s}$$

⁴⁰ Maniak 2010, S. 317

⁴¹ Maniak 2010, S. 308

$$u_{max} = \frac{0,75}{t_A} \quad \text{in } \frac{1}{h}$$

$$t_A = t_L + \frac{\Delta t}{2} \quad \text{in } h$$

- u ...Ordinate der Einheitsganglinie in 1/h
- Δt ...Zeitintervall der Einheitsganglinie in h
- t_B ...Basisbreite der Ganglinie (Fußbreite) in h, $t_B = 2,67 \cdot t_A$ in h
- A_{Eo} ...Einzugsgebietsgröße in km^2
- N_{eff} ...effektiver Niederschlag in mm
- Q_S ...Scheitelabfluss der Einheitsganglinie in m^3/s zum Zeitpunkt T_{max} ; $Q_S = Q_{max}$ ⁴²

Nach dem SCS-Verfahren berechnet sich die Verzögerungszeit t_L , welches die Zeitspanne zwischen Schwerpunkt des effektiven Niederschlags und dem Scheitel wie folgt nach:

$$t_L = \frac{L \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0,7}}{2,924 \cdot J^{0,5}}$$

- t_L ...Zeit vom Schwerpunkt des effektiven Niederschlags bis zum Scheitelabfluss (Verzögerungszeit) in h
- L ...Länge von der Gebietsgrenze bis zum Gebietsauslass längs des Hauptvorfluters [m]
- J ...Geländegefälle über L in %
- CN ...Kurvennummer (Curve Number)

Meistens wird die Anstiegszeit $t_A = \frac{2}{3} \cdot t_c$ gesetzt. Somit erhält man den maximalen Abfluss am Gebietsauslass in Kubikmeter Wasser pro Sekunde um gegebenenfalls nachfolgende Kanalsysteme richtig dimensionieren zu können.

⁴² Maniak 2010, S. 324

4 Anwendungsbeispiel einer Risikoanalyse zu Wassererosion und Sturzfluten

Im nachfolgenden Kapitel werden die theoretischen Grundlagen in einem Beispielgebiet angewendet. Ziel ist es, Gefahrenpunkte zu erkennen und gegebenenfalls mögliche Maßnahmen zur Gefahrenminimierung zu erarbeiten.

4.1 Allgemeines und Abgrenzung des Gebietes

Das Untersuchungsgebiet liegt in einer Region im südwestlichen Teil Sachsen-Anhalts, dem Mansfelder Land. Es enthält im Westen und Nordwesten die östlichen Ausläufer des Harzes und grenzt im Osten an die Saale. Prägnante Städte, welche das Gebiet abgrenzen, sind Eisleben, Hettstedt, Sangerhausen und Mansfeld. Seit der Kreisgebietsreform 2007 gehört das Mansfelder Land zum Landkreis Mansfeld-Südharz. So ist es etwa heute noch ähnlich der ehemaligen Grafschaft Mansfeld, welche Namensgeber der Region war.

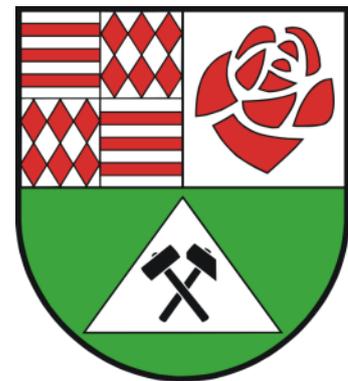


Abbildung 41: Wappen des Landkreises Mansfeld-Südharz. (mansfeldsuedharz.de; Zugriff: 09.2014)

Erscheinungsbild ist eine sanfte Berg- und Hügellandschaft mit kleineren Höhenzügen. Als letztes "Blaues Auge des Mansfelder Landes" ist der große Binnensee "Süßer See" zu nennen. Sehr markant sind die durch Menschenhand geschaffenen "Pyramiden des Mansfelder Landes". Sie gehören mit zu den Hinterlassenschaften der vergangenen 800 jährigen Bergbautätigkeiten. So entstanden schon ab dem Mittelalter mehr als 1000 Kleinhalden. Einige von ihnen stehen heute sogar unter Schutz. Seit dem 20. Jahrhundert werden riesige bis zu 153 Meter hohe Spitzkegelhalden aufgeschüttet. Heute werden die Spitzkegelhalden, welche eine grobe Vorstellung vermitteln, wie stark diese Region unterhöhlt ist, als touristische Attraktion genutzt. An ausgewählten Tagen im Jahr dürfen einige wenige erklommen werden. Die so genannten Haldenaufstiege finden immer unter Aufsicht statt, da die riesigen Pyramiden lose aufgeschüttet sind und deshalb jederzeit in Bewegung geraten können. Um diese Bergbautätigkeiten durchzuführen, wurde massiv in den unterirdischen Wasserhaushalt eingegriffen. Infolgedessen verschwand der riesige Salzige See von der Landkarte.



Abbildung 42: Haldenaufstiege im Mansfelder Land.⁴³

In der Zeit der DDR (Deutsche Demokratische Republik, 1949-1990) gehörte das Gebiet mit zu dem "VEB Mansfeld Kombinat Wilhelm Pieck" mit etwa 40.000 Beschäftigten und war Bestandteil des bedeutendsten Ballungszentrums der DDR. Kupferschieferbergbau, Metallurgie und die Verhüttung des Kupfers waren wirtschaftliche Schwerpunkte. Nach der Stilllegung der Berg- und Hüttenwerke ist das monostrukturierte Gebiet in eine tiefe wirtschaftliche Krise gefallen, welche es trotz der Sanierungen bis heute nicht überwunden hat.

Touristisch gesehen hat es mit dem Naherholungsgebiet Süßer See, dem Harzvorland und den Luthergedenkstätten gute Voraussetzungen. So hat die Stadt Eisleben mit dem Geburts- und Sterbehaus Martin Luthers mittlerweile den Beinamen Lutherstadt erhalten. Beide bedeutende Häuser gehören heute zu dem Weltkulturerbe der UNESCO.



Abbildung 43: Martin Luthers Geburtshaus in Eisleben. (wikipedia.de; Zugriff: 09.2014)

⁴³ www.harzlife.de/event/haldenaufstiege.html, Zugriff: 09.2014

Die Landwirtschaft spielt in dem vom Bergbau gekennzeichneten Landkreis Mansfeld-Südharz eine vor allem in der Osthälfte (Mansfelder Platte) eine größere Rolle. Ein Hauptteil der 58,3 % Landwirtschaftsfläche (65.400 Hektar) ist im östlichen Teil des Landes zu finden. Damit befindet es sich in etwa im Landesdurchschnitt von 61,5 %. Wichtigste Anbaufrucht sind Getreidearten mit einer Fläche von etwa 40.000 Hektar [ha]. Größten Anteil besitzt der Weizen, welcher alleine auf einer Fläche von fast 30.000 Hektar angebaut wird. 14.500 Hektar werden für den Anbau von Handelsgewächsen (hauptsächlich Winterraps) verwendet.

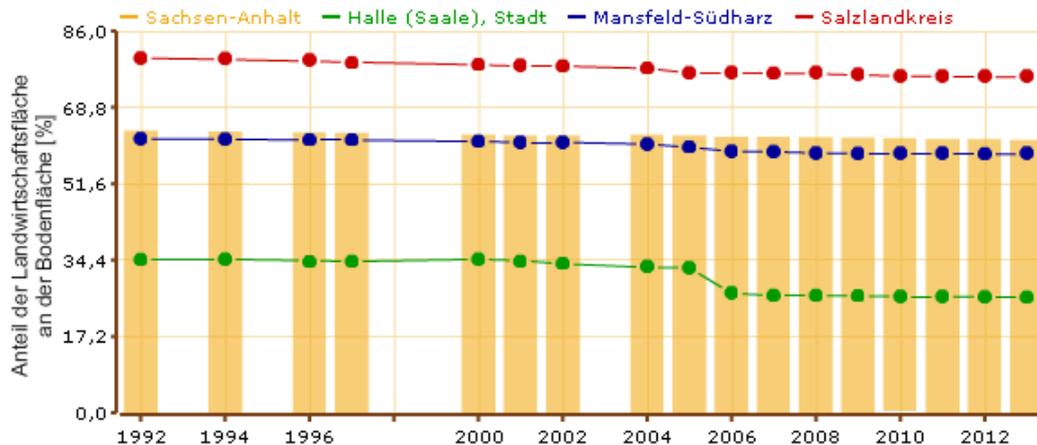


Abbildung 44: Anteil der Landwirtschaftsfläche an der Bodenfläche [%].⁴⁴

Insgesamt ist das Gebiet weitestgehend durch Industriebrachen und Bergbau ruinen gekennzeichnet, wodurch eine ackerbauliche Nutzung teilweise nur erschwert möglich ist. Die letzten fünf Schächte der Mansfelder Mulde haben ihre Förderung 1969 eingestellt. Dieses war eine wichtige Veränderung in der Industriestruktur. Auf den Gebieten der Harzausläufer ist vorwiegend Wald und Gelände mit zu hohen Neigungen zu finden. Diese sind für Landwirtschaftsflächen meist ungeeignet. Hier ist das nördlichste Weinanbaugebiet Deutschlands zwischen Wormsleben und Seeburg und einige Obstanbaugebiete zu finden.

Das Untersuchungsgebiet befindet sich südwestlich von Eisleben, um die Orte Schmalzerode und Bornstedt. Das Untersuchungsgebiet besitzt eine Ausdehnung von etwa 2,3 Kilometer in Nord-Süd Richtung und 2,5 Kilometer in Ost-West Richtung. Insgesamt wurde eine Fläche von 255 Hektar auf erosionswirksame Faktoren analysiert.

⁴⁴ Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt (Zugriff 09.2014)

4.2 Erfassung der erosionswirksamen Faktoren

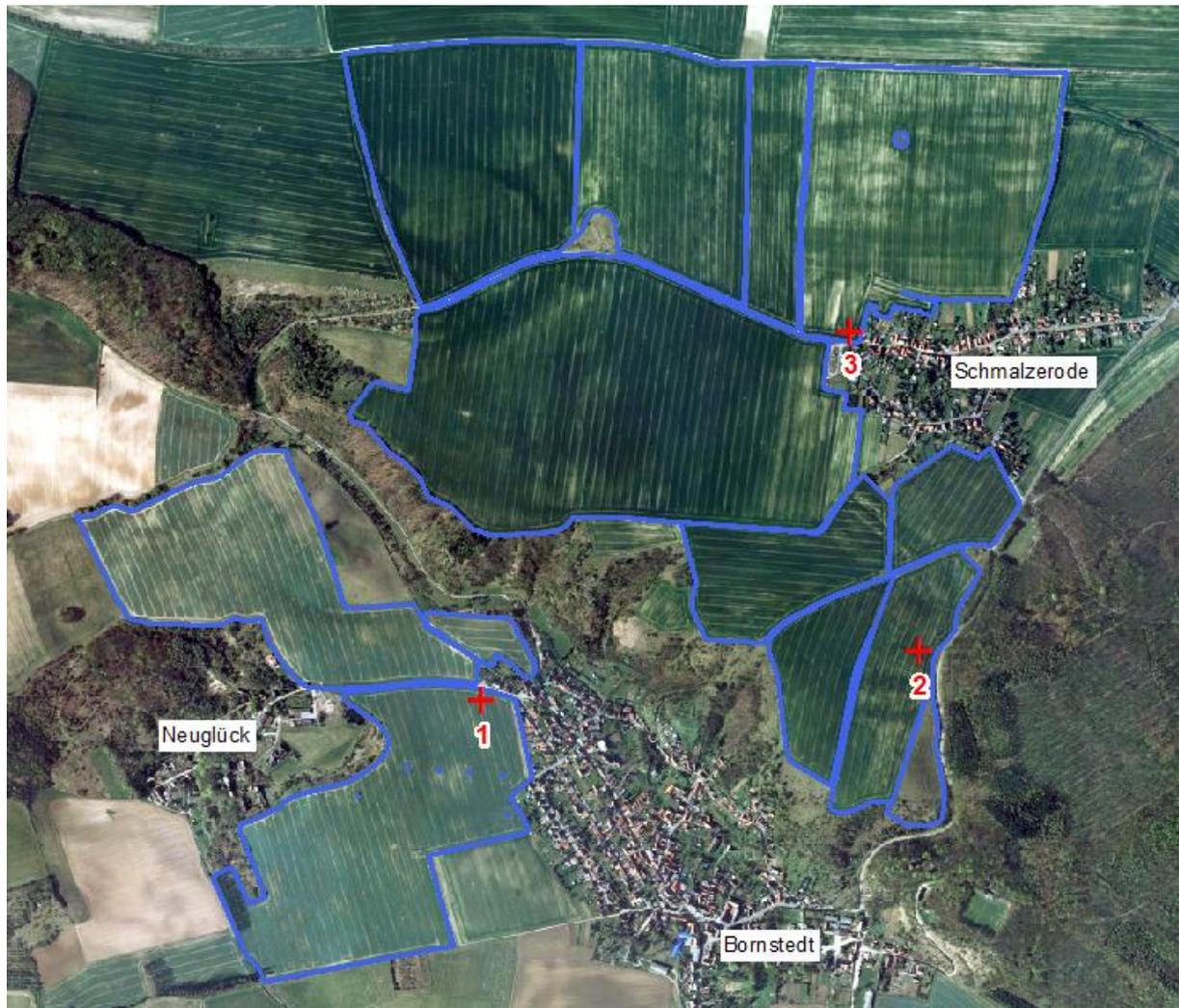


Abbildung 45: Übersicht der zu untersuchenden Flächen mit Hotspots.

Bei den drei Hotspots handelt es sich um kritische Punkte, welche der Landwirt beim Vor-Ort-Gespräch angesprochen hat. Im Fall von Starkregenereignissen kommt es an diesen Stellen vermehrt zu lokalen Überflutungen und besonders beim Hotspot zwei wird die vorbei führende Straße mit Schlammmassen überschwemmt. Diese stellen eine erhebliche Gefahr für den Straßenverkehr dar. Sie werden im Laufe der Arbeit genauer untersucht, um gegebenenfalls Lösungsmöglichkeiten zu finden.

Allgemeine Faktoren

Erster Schritt war die Berechnung der Wassereinzugsgebiete für die Hotspots. Dieses wurde mit dem Programm ArcGIS der Firma ESRI durchgeführt. Das verwendete Tool nennt sich "Wassereinzugsgebiet" unter der Erweiterung "Spatial Analyst Tools" und dem Toolset "Hydrologie". Benötigt wurde für diese Berechnung nur das DGM, welches mir in einer

Auflösung von 5 x 5 Metern zur Verfügung stand. Dieses wurde vorher mit dem Tool "Fließrichtung" zu einem Fließrichtungsraster umgewandelt. Es zeigt die Fließrichtung aus jeder Zelle an. Ist die Fließrichtung bekannt, kann für einen Punkt in dem Raster das Wassereinzugsgebiet berechnet werden. Da für die Analyse nur landwirtschaftliche Flächen betrachtet werden, war es das Ziel der Wassereinzugsgebietsberechnung, die betroffenen Schläge zu bestimmen.

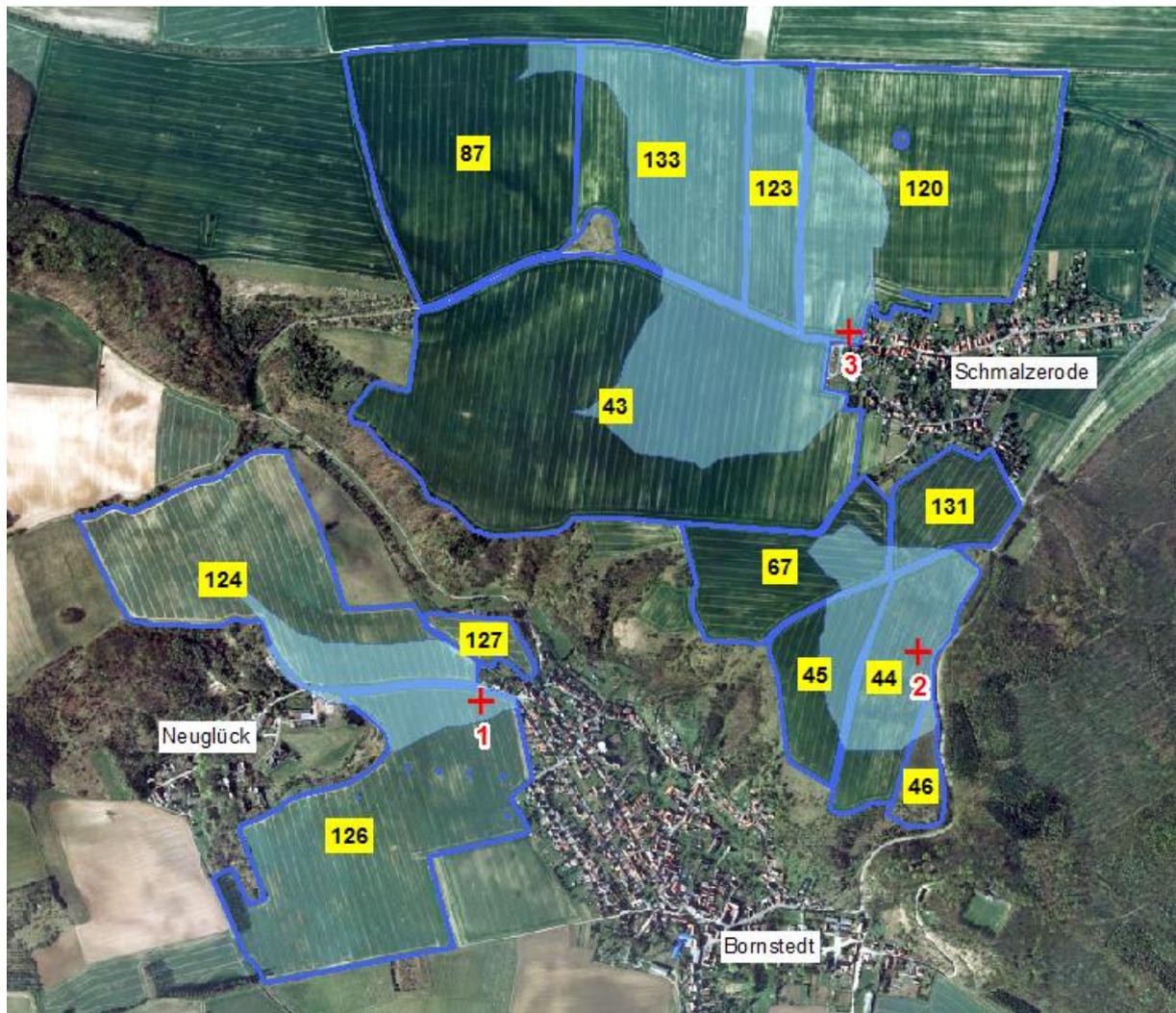


Abbildung 46: Betroffene Schläge mit Schlagnummer und Wassereinzugsgebiete.

ABAG-Faktoren

Für die Berechnungen der ABAG werden bodenkundliche Informationen benötigt, um den **K-Faktor** zu ermitteln. Diese Daten wurden vom Landesamt für Geologie und Bergwesen in Form von Klassenflächen als Shape-Datei zur Verfügung gestellt. Nun wurde für jeden Schlag eine maximale **Toleranzgrenze** für die Bodenerosion berechnet, indem die Bodenzahl durch acht geteilt wird. Kappungsgrenze ist allerdings sieben Tonnen pro Hektar und Jahr.

4 Anwendungsbeispiel einer Risikoanalyse zu Wassererosion und Sturzfluten

Der **Regenfaktor R** liegt in dieser Region etwa bei 480 bis 540 mm pro Jahr. Die meisten Bodenarten sind Lehm Böden, welche Niederschlagswasser gut speichern. Außerdem gibt es vereinzelt noch lehmigen Sand, tonigen Lehm, stark lehmigen Sand und sandigen Lehm.

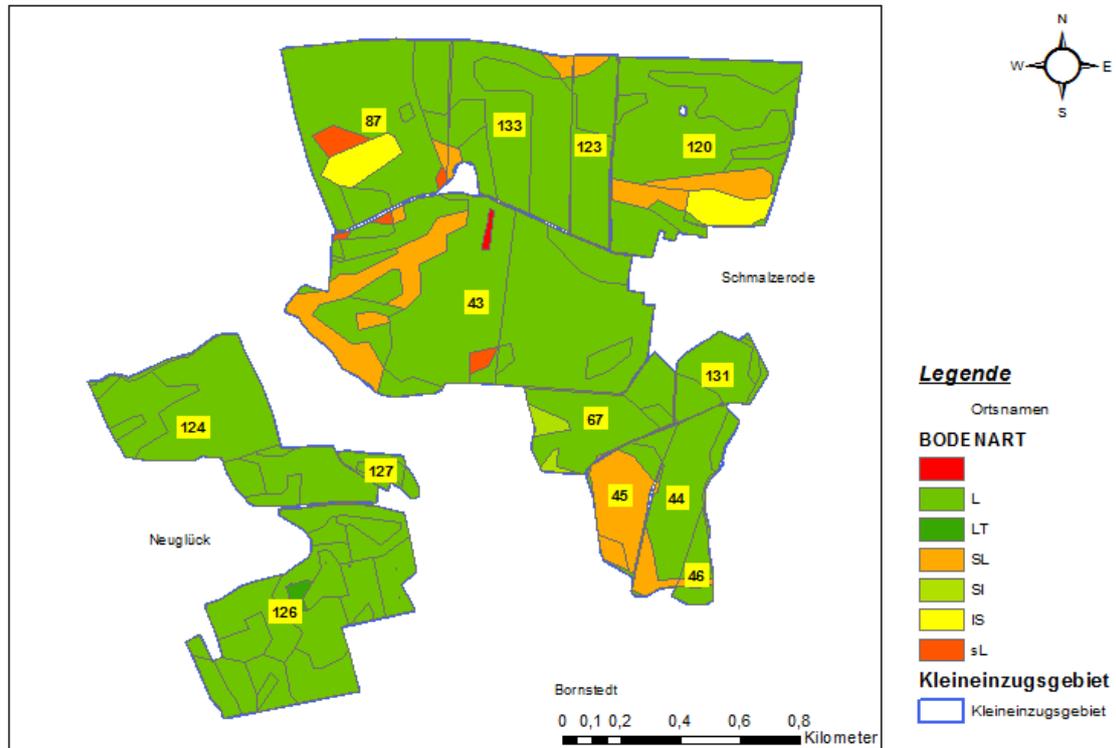


Abbildung 47: Bodenarten des Untersuchungsgebietes.

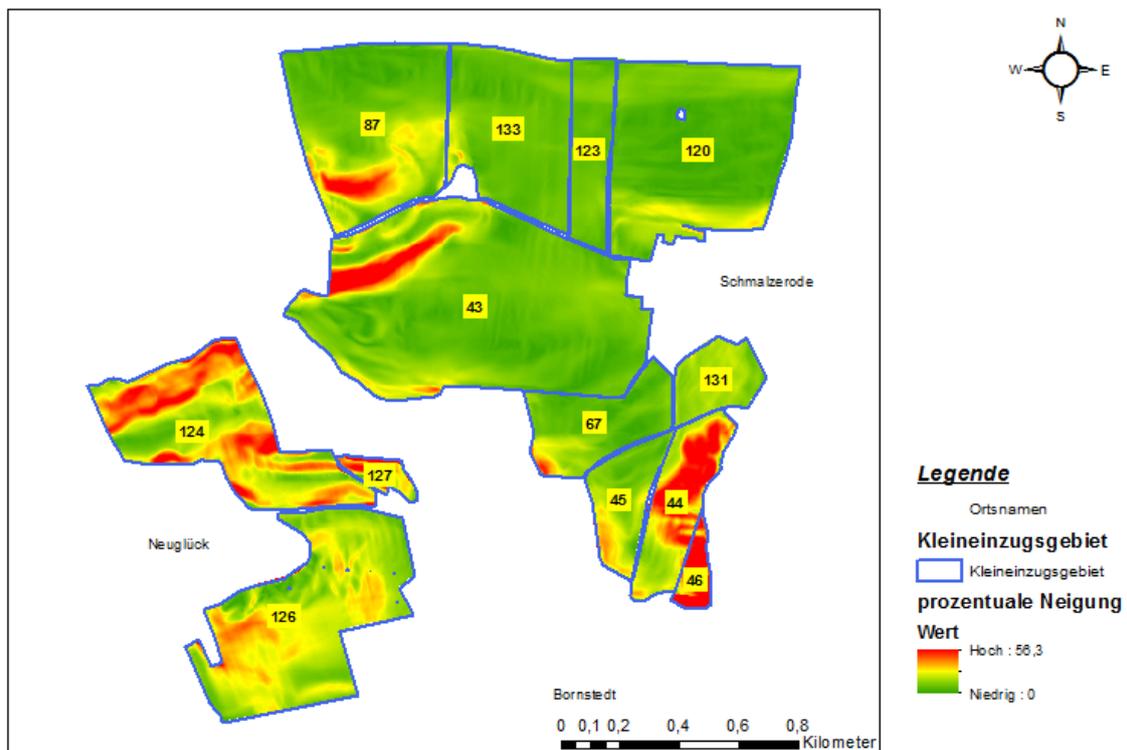


Abbildung 48: Darstellung der prozentualen Neigung.

4 Anwendungsbeispiel einer Risikoanalyse zu Wassererosion und Sturzfluten

Die Neigung in dem Gebiet reicht, wie in Abbildung 48 zu erkennen ist, von null bis 56,3 Prozent. Aus der Neigung wird der **Hangneigungsfaktor S** abgeleitet. Der **Hanglängenfaktor L** reicht von null bis 28. Das ist ein sehr hoher Wert. Greift man aus der Karte die längste Hanglänge ab, dann erhält man einen Wert von 1,1 Kilometer für den Hotspot drei. Dieser hat auch das größte Einzugsgebiet.

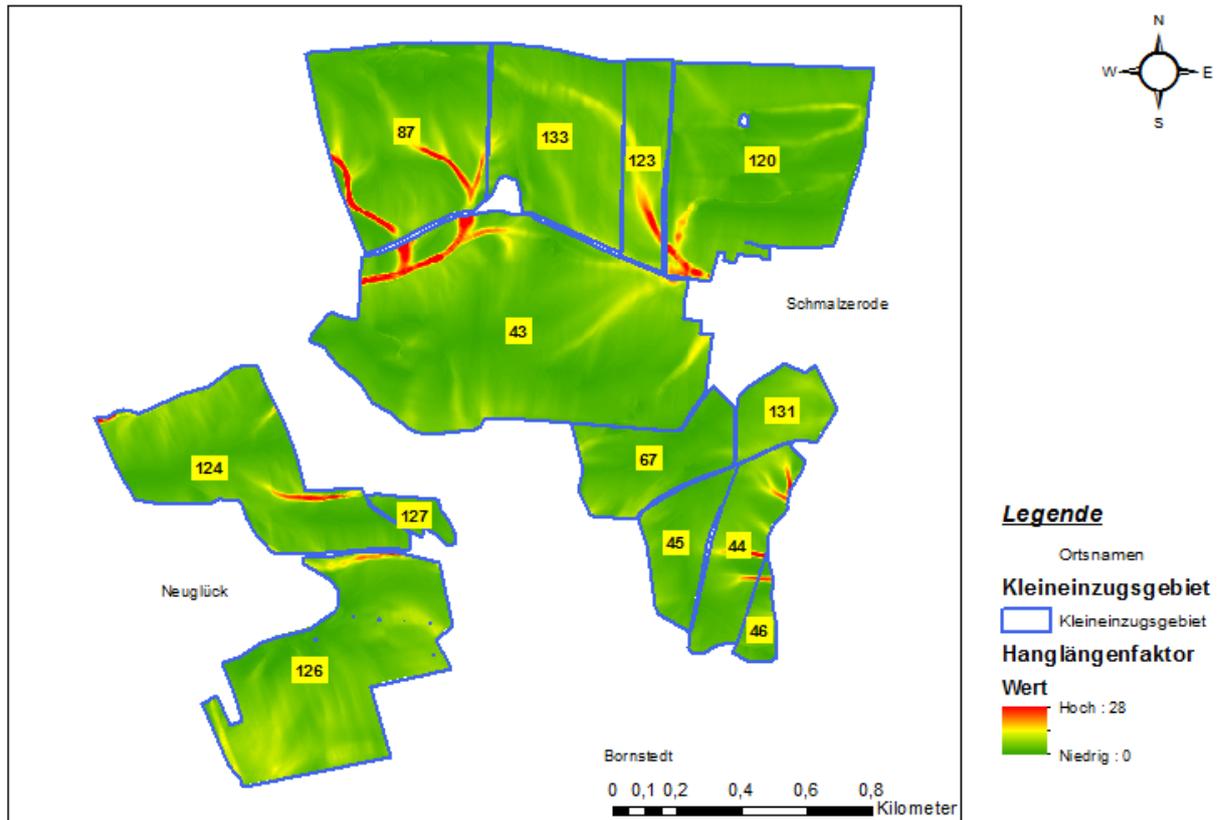


Abbildung 49: Darstellung des Hanglängenfaktors.

Schlagnummer	Fruchtart 2014	Fruchtart 2015	Bodenbearbeitung	C-Faktor
43	Winterraps	Winterweizen	nicht wendend	0,03
44	Winterweizen	Wintergerste	(nicht) wendend	0,04 // 0,12
46	Wiesen	Wiesen		0,02
67	Winterweizen	Wintergerste	wendend	0,12
87	Winterraps	Winterweizen	nicht wendend	0,03
120	Winterweizen	Wintergerste	wendend	0,12
123	Winterweizen	Wintergerste	wendend	0,12
124	Triticale	Raps	nicht wendend	0,07
126	Triticale	Raps	nicht wendend	0,07
127	Triticale	Raps	nicht wendend	0,07
131	Winterweizen	Wintergerste	wendend	0,12
133	Zuckerrüben	Winterweizen	nicht wendend	0,07

Tabelle 5: Fruchtfolgebestimmung Kleineinzugsgebiet.

Als letztes wurden noch die aktuellen Bewirtschaftungsarten und Bodenbearbeitungsverfahren vom Landwirt erfragt. So konnten mit dem ABAG-Kalkulator (frei im Internet verfügbar) für jeden Schlag spezifische **Bewirtschaftungsfaktor C** berechnet werden. Die C-Faktoren sind der Tabelle 5 zu entnehmen.

Schlagnummer	Fläche [ha]	Bodenzahl	berechnete Toleranzgrenze Bodenabtrag [t/ha*a]	Toleranzgrenze Bodenabtrag [t/ha*a]	C-Faktoren
43	61,43	67	8,38	7,00	0,03
44	10,73	68	8,50	7,00	0,04
45	7,83	51	6,38	6,38	0,12
46	2,58	66	8,25	7,00	0,02
67	11,62	63	7,88	7,00	0,12
87	28,50	65	8,13	7,00	0,03
120	34,87	63	7,88	7,00	0,12
123	8,60	71	8,88	7,00	0,12
124	26,49	71	8,88	7,00	0,07
126	32,10	80	10,00	7,00	0,07
127	2,19	75	9,38	7,00	0,07
131	6,41	68	8,50	7,00	0,12
133	21,73	69	8,63	7,00	0,07

Tabelle 6: Maximal tolerierbarer Bodenabtrag und C-Faktoren der einzelnen zu untersuchenden Schläge.

Laut Landwirt wird der Schlag mit der Nummer 44 oberhalb des Grabens wendend bearbeitet und unterhalb, also östlich des Grabens, nicht wendend. Dadurch ergeben sich zwei unterschiedliche C-Faktoren für diesen Schlag. Für den **Querbewirtschaftungsfaktor P** wird immer der Wert eins eingesetzt. Durch die hohen Bodenzahlen wird in fast allen Fällen ein tolerierbarer Bodenabtrag von über sieben Tonnen pro Hektar und Jahr berechnet. Da der Beratungsleitfaden "Bodenerosion und Sturzfluten" aber einen Maximalbetrag von sieben Tonnen vorgibt, ist in der Spalte "Toleranzgrenze Bodenabtrag [t/ha*a]" bei fast allen Schlägen die Zahl sieben zu sehen.

CN-Faktoren

Auch für die Berechnung des CN-Faktors wird die aktuelle Bewirtschaftung benötigt. Zusammen mit der Bewirtschaftungsart und den kf-Werten ergeben sich spezifische CN-Werte für bewachsenen Boden. Aus der Bewirtschaftung lassen sich die Bedeckungsgrade des Bodens herleiten. Der berechnete CN-Wert steht für das Infiltrationsvermögen der landwirtschaftlich genutzten Fläche. Auf der Internetseite www.wetter.com ist der Niederschlagsverlauf des Ortes Lodersleben zu finden. Die Station Lodersleben ist die nächste Station in der Nähe des Untersuchungsgebietes. Leider ist sie relativ weit vom Untersuchungsgebiet entfernt, jedoch kann es einen groben Eindruck über die Niederschlagsverhältnisse vermitteln.

Mittwoch 11.09.2013 - Dienstag 09.09.2014

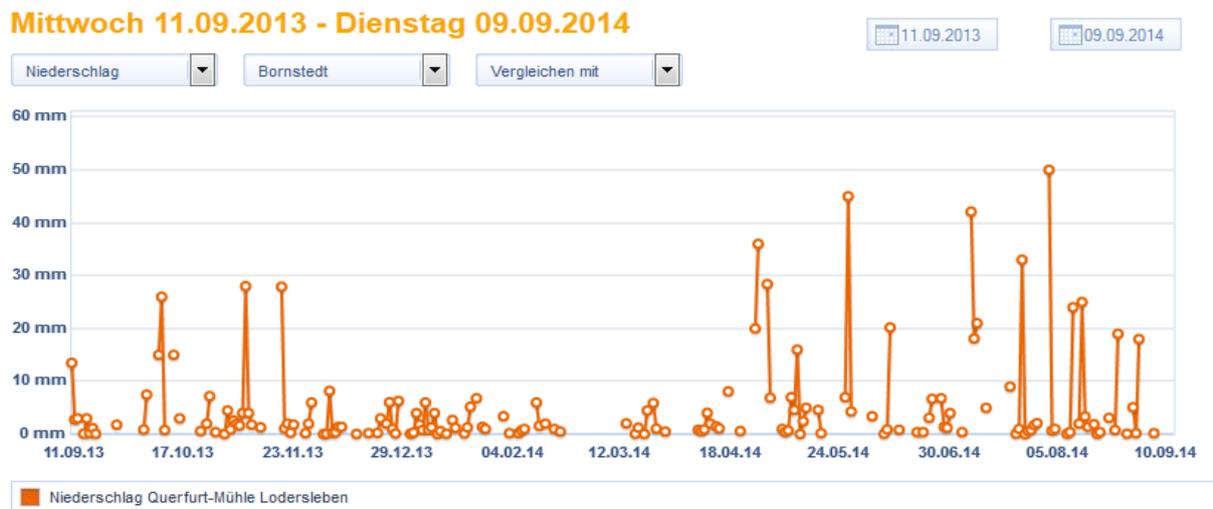


Abbildung 50: Jahresrückblick des Niederschlages der Station Lodersleben. (Zugriff 09.2014)

In der Darstellung ist zu erkennen, dass das letzte größere Niederschlagsereignis noch nicht sehr lange zurück liegt. Am 03.08.2014 fielen 50 mm Niederschlag an der Station Lodersleben. Im letzten Winter ist nur wenig Niederschlag zu verzeichnen. Es regnete zwischen 20.11.2013 und 27.04.2014 nie über zehn Millimeter. Während im Sommer wesentlich mehr Niederschlag zu erkennen ist. In der Zeit regnete es oftmals zwischen 40 und 50 mm.

Die Daten der kf-Werte des Untersuchungsgebietes sind freundlicher Weise vom Landesamt für Geologie und Bergwesen Halle (LAGB) zur Verfügung gestellt worden.

4.3 Bestimmung des langjährig mittleren aktuellen Bodenabtrages

Zur Bestimmung des Bodenabtrages wurde das Programm ABAGFlux verwendet. Dabei handelt es sich um ein Programm der Firma geoflux GbR, welches von D. Wurbs, T. Koschitzki und M. Möller entwickelt wurde. Es ist ein hierarchischer Modellansatz zur Maßnahmenplanung im Boden- und Gewässernetz. Vorteil dieses Programmes ist es, dass es unabhängig von anderen GIS-Programmen programmiert wurde und somit keine Kenntnisse in anderen GIS-Programmen, wie beispielsweise ArcGIS, nötig sind.



Abbildung 51: Logo der Firma geoflux.

ABAGFlux benötigt einige Eingabeparameter zur Berechnung des langjährig mittleren aktuellen Bodenabtrages. Diese wurden mir in einem ArcGIS-eigenen Rasterformat, dem so genannten Grid-Format, von der Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau (LLFG) zur Verfügung gestellt. Damit ABAGFlux nun mit den Daten

arbeiten kann, ist es notwendig diese in das Format ASCII zu konvertieren. Dabei musste beachtet werden, dass alle Datensätze in gleicher Auflösung (gleiche Anzahl von Zeilen und Spalten) und Ausdehnung dem Programm zur Verfügung gestellt werden. Maßgebende Einheit war in diesem Fall das DGM (Quelle: Landesamt für Vermessung und Geoinformation Sachsen-Anhalt - LVerGeo) mit der Auflösung fünf mal fünf Meter. Betrachtet man die ABAG-Formel, so ist zu erkennen, dass neben der Geländeoberfläche noch weitere Daten notwendig sind.

Die Niederschlagsdaten sind in einer Auflösung von einem mal einem Kilometer vorhanden. Dabei handelte es sich um korrigierte mittlere Niederschlagssummen für die Zeitreihe 1961 bis 1990 aus dem Informationssystem KOSTRA des DWD. Aus diesem Datensatz wurde der Regenerositätsfaktor R "[...] in Anlehnung an DIN 19708 auf der Grundlage der für Sachsen-Anhalt spezifizierten Regression $R = -57,13 + 0,3322 \cdot N_{Sommer}$ nach Möller (MISB, 2005)⁴⁵ berechnet."

Die Ausgangsdaten für den K-Faktor sind in der Vorläufigen Bodenkarte Sachsen-Anhalt 1:50.000 (VBK 50) mit ihren Flächendatensätzen zu finden. Sie sind in einer Auflösung von zehn mal zehn Metern vorhanden und stammen vom Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt. Zur Ermittlung des Bodenerodierbarkeitsfaktors K "[...] wurde aus den Gliedern Bodenart, Humus und Skelett gemäß den Werten der Tabellen 3 bis 5 der DIN 19708 bestimmt; Organoböden erhielten hilfsweise einen Wert von 0,01."⁴⁵

Um den S-Faktor (Hangneigung) aus den DGM-Daten zu berechnen, wurde der Ansatz $S = -1,5 + \frac{17}{1 + e^{2,3 - 6,1 \cdot \sin \alpha}}$ aus der DIN 19708 verwendet.

Vor allem im Bereich der Nutzung gibt es viele verschiedene Möglichkeiten, unterschiedliche Szenarien zu berechnen. Ungünstigster Fall (Worst Case) wäre eine Berechnung von zum Beispiel Mais-Getreide-Fruchtfolgen, welche eine relative hohe Erosivität aufweisen, mit einem C-Faktor von 0,4 über die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche. Alternativ dazu kann der günstigste Fall (Best Case) mit zum Beispiel vollständigen Getreideanbau und einem C-Faktor von 0,04 simuliert werden. Relativ unrealistisch, aber doch vorstellbar, wäre auch ein Szenario, in dem alle Flächen in Grünland umgewandelt werden. Dieses würde aufgrund des C-Faktors von 0,004 für Grünland wohl die geringste Erosionsgefährdung aufweisen.

⁴⁵ Möller und Helbig 2005, S. 189-198

4.4 Erstellung unterschiedlicher Szenarien des Oberflächenabflusses

Ausgangsdaten für die Oberflächenmodellierung sind vor allem die Bodenwerte. Mit diesen und der aktuellen Nutzung können die CN-Werte berechnet werden. Grundlage ist die Dokumentation des BOWAM. Dort wurden die entsprechenden Formeln für die Berechnung der CN-Werte entnommen.

In die Formeln fließen die k_f -Werte, die Nutzung und die Hangneigung mit ein. Da laut Aufgabenstellung mit einer Vorfeuchte des Bodens von 80% nFK (nutzbare Feldkapazität) ausgegangen wird, werden die Berechnungen mit der Bodenfeuchtekategorie II durchgeführt. Demzufolge ist das Umrechnen der CN-Werte in die Klassen I und III nicht notwendig. Um allerdings die Auswirkungen unterschiedlicher Vorfeuchten zu untersuchen wurde beispielhaft eine Variante mit der Feuchtekategorie III (Formel siehe Kapitel 3.5.2 Oberflächenabfluss nach dem Standard-CN-Verfahren) durchgerechnet. Zur Berechnung der nutzungsabhängigen CN-Werte wurde folgende Regressionsgleichung verwendet (Auszug BOWAM):

$$CN = C_0 + C_1 \cdot k_{f,o} + C_2 \cdot \ln(k_{f,o})$$

- CN...CN-Faktor des US-SCS-Verfahrens [%]
- $k_{f,o}$... k_f -Werte an der Oberfläche [m/s]
- C_0 ... C_3 ...Beiwerte (siehe folgende Tabelle)

Nutzung (NZ-Kennung)	$k_{f,o}$ [m/s]	C_0	C_1	C_2
Winter- / Sommergetreide:				
normal	< $1 \cdot 10^{-6}$	89,1	$-4,57 \cdot 10^6$	-0,26
	$1 \cdot 10^{-6} \dots 6 \cdot 10^{-5}$	8,9	$-1,00 \cdot 10^4$	-5,73
	> $6 \cdot 10^{-5}$	-4,5	$-1,65 \cdot 10^4$	-7,05
üppig	< $1 \cdot 10^{-6}$	88,5	$-4,81 \cdot 10^6$	-0,27
	$1 \cdot 10^{-6} \dots 6 \cdot 10^{-5}$	8,9	$-2,09 \cdot 10^4$	-5,69
	> $6 \cdot 10^{-5}$	-7,9	$-1,25 \cdot 10^3$	-7,92
Dauergrünland:				
normal	< $1 \cdot 10^{-6}$	73,7	$-5,38 \cdot 10^6$	-0,71
	$1 \cdot 10^{-6} \dots 6 \cdot 10^{-5}$	-39,3	$-2,25 \cdot 10^5$	-8,51
	> $6 \cdot 10^{-5}$	-21,9	$-1,91 \cdot 10^4$	-5,46
üppig	< $1 \cdot 10^{-6}$	71,8	$-5,27 \cdot 10^6$	-0,76
	$1 \cdot 10^{-6} \dots 6 \cdot 10^{-5}$	-40,3	$-2,25 \cdot 10^5$	-8,51
	> $6 \cdot 10^{-5}$	-22,9	$-1,91 \cdot 10^4$	-5,47
Ohne Bewuchs:				
	< $1 \cdot 10^{-6}$	96,8	$-3,03 \cdot 10^6$	-0,04
	$1 \cdot 10^{-6} \dots 6 \cdot 10^{-5}$	42,7	$-3,30 \cdot 10^4$	-3,73
	> $6 \cdot 10^{-5}$	15,1	$-4,68 \cdot 10^2$	-6,37

Tabelle 7: Verwendete Beiwerte für den CN-Wert.

Nach erfolgreicher Berechnung der nutzungsabhängigen CN-Werte erfolgt die Korrektur dieser durch Berücksichtigung der Hangneigung. Folgende Formel wurde dafür aus dem BOWAM entnommen:

$$CN_{Hang} = 100 - (100 - CN) \cdot \frac{\left(\frac{L_{Hang}}{152,4}\right)^{2 \cdot CN^{-0,81}}}{\frac{HN}{0,04}}$$

- CN_H ...hanglängen- und hangneigungskorrigierter CN-Faktor [%]
- CH...CN-Faktor
- L_{Hang} ...Hanglänge [m]
- HN...Hangneigung [%]

Modellhaft wurde hier auf eine konkrete Berücksichtigung der Hanglänge verzichtet, da die erosive Hanglänge nicht pauschal festgelegt werden kann. Stattdessen wird eine für das gesamte Bundesgebiet verallgemeinerte Länge (Standardhanglänge) von 120 Meter angenommen. Die Hangneigung hingegen wurde für jede Fläche extra berechnet und auch berücksichtigt. Somit erhält man nun einen CN-Wert, welcher die Durchlässigkeit, Nutzung und Hangneigung des Bodens berücksichtigt.

Der nächste Schritt ist die Berechnung der aus den CN-Werten resultierenden effektiven Oberflächenabflusswerte. Dafür musste noch die Niederschlagshöhe festgelegt werden. Hierfür wurde ein modellhafter Regen mit 50-jähriger Wiederkehrintensität und vierstündiger Dauer aus den Daten des KOSTRA entnommen. In diesem konkreten Fall bedeutet das 53,3 mm. Dafür sind folgende Formeln zu verwenden:

$$N_{eff} = \frac{(N - I_a)^2}{(N - I_a) + S} \quad \text{für } N > I_a$$

$$S = 25,4 \cdot \left[\frac{1000}{CN} - 10 \right]$$

$$I_a = a \cdot S$$

- N_{eff} ...Abfluss [mm]
- N ...Niederschlag [mm]
- S ...maximaler Gebietsrückhalt des Einzugsgebietes [mm]
- CN ...Curve Number (berücksichtigt Bodencharakteristika und Vegetation)
- I_a ...Anfangsverlust [mm]
- a ...Anfangsverlust der möglichen Versickerung, meist 20 %, MANIAK (2005) empfiehlt für mitteleuropäische Verhältnisse einen Anfangsverlust von 5 % des maximalen Gebietsrückhaltes

Als Ergebnis hat man nun die effektiven Niederschlagshöhen pro Quadratmeter Fläche im Einzugsgebiet unter vereinfachter Berücksichtigung des Infiltrationsvermögens. Als nächstes benötigt man wieder die Flächen der drei Wassereinzugsgebiete. Schneidet man die Flächen mit dem effektiven Niederschlag aus und summiert diese, dann erhält man die Abflusssummen an den Gebietsauslässen innerhalb der gesamten vier Stunden.

Im darauffolgenden Arbeitsgang sollte der Scheitelpunkt des Oberflächenabflusses bestimmt werden. Dafür wurden zwei verschiedene Methoden verwendet. Die erste Methode ist eine sehr vereinfachte Variante auf der Basis des SCS-Verfahrens. Dafür wird der Abflussbeiwert berechnet. Dieser ist der Quotient aus effektivem Niederschlag und Gesamtniederschlag. Subtrahiert man vom Gesamtniederschlag den effektiven Niederschlag, dann bleibt der Gesamtverlust an Niederschlagswasser über. Als weiteres kann die Verzögerungszeit t_L berechnet werden. Sie ist die Zeit zwischen Schwerpunkt des Effektivniederschlags und dem Direktabfluss. Um den Scheitelwert ermitteln zu können, wird noch die Anstiegszeit t_A benötigt. Nun kann der Scheitelwert u_{max} berechnet werden. Ist dies der Fall, besitzt man nun alle Werte um den Scheitelabfluss nach dem SCS-Verfahren zu berechnen. Nachfolgend werden noch einmal zusammenfassend alle benötigten Formeln aufgeführt.

$$\Psi = \frac{N_{eff}}{N_{ges}}$$

$$\text{Gesamtverlust} = N_{ges} - N_{eff}$$

$$t_L = \frac{L \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0,7}}{2,924 \cdot J^{0,5}}$$

$$t_A = t_L + \frac{\Delta t}{2} \quad \text{in } h$$

$$u_{max} = \frac{0,75}{t_A} \quad \text{in } \frac{1}{h}$$

$$Q_{max} = u_{max} \cdot A_{Eo} \cdot N_{eff} / 3,6 \quad \text{in } \frac{m^3}{s}$$

- Ψ ...Abflussbeiwert
- N_{eff} ...effektiver Niederschlag [mm]
- N_{ges} ...gesamter Niederschlag [mm]
- t_L ...Zeit vom Schwerpunkt des effektiven Niederschlags bis zum Scheitelabfluss (Verzögerungszeit) [h]
- L ...Länge von der Gebietsgrenze bis zum Gebietsauslass längs des Hauptvorfluters [m]
- J ...Geländegefälle über L [%]
- CN ...Kurvennummer (Curve number)
- Δt ...Zeitintervall der Einheitsganglinie [h]
- A_{Eo} ...Einzugsgebietsgröße [km²]
- Q_{max} ...Scheitelabfluss der Einheitsganglinie [m³/s]

Leider handelt es sich hierbei um ein sehr sensibles Verfahren, welches die Scheitelabflüsse im Allgemeinen zu hoch berechnet. Deshalb wurde noch ein zweiter Ansatz gewählt. Dieser berechnet die Scheitelabflüsse anhand von Einheitsganglinien. Dafür wird der Abflussvorgang in einzelne Zeitintervalle gleicher Länge unterteilt und berechnet. Als Basisabfluss wird null eingetragen, da davon ausgegangen wird, dass weder vor noch nach dem Regenereignis ein Abfluss vorhanden ist. Ausschließlich die Niederschlagsmassen bilden einen Abfluss. Dafür werden zu erst alle Abflüsse für die einzelnen Zeitintervalle berechnet. Der Abfluss ergibt sich aus dem Abflussbeiwert multipliziert mit dem Gesamtniederschlag im Zeitintervall. Anschließend werden die Ordinaten $u(t)$ der Einheitsganglinie berechnet.

$$u(t)_{scs} = 30,35 \cdot \frac{1}{t_A} \left(\frac{t}{t_A}\right)^{3,7} \cdot \exp\left(-3,7 \left(\frac{t}{t_A}\right)\right)$$

Da es sich hierbei allerdings um Einheitsganglinienordinaten der Dimension 1/h handelt, müssen diese mit der folgenden Gleichung umgewandelt werden.

$$u(t) = u(t)_{scs} \cdot \frac{A_{Eo}}{3,6}$$

Daraus ergeben sich Ordinaten der Dimension $m^3/(s \cdot mm)$. Um dann die einzelnen Koeffizienten des Abflusses für die Zeitintervalle zu bekommen, muss für das erste Intervall $u(i) \cdot N_{eff1}$ des ersten effektiven Niederschlags multipliziert werden. Für den zweiten ergibt sich dann: $u(i-1) \cdot N_{eff2}$ und für den dritten $u(i-1) \cdot N_{eff3}$. Diese einzelnen Koeffizienten muss man nur noch aufsummieren, um den Abfluss des Gebietes Q_i zu jedem Zeitintervall zu erhalten.

$$Q_i = \sum_{i=1}^m (u(i-1) \cdot N_{effi})$$

Letzter Punkt ist die Niederschlagsverteilung. Damit ist die zeitliche Differenzierung der Niederschlagsintensitäten gemeint. Es gibt viele verschiedene Auffassungen welcher Regenverlauf gewählt werden sollte. Einfachster und wohl am wenigsten der Realität entsprechender ist der Blockregen. Das bedeutet, während des gesamten Niederschlagsereignisses ist die Regenintensität konstant. Dieser Modellregen würde wohl zu dem kleinsten Scheitelwert führen. Weitere Möglichkeit wäre, von einem Spitzenwert am Anfang, Ende oder in der Mitte eines Ereignisses auszugehen. Da die Fachliteratur dazu keine konkreten Aussagen macht, wurde in diesem Modellansatz von einem Spitzenwert in der Mitte des Niederschlagsereignisses ausgegangen. Dieser führt zu einem relativ hohen Spitzenwert im Scheitelpunkt. Außerdem gibt es noch die so genannte Euler II Verteilung. Sie sollte immer bei Modellen im bebauten Gebiet angewendet werden, da auch hier extrem hohe Werte erreicht werden. Die Dimensionierung der Kanalsysteme, welche nach solchen Modellberechnungen erfolgt, sollte für den Ernstfall ausgelegt sein und sich nicht später als zu klein heraus stellen.

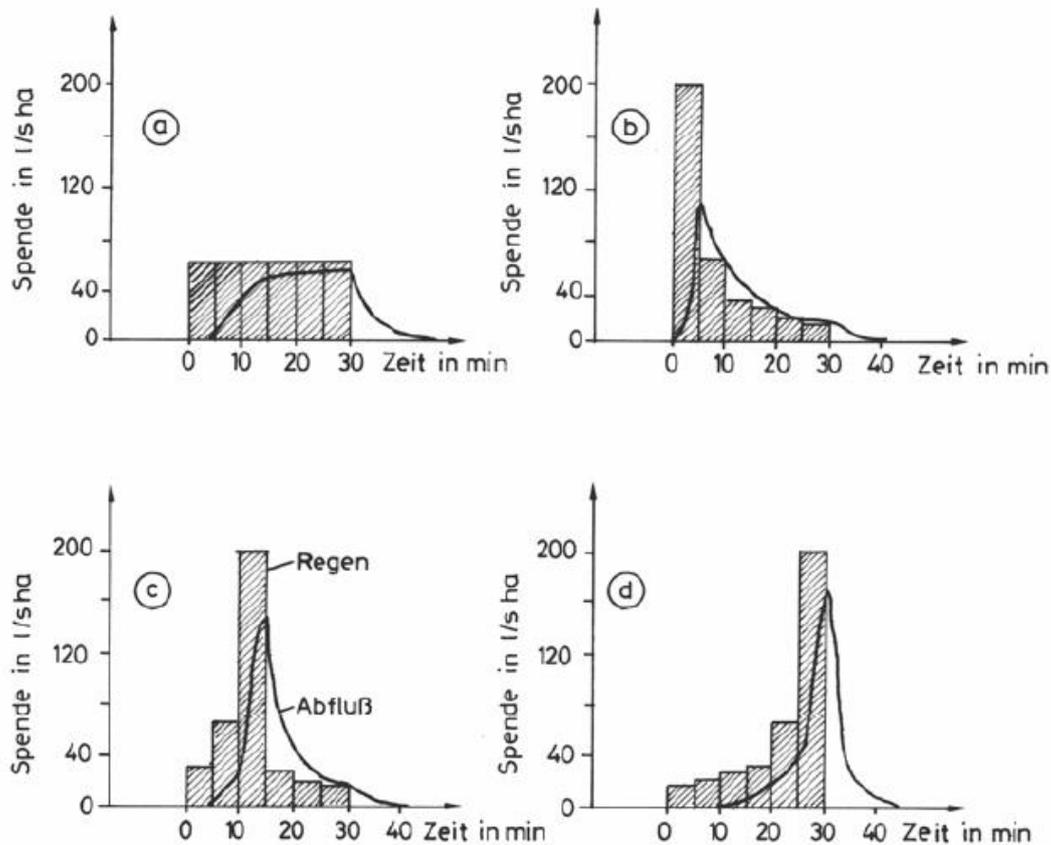


Abbildung 52: Einfluss des Intensitätsverlaufs auf den Abfluss von einer befestigten Fläche. a) Blockregen b) und d) maximale Intensität am Regenanfang beziehungsweise -ende c) zentrale Spitze.⁴⁶

Dieses Verfahren ist wesentlich robuster als das vorherige, jedoch auch aufwendiger zu berechnen. Sind alle diese Größen berechnet, hat man den Oberflächenabfluss für ein Szenario berechnet. Nun kann man sehr viele verschiedene Szenarien erstellen. Zum einen kann man sich für eine andere Verteilung der Niederschlagsintensitäten entscheiden oder aber man variiert in den verschiedenen Nutzungsarten. Im ersten Szenario wurde mit der tatsächlichen (realen) Nutzung gerechnet. Es ist aber auch möglich ein Worst Case Szenario zu berechnen. Dieses würde bedeuten, dass man von einem völlig unbewachsenen und ungeschützten Boden ausgeht. Ebenfalls vorstellbar wäre eine Berechnung der Gebietsgrößen mit einer höheren Vorfeuchte, also eine Korrektur von Bodenfeuchtekategorie II zur Bodenfeuchtekategorie III. Eine weitere Möglichkeit wäre ein Best Case Szenario, also zum Beispiel ein üppiger Bewuchs, anstatt eines normalen.

Die Abbildung 53 zeigt den für dieses Modell verwendeten Intensitätsverlauf des Niederschlages.

⁴⁶ Maniak 2010, S. 283

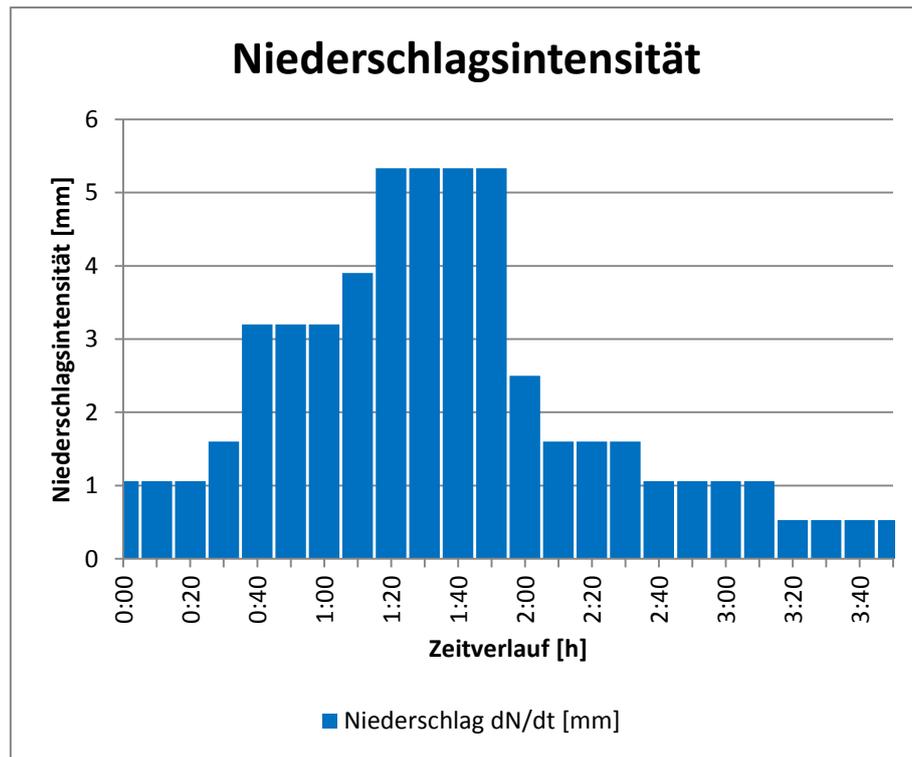


Abbildung 53: Verwendeter Niederschlagsintensitätsverlauf.

Für die drei Hotspots und ihre Wassereinzugsgebiete ergeben sich unter Berücksichtigung der realen Nutzung die in der Tabelle 8 dargestellten Größen.

Hotspot	H1	H2	H3
Fläche [ha]	9,9427	15,1525	53,5019
Länge des Hauptvorfluters [km]	0,8	0,5	1,2
Mittleres Gebietsgefälle [%]	7,8	10,6	2,8
Mittlerer Gebiets-CN	85,69	85,55	85,94
Oberflächenabfluss [mm]	28,01	28,03	28,33
Mittlere Bodenart	Ut3	Ut3	Ut3
Scheitelabfluss [m ³ /s]	1,83	4,3	5,69
Scheitelabfluss Einheitsganglinie [m ³ /s]	0,422	0,719	2,243

Tabelle 8: Gebietsgrößen des Oberflächenabflusses.

Es ist ein deutlicher Unterschied zwischen den Scheitelabflusswerten nach der US-SCS-Methode und der Unterteilung nach der Einheitsganglinienmethode zu erkennen. Teilweise werden doppelt so hohe Werte erreicht. Dieses lässt sich mit der zunehmenden Vereinfachung der Berechnung erklären. Durch das Einführen der Einheitsganglinie wird der Niederschlagsintensitätsverlauf mit berücksichtigt, während er bei dem anderen Verfahren völlig vernachlässigt wird. Es sollte daher möglichst immer das Einheitsganglinienverfahren verwendet werden.

4.5 Auswertung der Szenarien

Insgesamt wurden vier verschiedene ABAG-Szenarien erstellt.

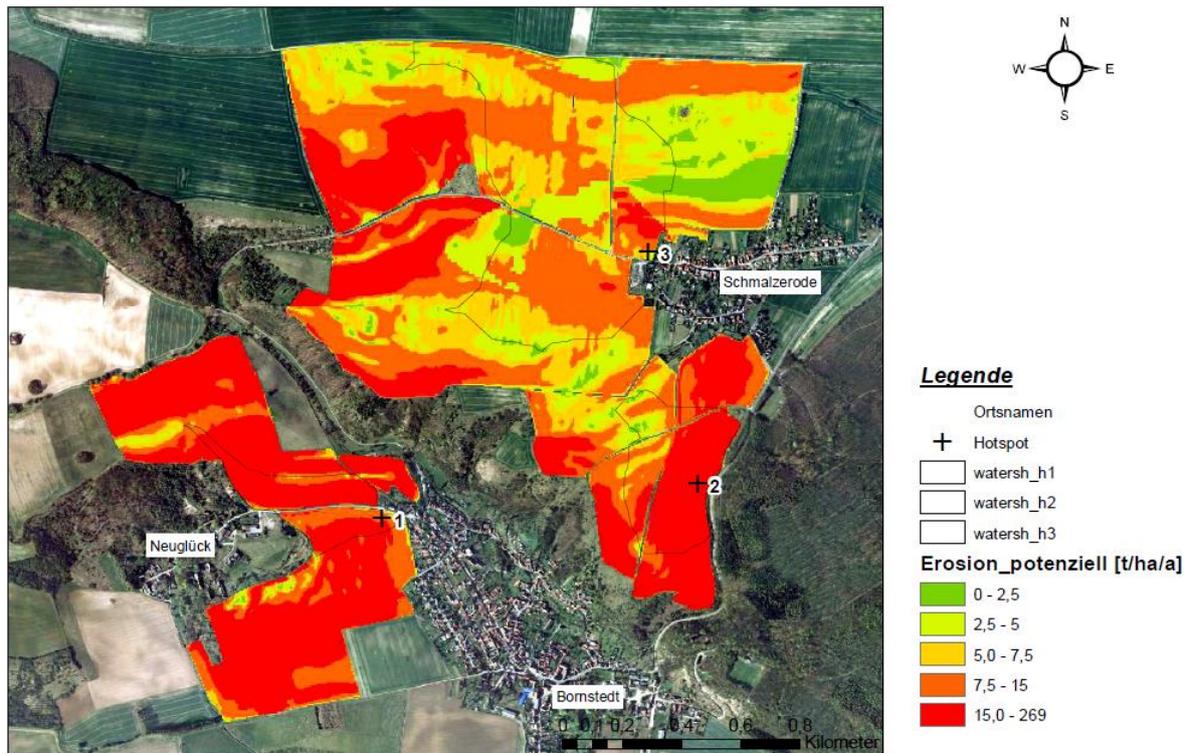


Abbildung 54: Potenzielle Erosionsgefährdung.

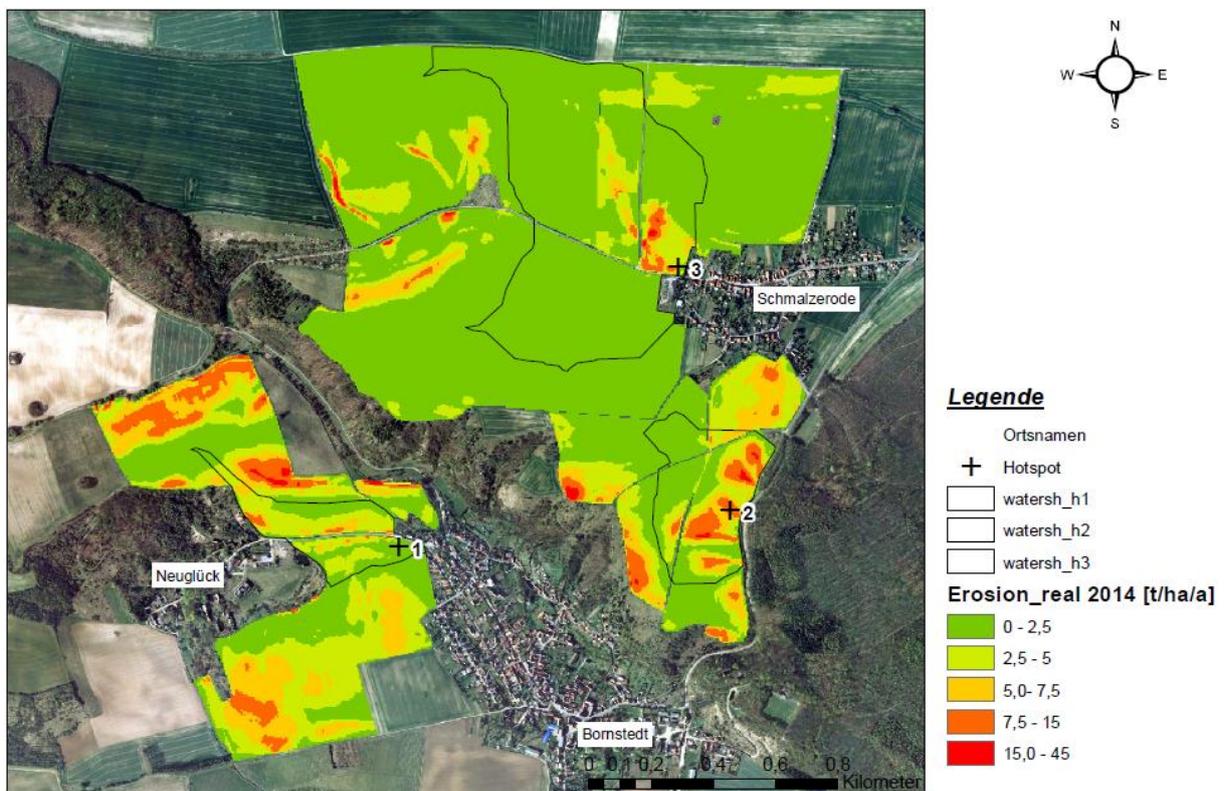


Abbildung 55: Reale Erosionsgefährdung.

4 Anwendungsbeispiel einer Risikoanalyse zu Wassererosion und Sturzfluten

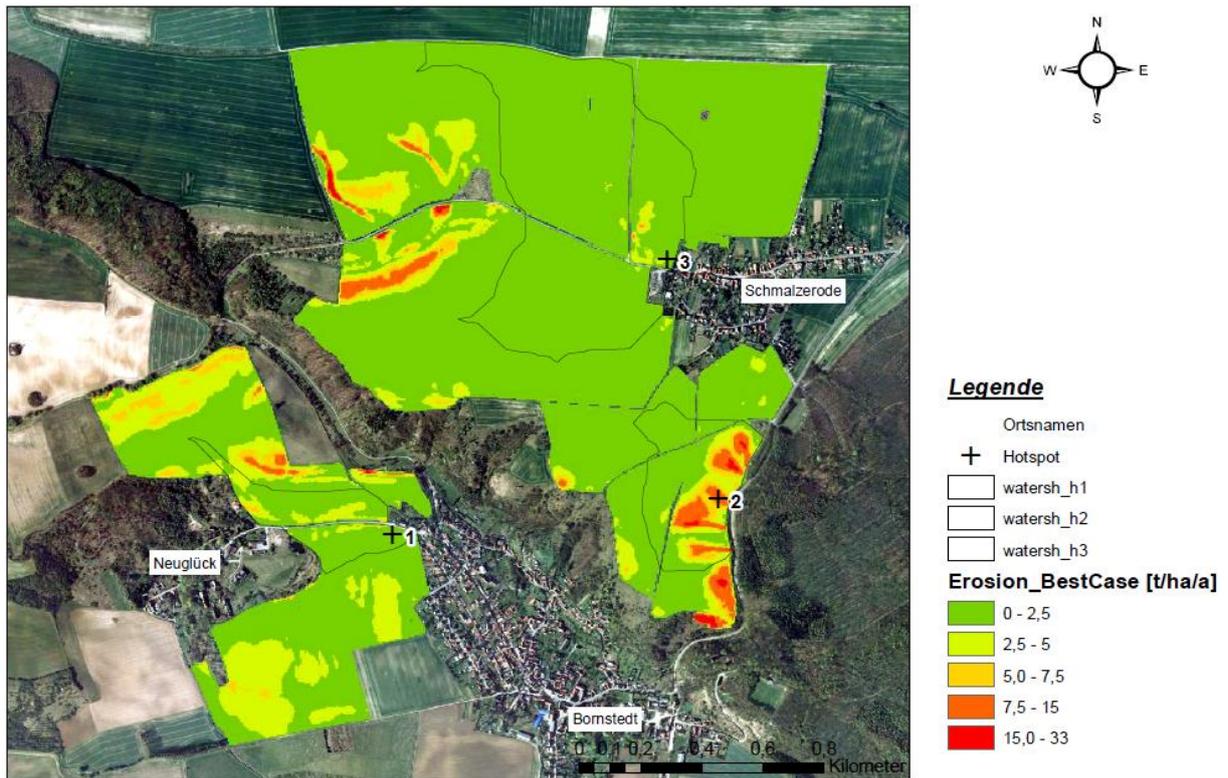


Abbildung 56: Best-Case Szenario.

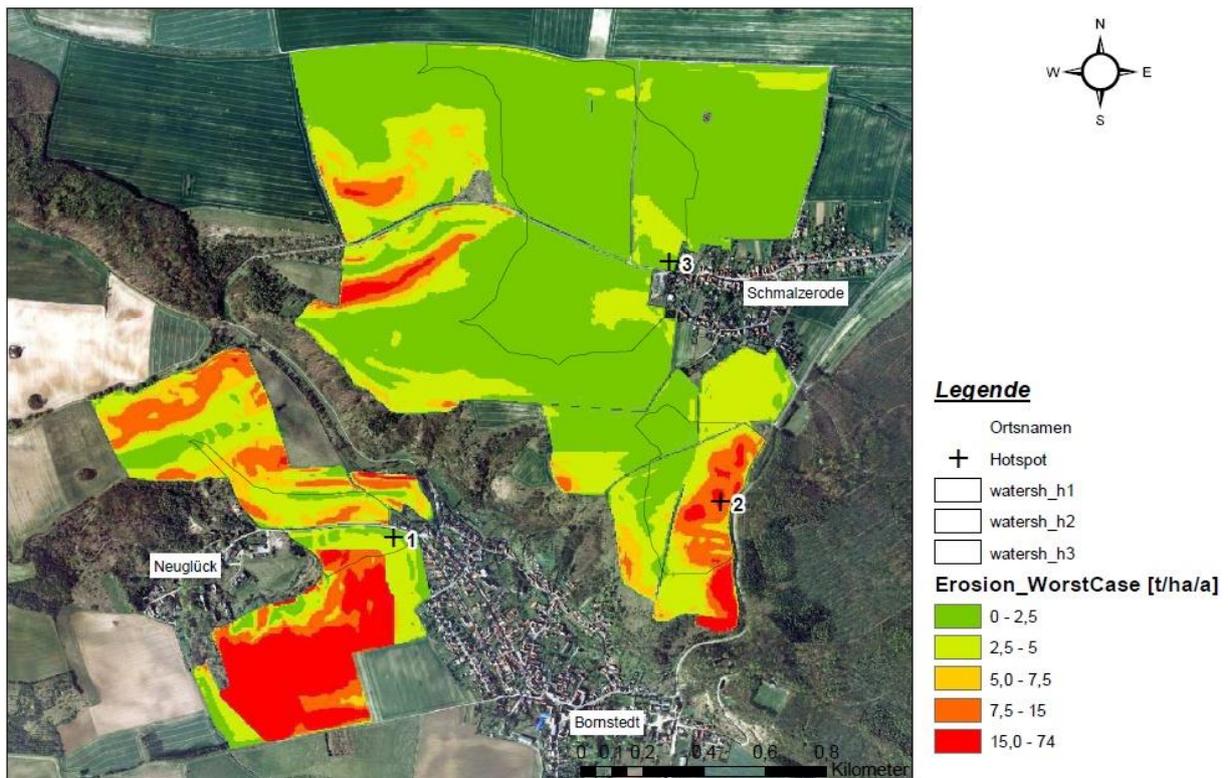


Abbildung 57: Worst-Case Szenario.

Das erste Szenario stellt die potenzielle Erosionsgefährdung dar und ist in der Abbildung 54 zu finden. Grün sind die Flächen mit einer sehr geringen Gefährdung und rot mit einer sehr

hohen Gefährdung. Die Erosionsgefährdung ist in Tonnen pro Hektar und Jahr angegeben. Bei der potenziellen Gefährdung werden nur die Faktoren Regen, Boden und Hangneigung berücksichtigt. Die unterschiedlichen Nutzungen werden dabei nicht beachtet. Hier kommt man auf einen Spitzenwert von bis zu 269 Tonnen pro Hektar und Jahr und nur sehr wenig Flächen sind potenziell gering Erosionsgefährdet.

Ein ganz anderes und wesentlich positiveres Bild zeigt die Abbildung 55. Bei dieser Darstellung wird neben den drei eben genannten Faktoren auch noch die Hanglänge und Bewirtschaftung mit berücksichtigt. Die meisten Flächen sind grün, also gering gefährdet. Nur relativ wenige Flächen sind stark gefährdet. Diese zeigen eine Erosion von über 7,5 Tonnen pro Hektar und Jahr und liegen somit eindeutig über dem maximal tolerierbaren Bodenabtrag. In dieser Abbildung wird das Relief des Gebietes deutlich. Es sind vor allem die Abflussbahnen erkennbar, in welchen je nach Neigung eventuell ein Teil der Sedimente akkumuliert.

Die folgenden zwei Abbildungen (Abbildung 56 und Abbildung 57) stellen eine Simulation von günstigstem (Best Case) und ungünstigstem (Worst Case) Fall dar. Ausgangssituation des Best Case ist ein vollständiger Getreideanbau und konservierende Bodenbearbeitung. Somit bekommen alle landwirtschaftlichen Flächen einen C-Wert von 0,04. Dieser Wert ist schon relativ nah an dem Wert von Grünland mit 0,004 und sorgt dementsprechend für ein sehr positives Bild. Es wird ein maximaler Bodenabtrag von 33 Tonnen pro Hektar und Jahr erreicht. Diese hohen Werte sind nur in den Senken und Fließlinien zu finden. Das Worst Case-Szenario setzt hingegen eine Mais-Getreide-Fruchtfolge mit einem Maisanteil von 66 % und konventionellen Anbaumethoden voraus. Der verwendete C-Wert für dieses Szenario liegt bei 0,4. Die Gefährdung ist zwar noch nicht so hoch wie bei der potenziellen Erosionsanalyse (maximal 296 t/ha/a), aber mit maximal 74 Tonnen pro Hektar und Jahr doch deutlich mehr gefährdeter als die realen Gegebenheiten. Auffällig ist der Hotspot drei. Die Einzugsgebietsflächen sind in allen Szenarien nicht durch Erosion gefährdet. Daraus lässt sich ableiten, dass es hier kaum Schlammmassen gibt sondern nur der Oberflächenabfluss des Niederschlagswassers hier ein Problem darstellt.

Letztes Szenario stellt eine Modellierung dar, welche von einer vollständigen Umnutzung in Grünland aus geht. Da diese Variante sehr unwahrscheinlich ist, wird sie an der Stelle nur genannt. Natürlich wird mit ihr der absolut geringste Bodenabtrag prognostiziert. Hier kommt man aufgrund des sehr kleinen C-Wertes von 0,004 auf maximal drei Tonnen Bodenabtrag pro Hektar und Jahr.

4 Anwendungsbeispiel einer Risikoanalyse zu Wassererosion und Sturzfluten

Bei dem Untersuchungsgebiet handelt es sich um relativ bewegtes Gelände mit vielen Tälern und Hängen. Auch bei den Wassereinzugsgebieten sind verhältnismäßig hohe Neigungen vorhanden. Einzig das Gebiet des Hotspots drei ist relativ eben und flach. Dieses ist auch an den allgemeinen Gebietsparametern zu erkennen.

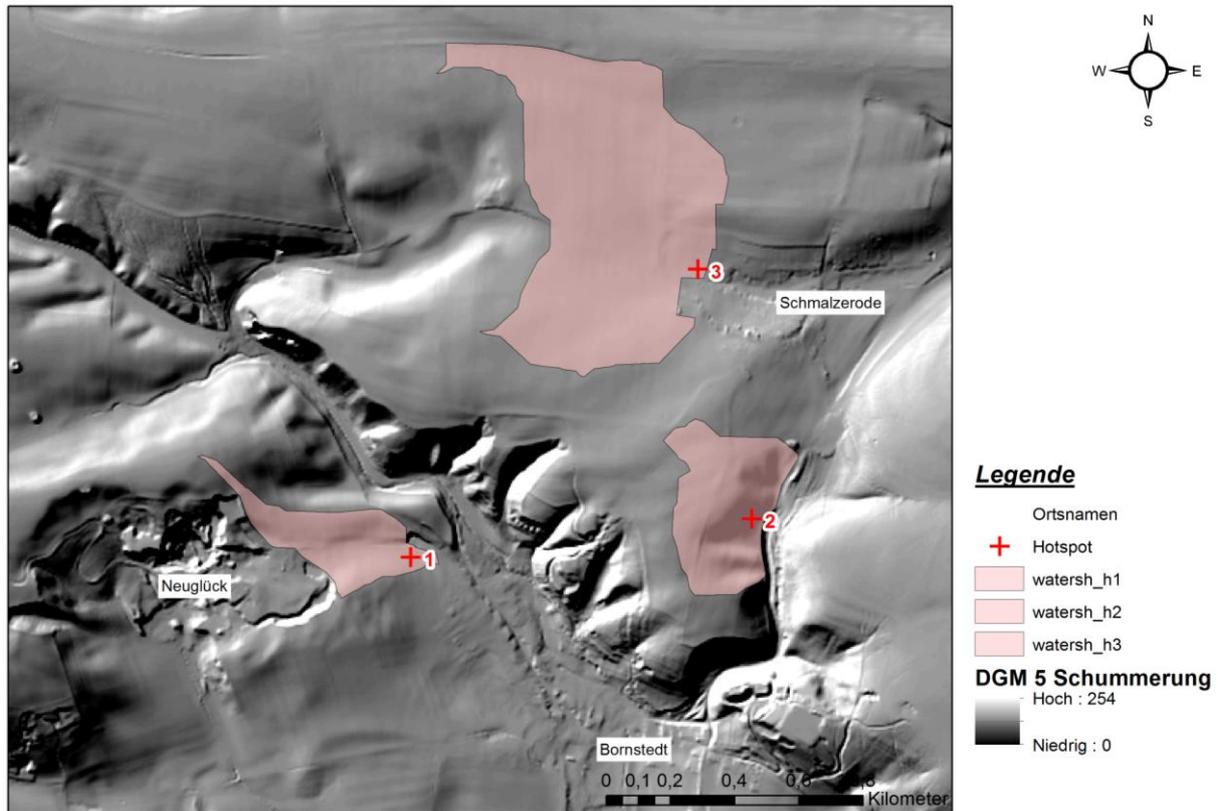


Abbildung 58: Schummerung.

Allgemeine Gebietsparameter	Einheiten	Hotspots		
		H1	H2	H3
Fläche	[ha]	9,94	15,15	53,50
Länge des Hauptvorfluters	[km]	0,80	0,50	1,20
Mittleres Gebietsgefälle	[%]	7,80	10,60	2,80
Mittlere Bodenart		Ut3	Ut3	Ut3

Tabelle 9: Allgemeine Gebietsparameter.

Für die Oberflächenabfluss-Berechnungen war ein vierstündiges Niederschlagsereignis mit 50-jähriger Wiederkehrwahrscheinlichkeit und einer Niederschlagsintensität von 53,3 mm ausschlaggebend. Größtes Gebiet ist das Wassereinzugsgebiet des Hotspots drei mit rund 58 Hektar landwirtschaftlicher Fläche. Dieses hat den längsten Hauptvorfluter mit 1,2 km, allerdings das kleinste Gefälle mit durchschnittlich nur 2,8 %. Auch für den Oberflächenabfluss wurden verschiedene Szenarien erstellt. Da es kaum einen

4 Anwendungsbeispiel einer Risikoanalyse zu Wassererosion und Sturzfluten

entscheidenderen Einflussfaktor als die Nutzung gibt, wurden auch hier fünf verschiedene Nutzungsvariationen betrachtet. Dabei handelt es sich um folgende Szenarien:

- unbewachsenen Boden
- bewachsenen Boden (höherer Anfangsverlust; $a=0,2$)
- bewachsenen Boden
- bewachsenen Boden mit einer hohen Vorfeuchte (über 50 mm Niederschlagssumme in den vergangenen fünf Tagen) und
- bewachsenen Boden mit sehr üppigem Bewuchs.

Unbew. Boden	Einheiten	H1	H2	H3
Mittlerer Gebiets-CN		92,09	92,48	91,58
Effektiver Niederschlag	[mm]	36,44	37,02	37,15
Scheitelabfluss (CN)	[m ³ /s]	2,83	6,62	8,98
Scheitelabfluss	[m ³ /s]	0,55	0,94	3,04
Gesamtabfluss	[m ³]	3.470	5.446	19.585

Bew. Boden (a=0,2)	Einheiten	H1	H2	H3
Mittlerer Gebiets-CN		86,08	85,58	84,98
Effektiver Niederschlag	[mm]	23,06	23,11	23,46
Scheitelabfluss	[m ³ /s]	1,52	3,54	4,58
Scheitelabfluss Einheitsganglinie	[m ³ /s]	0,34	0,58	1,85
Gesamtabfluss	[m ³]	2.197	3.395	12.382

Bew. Boden	Einheiten	H1	H2	H3
Mittlerer Gebiets-CN		85,69	85,55	85,94
Effektiver Niederschlag	[mm]	28,01	28,03	28,33
Scheitelabfluss (CN)	[m ³ /s]	1,83	4,30	5,69
Scheitelabfluss	[m ³ /s]	0,42	0,72	2,24
Gesamtabfluss	[m ³]	2.668	4.122	14.946

Bew. Boden hohe Vorfeuchte	Einheiten	H1	H2	H3
Mittlerer Gebiets-CN		93,28	93,17	92,72
Effektiver Niederschlag	[mm]	38,40	38,73	38,69
Scheitelabfluss (CN)	[m ³ /s]	3,09	7,04	7,23
Scheitelabfluss	[m ³ /s]	0,58	0,99	2,36
Gesamtabfluss	[m ³]	3.655	5.695	20.399

Bew. Boden üppige Veg.	Einheiten	H1	H2	H3
Mittlerer Gebiets-CN		85,65	87,35	84,08
Effektiver Niederschlag	[mm]	27,47	28,29	27,36
Scheitelabfluss (CN)	[m ³ /s]	1,79	4,50	5,20
Scheitelabfluss	[m ³ /s]	0,42	0,72	2,12
Gesamtabfluss	[m ³]	2.615	4.171	14.422

Tabelle 10: Abflussberechnung nach Nutzungen.

Für diese verschiedenen Voraussetzungen wurden jeweils Scheitelabfluss (maximaler Abfluss am Gebietsauslass) und Gesamtabfluss (gesamter Oberflächenabfluss für dieses Niederschlagsereignis) berechnet. Vor allem beim Hotspot drei wird mit 3,2 Kubikmeter pro Sekunde ein besonders hoher Scheitelabfluss erreicht. Jedoch handelt es sich hier auch um das größte Wassereinzugsgebiet. Überraschend ist, dass sogar ein unbewachsener Boden (19.585 m³) nicht so viel Gesamtoberflächenabfluss verursacht wie ein bewachsener Boden mit hoher Vorfeuchte (20.399 m³). In der ersten Variante wurde von einem unbewachsenen Boden ausgegangen. In allen darauffolgenden Szenarien handelt es sich um bewachsenen Boden. Um einen Eindruck vom Einfluss des Anfangsverlustes zu bekommen, wurde die nächste Variante mit einem Anfangsverlust von 20 % berechnet. Alle folgenden haben einen Anfangsverlust von nur fünf Prozent, wie es in den DWK-Regeln empfohlen wird. Zur Simulation der erhöhten Vorfeuchte wurde der CN-Wert von der Bodenfeuchtekategorie II in Bodenfeuchtekategorie III umgerechnet. Für die Variante mit dem sehr üppigen Bewuchs wurden in die Regressionsgleichungen für die CN-Werte die Parameter für den üppigen Bewuchs verwendet.

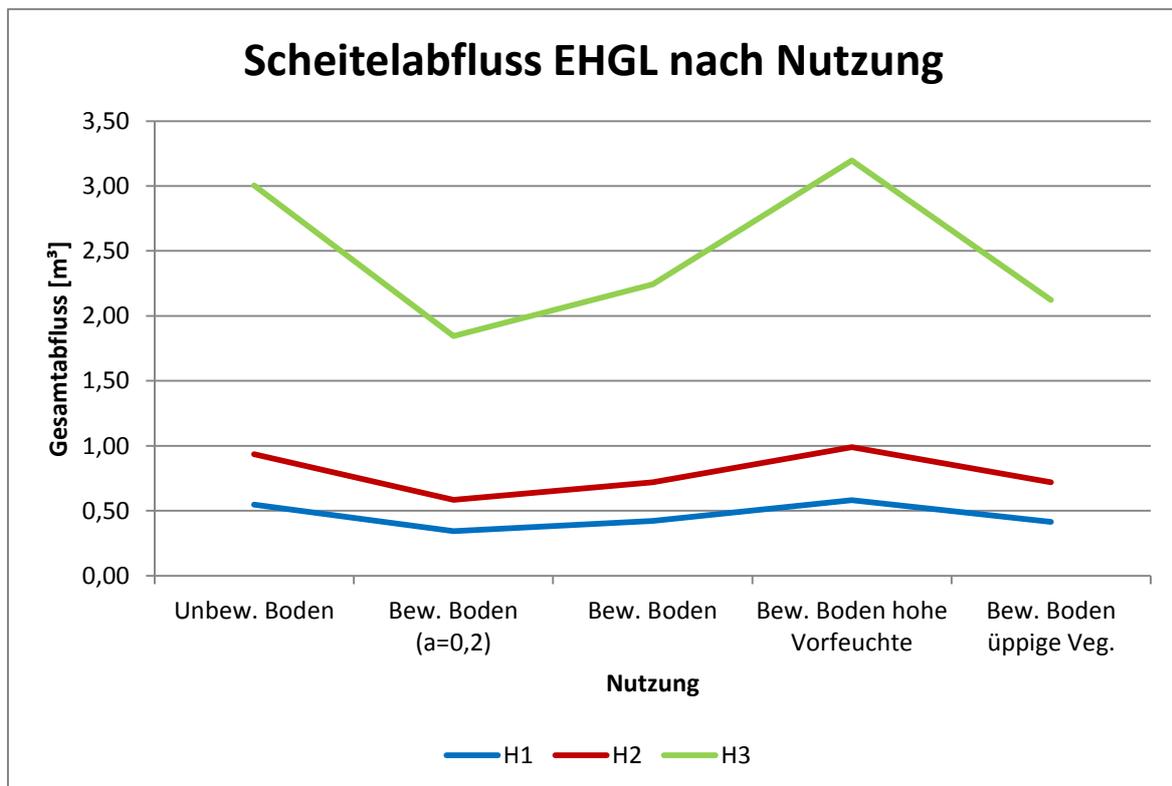


Abbildung 59: Scheitelabfluss nach Nutzung (Einheitsganglinie).

In der Abbildung 59 ist der Scheitelabfluss in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Nutzungen zu erkennen. Zwischen den beiden Parametern ist eine eindeutige Korrelation vorhanden. Die Werte steigen gleichmäßig an und ab. Höchster Wert wird bei allen

Wassereinzugsgebieten bei einem bewachsenen Boden mit hoher Vorfeuchte (Bodenfeuchteklasse III) erreicht. Im Anschluss kommt der unbewachsene, dann der bewachsene Boden mit üppigem Bewuchs. An vorletzter Stelle folgt der bewachsene Boden und als Best Case der bewachsene Boden mit einem Anfangsverlust von nicht nur 5, sondern 20 Prozent.

Kein Niederschlagsereignis lässt sich in seiner Intensität oder Dauer vorhersagen, jedoch kann eine Modellierung gut einen Eindruck vermitteln, mit welchen Größen gerechnet werden muss. So gibt es viele verschiedene Modellansätze zur Niederschlagsintensität. Bei dieser Analyse wurde sich hauptsächlich auf einen Intensitätsverlauf mit einer Spitze in der Mitte gestützt. Dieses soll einen Mittelweg symbolisieren. In urbanen Gebieten wird häufig mit der so genannten Euler-II-Verteilung gerechnet. Diese erzeugt sehr hohe Spitzenabflüsse und soll der Dimensionierung der Kanalisation dienen. Ein weiteres Extremum, welches hauptsächlich bei landwirtschaftlichen Flächen angewendet wird, ist der zweigipflige Niederschlagsintensitätsverlauf. Dieses führt zu verhältnismäßig geringen Scheitelpunkten. Da bei fast allen Hotspots ein Bezug zu bebauten Gebieten besteht, wurde versucht einen Mittelweg zu verwenden. Dies ist der Grund warum ein Niederschlagsereignis, wie in Abbildung 53 dargestellt, verwendet wurde. Bei der Berechnung des Scheitelabflusses ergibt sich dann folgender Abflussverlauf im Bezug zum Niederschlag.

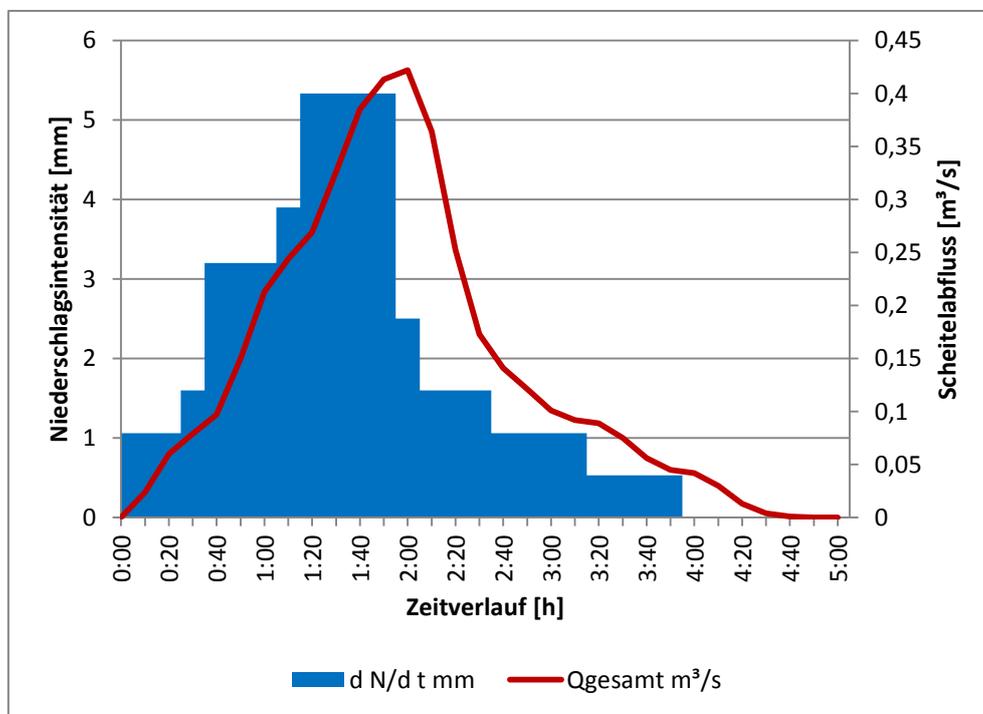


Abbildung 60: Niederschlag-Abfluss-Diagramm H1.

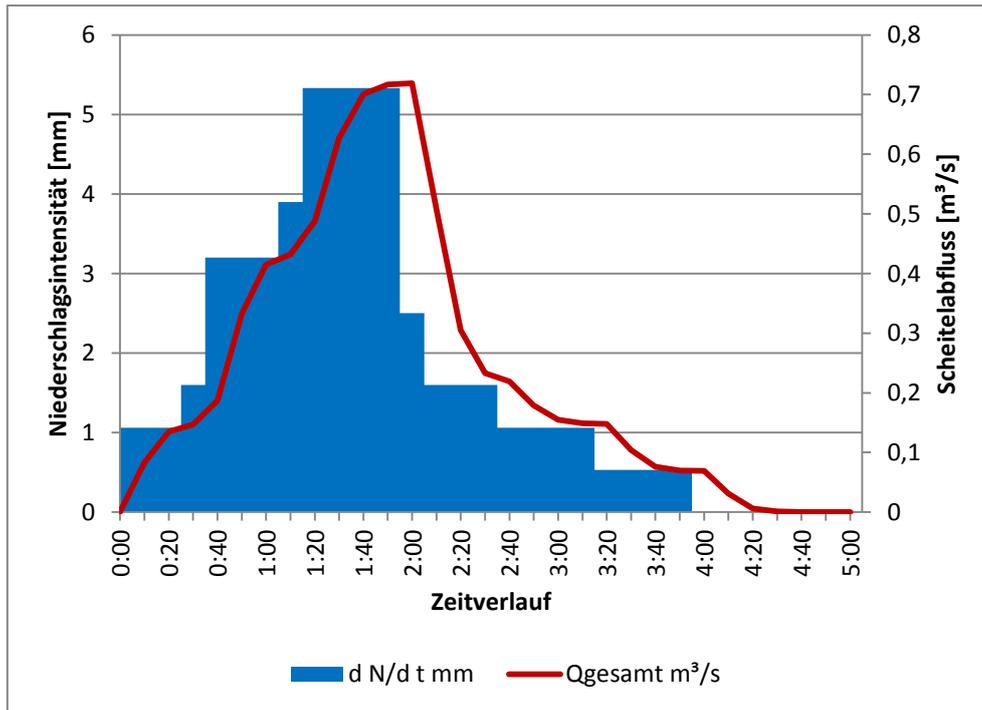


Abbildung 61: Niederschlag-Abfluss-Diagramm H2.

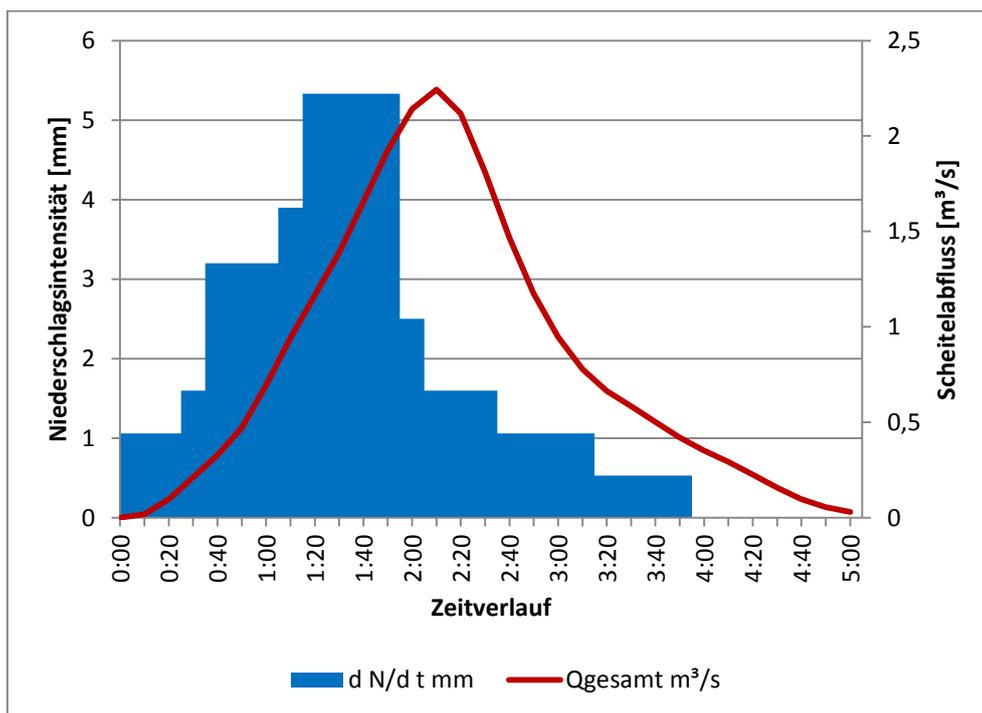


Abbildung 62: Niederschlag-Abfluss-Diagramm H3.

Mit Hilfe des Programmes "Flow 95" von Herrn Holger Schäuble wurde ein Multiple Flow Algorithmus auf das DGM angewendet, um somit die Abflussbahnen zu erkennen. Der Unterschied zu einem Single Flow Algorithmus ist, dass hier eine Zelle nicht nur in eine Nachbarzelle akkumulieren kann, sondern anteilig in mehrere Nachbarzellen. So ergibt sich folgende Darstellung der Fließwege.

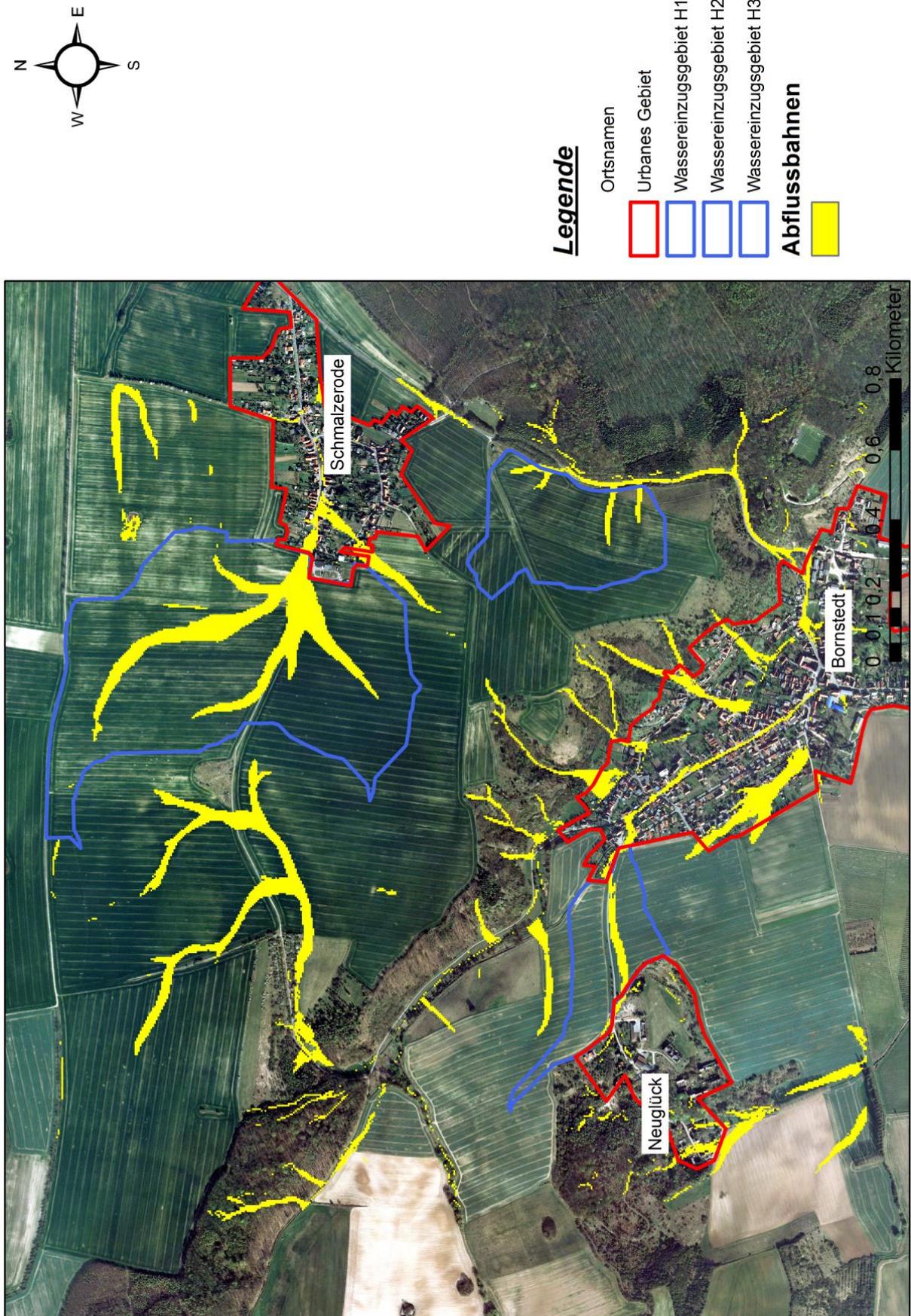


Abbildung 63: Fließwege (gestreckt) mit dem Multiple Flow Algorithmus.

In der obigen Abbildung wird die Verästelung der Fließwege sehr gut deutlich. Für die Erstellung wurde das digitale Geländemodell (DGM) verwendet. Das DGM repräsentiert die Erdoberfläche mit ihren Höheninformationen. Im Gegensatz zu dem digitalen Oberflächenmodell wurden jedoch die darauf befindlichen Objekte, wie zum Beispiel Bäume und Häuser, vernachlässigt. Das DGM stellt somit nur die natürliche Erdoberfläche dar und es entstehen vor allem im bebauten Gebiet interpolierte Höheninformationen. Infolgedessen können die realen Abflusslinien im urbanen Gebiet von den berechneten Abflusslinien abweichen. Die vorhandene Bebauung kann die Wassermassen gegebenenfalls umlenken und einen abweichenden Verlauf erzeugen. Deshalb ist in diesen Bereichen immer eine örtliche Begehung notwendig, um die realen Abflusslinien zu bestimmen.

Aufgrund der DGM-Auflösung von 10 x 10 Meter gehen kleinere Strukturen leider oft verloren. Kleinere Gräben oder Ackerüberfahrten sind meist zu klein und fallen bei der Erfassung durch das Raster. Sie müssen bei einer örtlichen Begehung manuell oder mit einem anderen Verfahren erfasst werden. Dafür würden sich, je nach freier Sicht im Zenit, GNSS-Systeme oder polare Messverfahren eignen. GNSS-Systeme (englisch: Global Navigation Satellite System - globale Navigationssatellitensysteme) sind satellitengestützte Verfahren. Es wird mittels Signalen von Navigationssatelliten eine räumliche Position des Empfängers berechnet. Die daraus gewonnenen Höheninformationen können im Nachgang in das vorhandene DGM integriert werden.

Auffällig sind zwei sehr große Wassereinzugsgebiete. Bei dem einen handelt es sich um das Wassereinzugsgebiet des Hotspots drei und ein weiteres westlich gelegenes sehr großes Wassereinzugsgebiet. Beide haben in etwa die gleiche Fläche und aufgrund der ähnlichen Bodeneigenschaften vermutlich auch einen vergleichbaren Gesamtabfluss. Lediglich ein etwas höheres Gefälle (5,5 %) im Vergleich zu dem Wassereinzugsgebiet des Hotspots drei könnte zu einem schnelleren Erreichen des Scheitelpunktes führen. Jedoch besitzt das Einzugsgebiet einen etwas längeren Hauptvorfluter. Das gleicht den Einfluss der höheren Neigung wieder aus. Insgesamt sind sich die Gebiete also extrem ähnlich. Betrachtet man das Luftbild oder schaut sich die Situation vor Ort an, erkennt man einen doch wesentlichen Unterschied. Während der Hotspot drei an ein Wohngebiet grenzt, befindet sich der Gebietsauslass des zweiten großen Wassereinzugsgebietes an einer Grünfläche mit angrenzender Gebüsch-Fläche.



Abbildung 64: Gebietsauslass des zweiten großen Wassereinzugsgebiets.

Wie in der Abbildung 64 zu erkennen ist, fließt das Oberflächenwasser dieses Wassereinzugsgebietes in eine Grün- und Gebüsch-Fläche. Hier kann das ankommende Wasser nur schwer Schaden anrichten. Das Grünland schützt den Boden und nimmt das Wasser nach und nach auf. Ganz anders ist das Bild am Hotspot drei.



Abbildung 65: Gebietsauslass am Hotspot drei.

Auf der rechten Seite ist ein bebautes Grundstück zu erkennen, vor diesem führt eine Straße in den Ort hinein. Hier fließt das gesamte Oberflächenwasser auf das Gelände des

Privatbesitzers und die Straße entlang. Dort kann das Wasser wesentlich mehr Schaden anrichten als auf der Grünfläche. Unter der Hecke wurde ein kleiner Wall von geringer Höhe angelegt, um das Wasser abzuleiten.

Sehr ähnlich ist die Situation am Hotspot eins.



Abbildung 66: Blick von Westen auf den Hotspot eins.

Auch hier dient die Straße als Transportweg für das Oberflächenwasser und den mit transportierten Sedimenten. Bei sehr vielen Regenereignissen wird der Garten rechts der Straße überschwemmt. Der Grundstücksbesitzer des Gartens hat als Schutzmaßnahme eine kleine Mauer errichtet. So wird das meiste Wasser an seinem Grundstück vorbei geleitet und fließt weiter in den Ort hinein.

Am Hotspot zwei steht die Landesstraße "L 224" im Vordergrund. Hier fließt das gesamte Oberflächenwasser am Hotspot auf die Landstraße. Mit dem Wasser wird auch ein Teil des Bodens des Wassereinzugsgebietes mit geschwemmt und sorgt für ein hohes Gefahrenpotenzial für die Verkehrsteilnehmer. Besonders hoch ist das Risiko im nördlichen Teil. Hier ist kein schützender Grün- oder Gehölz-Streifen zwischen der Straße und der Ackerfläche. So können die Schlammmassen direkt auf die Straße gespült werden. Etwas südlicher ist die Lage schon geringfügig günstiger. Hier beginnt ein Grün- und Gehölz-Streifen und wird mit zunehmender Länge immer breiter.



Abbildung 67: Blick von Süden auf den Hotspot zwei.

4.6 Ausblick für weiteres Vorgehen

Bewirtschaftungsart

Wie in Tabelle 5 gut zu erkennen ist, sind alle C-Faktoren sehr gut. Ziel sollte es immer sein, einen C-Faktor zwischen 0,08 und 0,06 zu erreichen. Die ermittelten C-Faktoren liegen zwischen 0,12 und 0,02. Die Flächen mit den Werten 0,12 entstehen durch den diesjährigen Pflugeinsatz auf den Schlägen, welche dieses Jahr mit Wintergerste bestellt werden. In den kommenden zwei Jahren werden diese Flächen laut Landwirt allerdings pfluglos bewirtschaftet. Es handelt sich um ein Pflugsystem, bei dem alle drei Jahre der Pflug zum Einsatz kommt. Somit sind es in den kommenden Jahren geringere C-Faktoren und somit auch eine geringere Erosionsgefährdung. Es handelt sich demzufolge um eine relativ gute Bewirtschaftungsart.

Zwischenfruchtanbau (A2) und konservierende Bodenbearbeitung (A4)

Auch bei guten C-Faktoren gibt es Phasen, in denen das Feld unbewachsen ist (siehe zum Beispiel Abbildung 67). Gerade in dieser Zeit ist, wie die Abflussmodellierung zeigt, eine sehr hohe Vulnerabilität vorhanden. Zusätzlich kam es in der Vergangenheit immer häufiger gerade in dieser Zeit zu Starkregenereignissen und auch in der Zukunft wird diese Wahrscheinlichkeit eher zu- als abnehmen. Es wird zwar empfohlen ab sieben Tonnen pro Hektar und Jahr erosionsschützende Maßnahmen einzuleiten, Langfristig betrachtet sollte aber ein maximaler Bodenabtrag von 2,5 Tonnen pro Hektar und Jahr angestrebt werden. Aus

diesen Gründen ist es ratsam, weitere acker- und pflanzenbauliche Erosionsschutzmaßnahmen anzuwenden, um die Zeitspanne ohne Bodenbedeckung möglichst gering zu halten. Dieses könnte zum Beispiel durch Zwischenfrüchte oder Strohmulch geschehen. Auch die Mulchsaat hat sich als bodenschützendes Bestellverfahren bewiesen. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass die Bestellung möglichst ohne Saatbettbereitung erfolgt, damit eine bodenschützende Mulchauflage erhalten bleibt. Die zusätzlichen Kosten für die Mulchsaat sollten durch Kombination von Aussaat und Stoppelbearbeitung und einer Auswahl von kostengünstigen Zwischenfrüchten, wie Senf oder Ölrettich, so gering wie möglich gehalten werden.

Schlaggestaltung (A9)

Im Bereich der Flurgestaltung bietet es sich an, parallele Streifen quer zum Gefälle mit Wechsel der Fruchtart oder Einsaat anzulegen. Dadurch liegen nicht große landwirtschaftliche Flächen zur gleichen Zeit ohne Bodenbedeckungsschutz brach. Reicht dieses nicht aus, gibt es auch noch die Möglichkeit eine Schlagunterteilung mit Wegen oder Feldrainen zu bewirken.⁴⁷

Möglichkeiten Hotspot 1:

Mit dem Errichten der Mauer am Hotspot eins ist eine erste Möglichkeit zum Schutz vor den Sturzfluten realisiert. Sicherlich schützt dieses nur den Anrainer und es ist noch zu klären, inwieweit die nachfolgenden Grundstücksbesitzer von dieser Baumaßnahme eventuell beeinträchtigt werden, doch es ist ein erster Schritt. Wie auf der nachfolgenden Abbildung 68 zu erkennen ist, bedarf es keiner sehr hohen Mauer.



Abbildung 68: Errichtete Mauer zum Schutz vor Sturzfluten am Hotspot eins.

⁴⁷ "Broschüre gute fachliche Praxis" 2002; S. 56

4 Anwendungsbeispiel einer Risikoanalyse zu Wassererosion und Sturzfluten

Schaut man auf das Luftbild, welches von 2009 ist, erkennt man, dass zu dieser Zeit hier ein kleiner Schlag von etwa 13 Metern Breite vor der Mauer existiert haben muss. Laut Landwirt war die Fläche früher in privater Bewirtschaftung und wurde erst später an den Landwirt verpachtet. Dieser Schlag war zu der Zeit sicherlich von Vorteil für den Grundstückseigentümer und diente als kleiner Fruchtfolgewechsel. Spätestens nach der Zusammenfassung zu einer Ackerfläche wurde die Errichtung der Mauer zu einer Notwendigkeit.



Abbildung 69: Blick von Westen auf den Hotspot eins.



Abbildung 70: Blick vom Hotspot eins in Richtung Westen.

In der Abbildung 69 und Abbildung 70 wird ein weiteres Defizit ersichtlich. Die Schläge grenzen nahezu direkt an die Straßenflächen. Es gibt weder einen Graben noch einen durchgehenden Feldrain. Mögliche Maßnahme wäre, einen neuen Graben anzulegen. Dieser

würde das ankommende Wasser ableiten können. Alternativ würde auch das Anlegen eines neuen und etwa drei Meter breiten Feldrains für Entschärfung sorgen. Dieser kann zwar kaum die Wassermassen aufhalten, er könnte jedoch helfen, einen Teil der Sedimente zurückzuhalten. Da es sich nur um einen maximal etwa 150 Meter breiten Streifen südlich und nördlich des Weges handelt, welcher zum Wassereinzugsgebiet gehört, ist es relativ ungünstig, eine Schlagunterteilung vorzunehmen.

Mögliche Erosionsschutzmaßnahmen am Hotspot 1 sind demzufolge:

- Mauer
- Graben
- Feldrain

Möglichkeiten Hotspot 2:

Am Hotspot zwei ist die Ausgangssituation ähnlich:



Abbildung 71: Blick vom Hotspot zwei in Richtung Westen.

Auch hier ist keine wirkungsvolle Barriere zwischen Straße und Acker zu verzeichnen. Deshalb sind hier die Maßnahme-Vorschläge sehr ähnlich. Ein drei Meter breiter Graben mit dem zugehörigen Feldrain würde deutliche Entlastung bringen. An diesem Hotspot kommt etwas mehr Oberflächenwasser an, als bei Hotspot eins. Für den Fall, dass diese Maßnahme nicht ausreicht, können Graben und Feldrain noch etwas größer dimensioniert werden. Alternativ ist es auch möglich, die örtlich vorhandene Schlagunterteilung (siehe Abbildung 45) noch weiter auszubauen. Der Weg, welcher örtlich nur bis zur Hälfte über den Schlag

verläuft, sollte dann bis an den im Norden angrenzenden Weg reichen und somit als Barriere dienen. Auch sollte er immer in einem guten Zustand sein, vor allem zur Zeit der Brache. Damit würde sich das Wassereinzugsgebiet in etwa halbieren. Infolgedessen verringern sich Gesamtabfluss und Scheitelwerte.

Mögliche Erosionsschutzmaßnahmen am Hotspot 2 sind demzufolge:

- Graben
- Feldrain
- Schlagunterteilung

Möglichkeiten Hotspot 3:

Schaut man auf das Wassereinzugsgebiet des letzten Hotspots, wird eine neue Dimension deutlich. Das Gebiet ist doch deutlich größer als die anderen beiden. Da mehr Fläche zur Verfügung steht, würde sich hier eine Schlagunterteilung anbieten. Damit ist ein Wechsel der Anbaufrucht gemeint. Dieser sollte in West-Ost Richtung verlaufen, also quer zur allgemeinen Gefällrichtung. Dafür würden sich beide Hänge, sowohl nördlich, als auch südlich des Weges eignen.



Abbildung 72: Blick vom Hotspot drei entlang des Weges in Richtung Westen.



Abbildung 73: Blick von Norden auf den Hotspot drei.

Das Wassereinzugsgebiet erstreckt sich in Richtung Süden über eine Strecke von etwa 360 Meter und in Richtung Norden über die gesamte Schlaglänge von etwa 570 Meter. Hier ist es je nach ackerbaulicher Sicht vielleicht sogar möglich den Hang in drei Segmente zu unterteilen. In diese Unterteilung könnte ein Rigolensystem integriert werden. Das würde bedeuten, dass das Oberflächenwasser teilweise in den Rigolen aufgefangen werden könnte. Dort kann es entweder gespeichert werden, um es später wieder abzugeben oder auch einem Vorfluter zugeführt werden. Somit würde sich das Oberflächenwasser deutlich reduzieren. Da es sich hier aber um einen enormen Scheitelwert von bis zu drei Kubikmeter Wasser (je nach Nutzung) handelt, ist es empfehlenswert weitere Maßnahmen durchzuführen. Die landwirtschaftliche Fläche am Gebietsauslass könnte in Grünland umgewandelt werden. Diese Flächen können von Landwirt dem Greening zugeordnet werden. Bei dem Greening handelt es sich um Direktzahlungen für Landwirtschaftsmethoden, die den Klima- und Umweltschutz fördern. Somit könnte der Landwirt den Ertragsausfall für diese Flächen kompensieren. Zusätzlich könnte eine Verwallung in diesem Gebiet helfen, das restliche Oberflächenwasser aufzuhalten. Das würde die Gemeinde schützen und eine Ablagerung der Sedimente vor dem bebauten Gebiet ermöglichen.

Mögliche Erosionsschutzmaßnahmen am Hotspot 3 sind demzufolge:

- Schlagunterteilung
- Rigolensysteme
- Grünlandumwandlung
- Verwallungen

4.7 Erörterung der Ergebnisse mit den Beteiligten

Bei einem Gespräch mit dem Landwirt wurden die Ergebnisse präsentiert und die möglichen Maßnahme-Vorschläge besprochen. Es soll versucht werden, durch Darstellung konkreter Gefahrensituationen die lokalen Akteure, hier primär den Landwirt, zu sensibilisieren.

Zwischenfruchtanbau (A2)

Vor allem die Scheitelwerte der drei Hotspots zeigten deutlich die Notwendigkeit, Maßnahmen in dem Gebiet anzuwenden, damit ein Fortbestehen der Bodenqualität gewährleistet werden kann. Gerade in der unbewachsenen Phase ist die Gefahr, dass übermäßig viel Boden abgetragen wird, sehr hoch. Aus diesem Grund ist eine permanente ausreichende Bodenbedeckung von größter Wichtigkeit. Um dem immergrünen System so nah wie möglich zu kommen, plant der Landwirt vor allem mit Zwischenfrüchten zu arbeiten. Da er an einigen Flächen Leguminosen anbaut und diese auch erntet, kann er diese sehr kostengünstig auf den Brachflächen aussäen. Weiterer Vorteil der Leguminosen ist, dass sie nicht winterhart sind und somit sterben sie nach ein paar Frostperioden ab. Auch denkbar wäre, dass das Ausfallgetreide nach der Ernte bestehen bleibt, keimt und somit für eine Bodenbedeckung sorgen kann. Jedoch ist dieses winterhart und muss demzufolge entweder mit der Spritze abgetötet oder aber mit dem Grubber zerstört werden. Allerdings ist es bei machen Anbaufrüchten, wie zum Beispiel Winterweizen, aus zeitlichen Gründen nicht möglich, Zwischenfrüchte zu verwenden. Kaum ist das Feld abgeerntet, wird schon die Folgefrucht gesät. So bleibt keine Zeit für die Zwischenfrucht.

Hotspot 1:

Am Hotspot eins, welcher schon bestellt ist und auch die ersten kleinen Pflanzen zu sehen sind, werden in diesem Jahr keine Änderungen vorgenommen. Hier ist für das kommende Jahr eine Verbreiterung des Grünstreifens zwischen der Straße und der nördlichen Ackerfläche geplant. Im oberen Bereich ist eine ausreichende Barriere schon vorhanden. Diese soll sich dann bis zum Hotspot erstrecken. Zusätzlich wird beim nächsten Pflügen eine Pflugfurche vor dem Grünstreifen angelegt. Hier soll sich das erste Wasser sammeln und die Geschwindigkeit gedrosselt werden. Die Situation auf der südlichen Fläche wird vorläufig so bleiben. Einzige Variante, welche aber noch nicht beschlossen ist, wäre eine Begrünung der Fläche im östlichen Bereich. Hier ist der Boden immer sehr nass, vor allem bei andauernden oder sich häufig wiederholenden Niederschlagsereignissen. Durch die permanente Vegetation

würde der Boden schneller abtrocknen und wäre wieder aufnahmefähiger für das nächste Niederschlagsereignis.

Erosionsschutzmaßnahmen am Hotspot 1 sind demzufolge:

- Verbreiterung Grünstreifen / Feldrain
- Vorgelagerte Pflugfurche als zusätzliche Barriere
- Gegebenenfalls Begrünung

Hotspot 2:

Relativ ähnlich ist die Ausgangssituation am Hotspot zwei. Hier kommen vergleichbare Wassermassen am Gebietsauslass an. Auch hier ist die Schwachstelle der zu kurze Abstand zwischen landwirtschaftlicher Nutzfläche und Straße. Folgendes Szenario muss hier immer wieder vor Augen gehalten werden: Nach einem starken Regenereignis ist die Straße verdreckt und ein Motorradfahrer fährt die Straße entlang. Aufgrund der vielen Kurven, sieht er die Verschmutzung nicht rechtzeitig und fährt ungebremst weiter. Im Anschluss verliert er die Kontrolle über sein Fahrzeug und verunglückt. Wer wird in diesem Fall für den finanziellen und personellen Schäden haftbar gemacht?



Abbildung 74: Blick vom Hotspot zwei in Richtung Süden.

Für den Landwirt spielt sich noch eine weitere Verkettung unglücklicher Zufälle ab. Kommt sein Schlepper oder anderes landwirtschaftliches Gerät der Kante zur Straße zu nah (der Boden ist vielleicht zusätzlich sehr feucht) und die gesamte Ackerkante rutscht ab, gerät seine Maschine auf die Straße. Diesem Schaden möchte er aus dem Weg gehen und wird deswegen den Grünstreifen in diesem Bereich erweitern. Etwa fünf Meter von der Kante entfernt verläuft eine unterirdische Versorgungsleitung. Diese ist mit Markierungspfählen in der

4 Anwendungsbeispiel einer Risikoanalyse zu Wassererosion und Sturzfluten

Örtlichkeit sichtbar gemacht. Bis zu diesen Pfählen ist es geplant einen Grünstreifen einzurichten. Auch dieser wird mit einer vorgelagerten Pflugfurche ergänzt und filtert das Sediment aus den Wassermassen. Da das Gefahrenpotenzial hier sehr hoch ist, sollte eine weitere Schutzmaßnahme erfolgen. Auf der dem Acker zugewandten Seite der Straße ist noch ansatzweise ein Graben zu erkennen. Es wäre sehr vorteilhaft, wenn dieser neu restauriert wird und so die Wassermassen abgeleitet werden können. Den Graben kann man bis zum Ortseingang verfolgen, wo er einfach auf die Straße mündet. Im Zuge der Grabenwiederherstellung sollte hier ebenfalls eine bessere Lösungsmöglichkeit gefunden werden.

Um das Wassereinzugsgebiet des Hotspots zwei zu verkleinern, wäre es möglich den teilweise vorhandenen Weg im Westen, welcher den Schlag 44 und 45 teilt, ein wenig höher aufzuschütten und ebenfalls eine Pflugfurche vorzulagern. Auch die Kante des nördlich angrenzenden Schlages wird durch eine Furche weiter ausgebaut. Hier ist das Gefälle noch gering genug, um mit dieser einfachen Variante eine Verbesserung erzielen zu können. Einziger Nachteil ist die Zunahme des mittleren Gebietsgefälles. Die nordwestlichen Flächen, welche eine geringe Hangneigung aufweisen, werden nun nicht mehr miteinbezogen und es steigt das mittlere Gebietsgefälle von 10,6 % auf 13,7%.

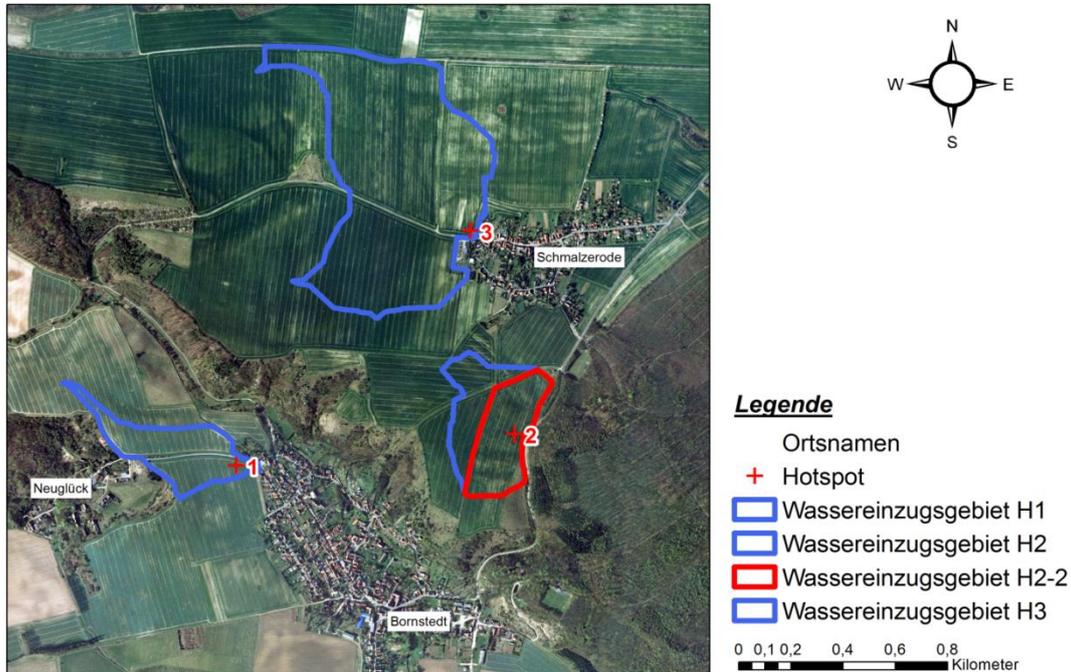


Abbildung 75: Wassereinzugsgebietsverkleinerung am Hotspot zwei (H2-2).

Allgemeine Gebietsparameter	Einheiten	H2-2	H2
Fläche	[ha]	8,86	15,15
Länge des Hauptvorfluters	[km]	0,17	0,50
Mittleres Gebietsgefälle	[%]	13,73	10,60
Mittlere Bodenart		Ut3	Ut3

Unbew. Boden	Einheiten	H2-2	H2
Mittlerer Gebiets-CN		92,70	92,48
Effektiver Niederschlag	[mm]	37,87	37,02
Scheitelabfluss	[m ³ /s]	0,50	0,94
Gesamtabfluss	[m ³]	3.328	5.446

Bew. Boden	Einheiten	H2-2	H2
Mittlerer Gebiets-CN		85,81	85,55
Effektiver Niederschlag	[mm]	28,37	28,03
Scheitelabfluss	[m ³ /s]	0,396	0,719
Gesamtabfluss	[m ³]	2.453	4.122

Bew. Boden hohe Vorfeuchte	Einheiten	H2-2	H2
Mittlerer Gebiets-CN		93,28	93,17
Effektiver Niederschlag	[mm]	38,95	38,73
Scheitelabfluss	[m ³ /s]	0,51	0,99
Gesamtabfluss	[m ³]	3.464	5.695

Bew. Boden üppige Veg.	Einheiten	H2-2	H2
Mittlerer Gebiets-CN		87,86	87,35
Effektiver Niederschlag	[mm]	31,66	28,29
Scheitelabfluss	[m ³ /s]	0,43	0,72
Gesamtabfluss	[m ³]	2.628	4.171

Tabelle 11: Ergebnisse der Wassereinzugsgebietsverkleinerung am Hotspot zwei (H2-2).

Durch eine Wassergebietsverkleinerung würden sich die Scheitelwerte natürlich bei allen Szenarien deutlich verringern. Durchschnittlich ist eine Reduzierung von in etwa 50 % zu verzeichnen. Sehr ähnlich verhält sich der Gesamtabfluss.

Erosionsschutzmaßnahmen am Hotspot 2 sind demzufolge:

- Verbreiterung Grünstreifen / Feldrain
- Vorgelagerte Pflugfurche als zusätzliche Barriere
- Grabenwiederherstellung
- Schlaggestaltung

Hotspot 3:

Im Gegensatz zu den anderen beiden Hotspots ist das Gebiet des dritten Hotspots so groß, dass eine Schlagunterteilung sehr sinnvoll wäre. Der Landwirt plant im nächsten Sommer eine Unterteilung der nördlichen Fläche in zwei verschiedene Fruchtfolgen. Die Abgrenzung soll

in etwa auf der Hälfte der Strecke erfolgen und unterschiedliche Vegetationsphasen mit sich ziehen. Damit möglichst eine zeitgleiche Brache der großen Fläche vermieden wird. Auf den Schlag mit der Nummer 133 hat er leider keinen Einfluss, da ihn ein anderer Landwirt bewirtschaftet. Jedoch soll diese Option mit ihm besprochen werden. Ebenfalls zu überlegen ist, ob diese Variante auch auf dem gegenüberliegenden Hang durchgeführt werden sollte. Bringt diese Maßnahme nicht den gewünschten Erfolg, wird entweder ein zusätzlicher Graben an dem Fruchtfolgewechsel angelegt oder aber ein Rigolensystem am Ende des Hangs integriert. Die in Abbildung 76 mit einem roten Punkt gekennzeichneten Bereiche, besitzen eine erhöhte Bodenfeuchtigkeit. An diesen könnten ebenfalls Rigolensysteme integriert werden.



Abbildung 76: Die roten Punkte kennzeichnen besonders feuchte Bereiche am Hotspot drei.

Der Schwerpunkt liegt vorläufig in kostengünstigen und weniger aufwendigen Maßnahmen, da jedes Bauwerk im Normalfall wasserrechtlich genehmigt werden müsste und hohe Kosten entstehen würden. Das Anlegen einer Schlagunterteilung, von Grünstreifen und Pflugfurchen hingegen ist einfach, kostengünstig und schnell.

Laut Klimamodelle werden für den Winter eher weniger und für den Sommer eher mehr Niederschlag prognostiziert, um vorausschauend zu planen, sollte das Wasserhaushaltssystem im Vordergrund stehen. Trockene Sommer sind für den Weizen sehr schlecht. Der Weizen reift früher, die Körner sind sehr klein und der Ertrag wird wesentlich geringer. Ein ähnliches Bild zeichnet sich bei den Zuckerrüben ab. Auch sie benötigen viel Wasser, um ein optimales Ernteergebnis zu produzieren. Mais und Roggen hingegen würden davon profitieren, da sie robuster auf Wassermangel reagieren.

Erosionsschutzmaßnahmen am Hotspot 3 sind demzufolge:

- Schlaggestaltung
- Vorgelagerte Pflugfurchen als zusätzliche Barriere
- Fruchtfolgegestaltung

4.8 Bodenordnungsmaßnahmen zur Umsetzung der Ziele im Bereich Klimawandel

Das wohl wichtigste Instrument der Bodenordnung ist die Flurbereinigung. Gesetzliche Grundlage ist das Flurbereinigungsgesetz (FlurbG) und das Landwirtschaftsanpassungsgesetz (LwAnpG). Die Flurbereinigung dient als Strukturelement der Landwirtschaft und sorgt für eine vielfältige, ökologisch leistungsfähige Kulturlandschaft. Zusätzlich wird die Infrastruktur gestärkt und zersplitterte Bodenverhältnisse beseitigt.

Im § 1 FlurbG werden die zentralen Ziele der Flurbereinigung genannt. Im Vordergrund stehen die Verbesserung der Produktions- und Arbeitsbedingungen in der Land- und Forstwirtschaft und die Förderung der allgemeinen Landeskultur und der Landentwicklung.

Die generellen Ziele der Flurbereinigung unterliegen in gewisser Art einem zeitlichen Wandel. Bis 1976 stand beispielsweise die landwirtschaftliche Produktionssteigerung im Vordergrund. Mittlerweile ist sie ein zentrales Instrument ländlicher Strukturpolitik, mit dem auch ein Ausgleich der flächenbezogenen Interessen im ländlichen Raum erreicht werden soll.⁴⁸ In der heutigen Zeit kommen zwei neue Herausforderungen hinzu: Die Begleitung des Klimawandels und der Energiewende. Gerade die Ereignisse der vergangenen Jahre zeigen deutlich, dass gehandelt werden muss. Eine vorsorgende Gefahrenabwehr, zum Beispiel durch Erosionsschutzmaßnahmen und Regulierung des Oberflächenwassers, sollte bei allen Bodenordnungsmaßnahmen nicht mehr vernachlässigt werden. Bestimmende Elemente sind Schlaggestaltung, Schlaggröße und das Wege- und Gewässernetz. Vor allem die kleinen Barrieren, wie zum Beispiel Verwallungen, Mulden, Senken und Gräben, verschwinden immer mehr oder werden nicht ausreichend gepflegt. "Viele erforderliche Offsite-Maßnahmen scheitern derzeit noch aufgrund der vorherrschenden Eigentums- und Pachtverhältnisse an der Flächenbereitstellung.[...] Das Land Sachsen-Anhalt hat beschlossen, die genannten Probleme Hochwasser und Erosion gezielt durch die Förderung von geohydrologischen Gutachten mit Maßnahmeplänen und durch Flurbereinigungsverfahren zu beheben."⁴⁹

Als Ausgangspunkt sollte immer eine Risikoanalyse durchgeführt werden. Je nach Ergebnis können auf freiwilliger Basis gegebenenfalls einfache Maßnahmen in der Bewirtschaftungsart ausreichend sein. Andernfalls müssen weitere Maßnahmen mit herangezogen werden. Doch

⁴⁸ Standardkommentar Flurbereinigungsgesetz 2013, S. 6

⁴⁹ zfv 3/2012, S. 146

wer hat die entstehenden Kosten zu tragen? Hier kann die Flurbereinigung helfen. Sie ermöglicht es, die Kosten auf die Teilnehmergeinschaft zu verteilen. Ebenso kann sie die nötigen Flächen für die Erosionsschutzmaßnahmen bereitstellen, planen und ausführen. Erosionsschutzmaßnahmen können sein: Maßnahmen der Landeskultur, wie zum Beispiel Hecken oder dauerhaft begrünte Flächen, oder ingenieurbautechnische Maßnahmen, wie zum Beispiel Gräben, Verwallungen oder Regenrückhaltebecken. Auch nach dem Errichten der Bauwerke fallen weitere Kosten / Aufwendungen für die regelmäßige Unterhaltung an.

Das FlurbG unterscheidet zwischen Verfahrenskosten (§ 104) und Ausführungskosten (§ 105). Zu den Verfahrenskosten zählen zum Beispiel die Kosten für die Dienstleistungen (Wertermittlung, Vermessung...). Sie werden im vollen Umfang vom Land getragen. Die Ausführungskosten hingegen sind von der Teilnehmergeinschaft zu zahlen. Größter Anteil stellt die Erstellung der gemeinschaftlichen Anlagen nach § 41 dar. Auch die Erosionsschutzmaßnahmen fallen in diesen Bereich. Vor allem die Ingenieurbauwerke lassen die Kosten oftmals stark steigen. Im Pilotprojekt Riestedt beliefen sich die Kosten für die Straßen und Wege auf circa 830.000 €. Für die Maßnahmen zum Erosionsschutz inklusive Bauleitung sind hingegen ca. 3.150.000 € aufzubringen, also fast das 4-fache. Die Teilnehmergeinschaft muss in der Regel nur 25 % der Ausführungskosten wirklich selbst aufbringen, da der Rest gefördert wird. Trotzdem treiben die erosionsschützenden Ingenieurbauwerke den Eigenanteil in eine Größenordnung mit abschreckender Wirkung. Hier akzeptable Förderangebote und eine überzeugende Präsentation der Notwendigkeit solcher Maßnahmen zu erarbeiten, gehören zu den aktuellen Aufgaben.

Im § 37 des FlurbG wird die zentrale Funktion für die Durchführung von Flurbereinigungsverfahren, somit auch der Handlungsrahmen, erläutert. Durch diese Vorschrift wird es möglich, den Grundbesitz in der Weise neu zu ordnen, dass z.B. Flächen zur Schaffung von Erosionsschutzmaßnahmen an den Stellen bereitgestellt werden können, die sich aus der Risikoanalyse ergeben. Die Realisierung von ingenieurtechnischen Baumaßnahmen wird unter anderem im § 41 des FlurbG dargelegt.

Für jedes Flurbereinigungsverfahren muss eine Privatnützigkeit nachgewiesen werden. Das bedeutet, es ist nur zulässig, wenn es im überwiegenden Interesse der Beteiligten liegt (§§ 1 und 4). Diese Prüfung wird bei dem Regelverfahren nach § 1 und 37 von der oberen Flurbereinigungsbehörde, welche das Landesverwaltungsamt in Sachsen-Anhalt darstellt, durchgeführt. Bei vereinfachten Verfahren nach § 86 ist hingegen das Amt für Landwirtschaft, Flurneuordnung und Forsten als Flurbereinigungsbehörde in Sachsen-Anhalt

zuständig. Dabei handelt es sich immer um einen Abwägungsprozess, da auch öffentliche Interessen mit einfließen können. Aufgrund der unterschiedlichen flächenbezogenen Interessen und der damit verbundenen Zielkonflikte ist diese Entscheidung oft nicht einfach und muss in strittigen Fällen durch die Rechtsprechung erfolgen. Diese Prozesse können mehrere Jahre verschlingen.

Dem Erosionsschutz als neue Herausforderung im ländlichen Raum steht die rechtsverbindliche Prüfung der Privatnützigkeit und somit die Einordnung in das Flurbereinigungsrecht noch bevor. Bis es soweit ist, erscheint es durchaus legitim, davon auszugehen, dass Maßnahmen zum Schutz vor ungehindertem Eindringen von Oberflächenwasser und Sedimenten in Privatgrundstücke oder ganzen Ortslagen privatnützig sind. Nach geltender Rechtsprechung ist es für das Vorhandensein der Privatnützigkeit nicht erforderlich, dass jeder einzelne Beteiligte einen konkreten Vorteil aus einer durchgeführten Maßnahme zieht. Auch die natürliche Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit kann in gewisser Weise als privatnützig eingeordnet werden.

Eine unentgeltliche Flächenbereitstellung für Baumaßnahmen und die Schaffung gemeinschaftlicher Anlagen gehört gemäß § 37 FlurbG zum Handlungsrahmen der Flurbereinigung. Der dafür erforderliche Landabzug wird laut § 47 rechnerisch auf alle Teilnehmer im Verhältnis ihrer Einwurfswerte verteilt. Dabei handelt es sich nicht um eine Enteignung, da man davon ausgeht, dass der Wert der späteren Zuteilungsgrundstücke an die Teilnehmer trotz dieses Landabzugs höher ist, als er es ohne die Durchführung des Flurbereinigungsverfahrens wäre. Auch diese Maßnahmen müssen als privatnützig anerkannt werden und somit dem Zweck der Flurbereinigung (§ 39) dienen. Ein Beispiel dafür sind die Wirtschaftwege, welche als Ergebnis einer Flurbereinigung (§ 41) neu angelegt werden. Nach der Feststellung beziehungsweise Genehmigung des Plans der gemeinschaftlichen und öffentlichen Anlagen nach § 41 FlurbG von der oberen Flurbereinigungsbehörde besteht, aufgrund der materiellen und formellen Konzentrationswirkung des Plans für alle darin vorgesehenen Baumaßnahmen Baurecht. Es bedarf demzufolge keiner weiteren Bauanträge. Diese Rechtswirkung entfaltet der Plan auch für diejenigen erosionsschützenden Anlagen, die als gemeinschaftliche Anlagen ausgewiesen werden.

Die Unterhaltung der Anlagen ist laut § 42 Sache der Teilnehmergeinschaft, wenn sie die Anlagen hergestellt hat. Sie ist so lange unterhaltungspflichtig, bis die Anlagen an die

gesetzlich festgelegten Institutionen über gehen. Dieses tritt spätestens bei Rechtskraft des Flurbereinigungsplanes ein.⁵⁰

Prinzipiell ist das Regelverfahren nach § 1 FlurbG für die Umsetzung von Erosionsschutzmaßnahmen geeignet. Hier ist lediglich die angesprochene Privatnützigkeit zu prüfen. Um der meistens sehr hohen Dringlichkeit der Maßnahmen Rechnung zu tragen, eignet sich vor allem das vereinfachte Verfahren nach § 86 FlurbG. Seit der Novelle von 1994 deckt das vereinfachte Verfahren mindestens denselben Bereich ab wie das Normalverfahren. "Das vereinfachte Verfahren unterscheidet sich seither nur noch in den Rechtsfolgen [...] vom Normalverfahren."⁵¹ Allerdings ist auch hier noch das Problem der Privatnützigkeit zu klären. Ein weiteres Verfahren, in dessen Durchführung die Umsetzung von Erosionsschutzmaßnahmen möglich wäre, ist die Unternehmensflurbereinigung nach § 87 FlurbG. Dabei können die Erosionsschutzmaßnahmen jedoch nicht die das Flurbereinigungsverfahren auslösende Unternehmen sein.

Gerade weil der rechtliche Rahmen für die Umsetzung von Erosionsschutzmaßnahmen innerhalb der Flurbereinigung noch nicht geklärt ist, kommt der Überzeugung der Beteiligten vor Ort eine große Bedeutung zu. Erster Schritt ist die Abschätzung des Gefahrenpotentials. Das Land Sachsen-Anhalt hat dazu ein A0-Vertragsmodul für die Voruntersuchungen für Flurbereinigungsverfahren mit Erosionsschutzzielen entwickelt. Hier werden die Eckpunkte Erosionsschutz, Regulierung und Gefahrenvorsorge des Oberflächenwasserabflusses durch Rückhaltung des Oberflächenwassers und des Bodenabtrages in der Fläche sowie gefahrlose Abführung des überschüssigen Oberflächenwassers aufgegriffen. Ausgehend von einer Situations- und Risikoanalyse für ein vierstündiges Niederschlagsereignis (Basis KOSTRA-DWD-2000, 50-jähriges Wiederkehrintervall) wird eine Flurneugestaltung erarbeitet. Ebenfalls gehört eine Simulierung der Maßnahme-Vorschläge mit zum Leistungsumfang. Es handelt sich demzufolge um eine sehr ähnliche Aufgabenstellung wie in dieser Arbeit. Das Ergebnis wird als Größenordnung für die Dimensionierung der Anlagen verwendet. Anlagen können zum Beispiel Fanggräben für den Oberflächenabfluss und Abflussbarrieren sein.

⁵⁰ Standardkommentar Flurbereinigungsgesetz 2013, S. 241

⁵¹ Standardkommentar Flurbereinigungsgesetz 2013, S. 426

5 Fazit

In dieser Arbeit wird ein mögliches Analyseverfahren als Risikoanalyse für Wassererosion und Sturzfluten beschrieben und durchgeführt. Als Ergebnis erhält man eine objektive Aussage zur Vulnerabilität einzelner gefährdeter Gebiete. Dieses erlaubt eine Einschätzung der Dimensionierung von Gegenmaßnahmen und somit auch eine grobe Kostenkalkulation.

Beide hier vorgestellte Verfahren (ABAG und CN-Verfahren) stellen eine bedeutsame Möglichkeit dar, um mit einfachen Basisdaten eine Risikoanalyse durchzuführen. Sie dienen einer schnellen Erkennung potenzieller Übertritts-Punkte. Lediglich lokale Gegebenheiten, welche nicht aus dem DGM mit der Auflösung von 10 x 10 Meter zu erfassen sind, müssen vor Ort registriert und bei der anschließenden Betrachtung mit berücksichtigt werden. Um eine noch genauere Analyse zu ermöglichen, könnte bei der CN-Berechnung eine Berücksichtigung der realen Hanglängen erfolgen. Dieses stellt zwar einen Mehraufwand dar, dürfte aber für spezielle Bereiche von Vorteil sein.

Es werden zwei wichtige Faktoren betrachtet. Auf der einen Seite die Transportfrachten der Bodenerosion durch Wasser und auf der anderen Seite das abflusswirksame Oberflächenwasser, welches am Gebietsauslass gesammelt abfließt. Dabei handelt es sich um die Schlüsselfaktoren des ländlichen Bereichs, welche für die Gemeinden, Grundstücksbesitzer, Landwirte und Anrainer von besonderer Bedeutung sind. Vor allem die Bewirtschafter und Eigentümer der landwirtschaftlich genutzten Flächen sollten ein verstärktes Interesse an dem Erhalt der Bodenfruchtbarkeit besitzen. Dieses bestimmt maßgeblich die Ertragsfähigkeit der Schläge. Ein erfolgreicher Bodenrückhalt in der Fläche und Verringerung des Oberflächenabflusses, beziehungsweise der Schutz vor übermäßigem Oberflächenabfluss, sind entscheidend für die Qualität der Wohnsituation der Anrainer und Verkehrsteilnehmer. Ihre Sicherheit und der Rückgang von Überflutungsereignissen von privatem Wohnbesitz stehen im Vordergrund der Arbeit.

Die Häufung von Extremwetterereignissen entwickelt sich zu einem zunehmenden Problem und ein wirksamer Schutz gegen die Naturgewalten gewinnt stark an Bedeutung. Die Unwetter verursachen immer größere Schäden am öffentlichen und privaten Besitz. Viele Versicherungsgesellschaften melden eine stetig steigende Anzahl an volkswirtschaftlichen Schäden. Schlussendlich ist das Wetter kurzfristig betrachtet nicht beeinflussbar. Unweigerlich sollten wir versuchen diese Entwicklungen auch als Chance zu sehen.

Glossar

Begriff	Erklärung
Abflussbeiwert	Bezeichnet den Quotienten aus dem Teil des Niederschlagsereignisses, der direkt zum Abfluss (A_o) gelangt und den Gesamtniederschlag (N). $\Psi = \frac{A_o}{N}$
Allgemeine Bodenabtragungsgleichung (ABAG)	Schätzverfahren zur Quantifizierung von Bodenabtrag.
ASCII	"American Standard Code for Information Interchange" ist eine 7-Bit-Zeichenkodierung.
BBodSchG	Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten – Bundesbodenschutzgesetz.
BBodSchV	Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung.
Bodenabtrag / Wassererosion	Bodenverlagerung infolge intensiver Niederschläge oder Schmelzwasser.
Bodenbearbeitung	Bezeichnet einen mechanischen Eingriff in den Boden, um das Verhältnis zwischen Luft- und Wasseranteilen zu optimieren / erhalten.
Bodenbedeckungsgrad	Beschreibt wie groß der Anteil des Bodens ist, welcher durch organische Teile, zum Beispiel Stroh, bedeckt ist.
Bodenfunktionen	Produktions-, Regelungs- Lebensraum- und Archivfunktion des Bodens.
Bodenschadverdichtung	Bodenverdichtung mit negativen Auswirkungen auf Bodenfunktionen.
Bodenstruktur / Bodengefüge	Bezeichnet die räumliche Anordnung von festen Bodenbestandteilen.
BOWAM	Bodenwasserhaushaltsmodell.
DGM	Digitales Geländemodell.
Direktsaat	Eine Bestellung ohne jegliche Bodenbearbeitung seit der vorangegangenen Ernte.
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall.
DWD	Deutscher Wetterdienst.
Evapotranspiration	Summe der Verdunstung von Wasser aus Tier- und

	Pflanzenwelt, sowie von Boden- und Wasseroberflächen.
FlurbG	Flurbereinigungsgesetz der Bundesrepublik Deutschland.
Geomorphologie	Wissenschaft von den Formen der Erdoberfläche und den sie beeinflussenden Kräften und Prozessen.
GIS	Geoinformationssystem.
Handelsgewächse	Sind in der Landwirtschaft solche Pflanzen, die nicht zur Nahrung, sondern als Gewürz, zu gewerblichen Zwecken, Kleidungsstoffen dienen.
Infiltrationsvermögen	Beschreibt das Aufnahme- und Abführungsvermögen des Bodens von Niederschlägen.
Klima	Statistischer Begriff, welcher das durchschnittliche Wetter für einen längeren Zeitraum (in der Regel 30 Jahre) beschreibt.
Klimatische Wasserbilanz	Ergibt sich aus der Differenz von Niederschlag und potentieller Evapotranspiration (DIN 4049-3, DIN 1994).
Kombinat	Zusammenschluss von produktionsmäßig eng zusammenarbeitenden Industriebetrieben zu einem Großbetrieb in sozialistischen Staaten.
Kontaktflächendruck	Belastung des Bodens in der Berührungsfläche.
KOSTRA	Ist ein vom Deutschen Wetterdienst (DWD) herausgegebener Starkregenkatalog und steht für koordinierte Starkniederschlags-Regionalisierungs-Auswertungen.
Kurzumtriebsplantagen	Ist eine Anpflanzung schnell wachsender Bäume oder Sträucher mit dem Ziel, innerhalb kurzer Umtriebszeiten Holz als nachwachsenden Rohstoff zu produzieren.
Landentwicklung	Bezeichnet die Entwicklung des ländlichen Raumes, mit dem Ziel die Lebensbedingungen der Landbevölkerung zu verbessern.
Landeskultur	Gesamtheit der Maßnahmen zur Verbesserung der land- und forstwirtschaftlichen Nutzung des Bodens und zur Erhaltung der Kulturlandschaft.
Mulchsaat	Aussaart in die Pflanzenreststoffe der Vor- und / oder Zwischenfrucht, die flach eingearbeitet oder an der Oberfläche belassen worden sind.
Nutzbare Feldkapazität (nFK)	Die Wassermenge, die ein zunächst wassergesättigter Boden gegen die Schwerkraft nach 2 bis 3 Tagen noch halten kann.

Onland-Pflügen	Der ziehende Schlepper fährt nicht in der Pflugfurche, sondern mit allen Reifen auf der Ackeroberfläche.
Retentionsflächen	Ausweichflächen, die während eines Hochwassers als Überflutungsflächen dienen können.
Salziger See	War einer der Mansfelder Seen. Im frühen Mittelalter reichte deren Wasserfläche fast ununterbrochen von Eisleben über den Faulen See, Süßen See, Bindersee und Salzigen See bis zu den Langenbogener Teichen. Heute ist nur noch der Kernersee als einstmals nördliche Randbucht vom Salzigen See übrig.
Schlag	Zusammenhängendes Stück Ackerland, auf dem in der Regel nur eine Art von Pflanzen angebaut wird.
Schummerung	Flächentönung durch imaginäre Lichtquelle, um einen räumlichen Eindruck von der Reliefstruktur zu erhalten.
Schwarzerde	Bodentyp, welcher sich in Europa vorwiegend aus Löß bildet. Kennzeichnend ist ein mächtiger Humushorizont. Schwarzerden sind fruchtbare und hochwertige Ackerböden.
Sedimentation	Absetzen der durch Wasser oder Wind an der Bodenoberfläche transportierten Bodenteilchen bei Nachlassen der Fließ- oder Wehgeschwindigkeit.
Shape-Datei	Ein von der Firma ESRI entwickeltes Format für Geodaten.
Sturzflut	Ist eine plötzliche Überschwemmung, welche von intensiven, meist räumlich und zeitlich begrenzten Starkniederschlägen ausgelöst wird.
Treibhauseffekt	Einfluss der Erdatmosphäre auf den Wärmehaushalt der Erde, ähnelt der Wirkung des Daches eines Treibhauses.
Treibhausgase	Gase die zum Treibhauseffekt beitragen.
UNESCO	Organisation der Vereinten Nationen für Erziehung, Wissenschaft und Kultur.
VEB	Volkseigener Betrieb.
Vorfluter	Jegliche Art von Gerinne, in denen Wasser (Abwasser, Regenwasser oder Drainagewasser) in ein größeres Gewässer abfließen kann.
Wassereinzugsgebiet	Fläche, aus der ein Gewässersystem seinen Abfluss bezieht.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kumulatives Niederschlagsdiagramm der Station Aschau-Stein.	3
Abbildung 2: Bilder vom Saalehochwasser 2013.	4
Abbildung 3: Logo des IPCC.	7
Abbildung 4: Entwicklung der CO ₂ -Emissionintensität (Stand 26.02.2014).....	9
Abbildung 5: Bevölkerungsentwicklung Sachsen-Anhalt (Stand 31.12.2012).....	10
Abbildung 6: Entwicklung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Deutschland. 12	
Abbildung 7: Erosionsgefährdete Landschaften in Sachsen-Anhalt.....	13
Abbildung 8: Primärenergieverbrauch in Sachsen-Anhalt nach ausgewählten Energieträgern.	16
Abbildung 9: Anteil erneuerbarer Energieträger an der Bruttostromerzeugung, Baden- Württemberg.....	17
Abbildung 10: Anteil erneuerbarer Energieträger an der Bruttostromerzeugung, Thüringen. 18	
Abbildung 11: Niederschläge 2009-2011 in Sachsen-Anhalt, nach LHW 2011, (2).....	23
Abbildung 12: Zusammenhang zwischen Wassererosionsprozessen sowie On-Site und Off- Site Schäden.	24
Abbildung 13: Bahnen der Jetstreams. (http://www.srh.noaa.gov/ jetstream/global/jet.htm , Zugriff 08.2014).....	25
Abbildung 14: Mittlere Erderwärmung und die Folgen. (DWD, Zugriff: 08.2014).....	26
Abbildung 15: Darstellung der Ostsee in unterschiedlichen Modellgitterauflösungen (DWD, Zugriff: 08.2014).....	27
Abbildung 16: Logo www.clm-community.eu	28
Abbildung 17: Klimaprojektionen für die Änderung der mittleren jährlichen Lufttemperatur im Vergleich zum Zeitraum 1971/2000.	30
Abbildung 18: Klimaprojektionen für die Änderung der mittleren jährlichen Anzahl an Sommertagen [a] im Vergleich zum Zeitraum 1971/2000.....	31
Abbildung 19: Klimaprojektionen für die Änderung der mittleren Niederschlagshöhen im Sommer [a] im Vergleich zum Zeitraum 1971/2000.	31
Abbildung 20: Klimaprojektionen für die Änderung der mittleren Niederschlagshöhen im Winter [a] im Vergleich zum Zeitraum 1971/2000.....	32
Abbildung 21: Klimaprojektionen für die Änderung der mittleren Niederschlagshöhen [a] im Vergleich zum Zeitraum 1971/2000.	33
Abbildung 22: Inhalt ReKIS (Stand: 02.2014).....	34

Abbildung 23: Blüte des Schneeglöckchens (ReKIS).....	35
Abbildung 24: Relativer Trend des Jahresniederschlags [%] in Sachsen-Anhalt. (ReKIS)	35
Abbildung 25: Niederschlag in Sachsen-Anhalt, Sommer; 1961-1990.	36
Abbildung 26: Niederschlag in Sachsen-Anhalt, Winter; 1961-1990.....	36
Abbildung 27: WETTREG; A1b; prozentuale Änderung Sommerniederschlag; 2071/2100 gegenüber 1971/2000.	36
Abbildung 28: WETTREG; A1b; prozentuale Änderung Winterniederschlag; 2071/2100 gegenüber 1971/2000.	36
Abbildung 29: REMO; A1b; prozentuale Änderung Sommerniederschlag; 2071/2100 gegenüber 1971/2000.	36
Abbildung 30: REMO; A1b; prozentuale Änderung Winterniederschlag; 2071/2100 gegenüber 1971/2000.	36
Abbildung 31: WETTREG; A1b; prozentuale Änderung Jahresniederschlag; 2071/2100 gegenüber 1971/2000.	37
Abbildung 32: REMO; A1b; prozentuale Änderung Jahresniederschlag; 2071/2100 gegenüber 1971/2000.....	37
Abbildung 33: Temperatur [°C] in Sachsen-Anhalt; Jahr; 1951-1980.	38
Abbildung 34: Temperatur [°C] in Sachsen-Anhalt; Jahr; 1971-2000.	38
Abbildung 35: Temperatur [°C] in Sachsen-Anhalt; Sommer; 1961-1990.....	38
Abbildung 36: Temperatur [°C] in Sachsen-Anhalt; Winter; 1961-1990.....	38
Abbildung 37: Absoluter Trend [K] der Temperatur in Sachsen-Anhalt; Jahr; 1951-2006. ...	38
Abbildung 38: WETTREG; A1b; Änderung der mittleren Tagestemperatur 2071-2100 gegenüber 1971-2000.....	39
Abbildung 39: REMO; A1b; Änderung der mittleren Tagestemperatur 2071-2100 gegenüber 1971-2000.....	39
Abbildung 40: Hangaufteilung.....	48
Abbildung 41: Wappen des Landkreises Mansfeld-Südharz. (mansfeldsuedharz.de; Zugriff: 09.2014).....	55
Abbildung 42: Haldenaufstiege im Mansfelder Land.	56
Abbildung 43: Martin Luthers Geburtshaus in Eisleben. (wikipedia.de; Zugriff: 09.2014)....	56
Abbildung 44: Anteil der Landwirtschaftsfläche an der Bodenfläche [%].	57
Abbildung 45: Übersicht der zu untersuchenden Flächen mit Hotspots.	58
Abbildung 46: Betroffene Schläge mit Schlagnummer und Wassereinzugsgebiete.	59
Abbildung 47: Bodenarten des Untersuchungsgebietes.	60

Abbildung 48: Darstellung der prozentualen Neigung.	60
Abbildung 49: Darstellung des Hanglängenfaktors.	61
Abbildung 50: Jahresrückblick des Niederschlages der Station Lodersleben. (Zugriff 09.2014)	63
Abbildung 51: Logo der Firma geoflux.	63
Abbildung 52: Einfluss des Intensitätsverlaufs auf den Abfluss von einer befestigten Fläche. a) Blockregen b) und d) maximale Intensität am Regenanfang beziehungsweise -ende c) zentrale Spitze.	70
Abbildung 53: Verwendeter Niederschlagsintensitätsverlauf.	71
Abbildung 54: Potenzielle Erosionsgefährdung.	72
Abbildung 55: Reale Erosionsgefährdung.	72
Abbildung 56: Best-Case Szenario.	73
Abbildung 57: Worst-Case Szenario.	73
Abbildung 58: Schummerung.	75
Abbildung 59: Scheitelabfluss nach Nutzung (Einheitsganglinie).	77
Abbildung 60: Niederschlag-Abfluss-Diagramm H1.	78
Abbildung 61: Niederschlag-Abfluss-Diagramm H2.	79
Abbildung 62: Niederschlag-Abfluss-Diagramm H3.	79
Abbildung 63: Fließwege (gestreckt) mit dem Multiple Flow Algorithmus.	80
Abbildung 64: Gebietsauslass des zweiten großen Wassereinzugsgebiets.	82
Abbildung 65: Gebietsauslass am Hotspot drei.	82
Abbildung 66: Blick von Westen auf den Hotspot eins.	83
Abbildung 67: Blick von Süden auf den Hotspot zwei.	84
Abbildung 68: Errichtete Mauer zum Schutz vor Sturzfluten am Hotspot eins.	85
Abbildung 69: Blick von Westen auf den Hotspot eins.	86
Abbildung 70: Blick vom Hotspot eins in Richtung Westen.	86
Abbildung 71: Blick vom Hotspot zwei in Richtung Westen.	87
Abbildung 72: Blick vom Hotspot drei entlang des Weges in Richtung Westen.	88
Abbildung 73: Blick von Norden auf den Hotspot drei.	89
Abbildung 74: Blick vom Hotspot zwei in Richtung Süden.	91
Abbildung 75: Wassereinzugsgebietsverkleinerung am Hotspot zwei (H2-2).	92
Abbildung 76: Die roten Punkte kennzeichnen besonders feuchte Bereiche am Hotspot drei.	94

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zuordnungstabelle für die Bodengruppe nach k_f -Wert.	50
Tabelle 2: Auszug der CN-Werte in Abhängigkeit von Bodengruppe und Nutzung für Bodenfeuchtekategorie II.	50
Tabelle 3: Ableitung der Bodenfeuchtekategorie.	51
Tabelle 4: Klassifizierung der CN-Werte.	51
Tabelle 5: Fruchtfolgebestimmung Kleineinzugsgebiet.	61
Tabelle 6: Maximal tolerierbarer Bodenabtrag und C-Faktoren der einzelnen zu untersuchenden Schläge.	62
Tabelle 7: Verwendete Beiwerte für den CN-Wert.	65
Tabelle 8: Gebietsgrößen des Oberflächenabflusses.	71
Tabelle 9: Allgemeine Gebietsparameter.	75
Tabelle 10: Abflussberechnung nach Nutzungen.	76
Tabelle 11: Ergebnisse der Wassereinzugsgebietsverkleinerung am Hotspot zwei (H2-2).	93

Literaturverzeichnis

1. >Landmanagement<, Arbeitskreis 5. *Klimawandel und Landnutzung in Deutschland - Anforderungen an die Landentwicklung*. DVW e.V., 2010.
2. *agrarheute.com*. 05. 09 2007. <http://www.agrarheute.com/wie-pflanzen-hoeheren-co2-gehalt-reagieren> (Zugriff am 08 2014).
3. „BMU auf Basis AGEE-Stat sowie weitere Quellen.“
4. Boden, Bundesverband. *Bodenerosion durch Wasser in Sachsen-Anhalt*. Berlin: BVB-Materialien Band 15, 2010.
5. Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft. *Gute fachliche Praxis zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtung und Bodenerosion*. 2002.
6. Deutscher Wetterdienst. *Klimawandel verändert auch Wetterlagen*. Pressekonferenz, Berlin: http://www.dwd.de/bvbw/generator/DWDWWW/Content/Presse/Pressekonferenzen/2012/PK__03__05__12/Rede__Schreiber__20120503,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/Rede_Schreiber_20120503.pdf, 03.05.2012.
7. Dresden, Technische Universität. *ReKIS - Regionales Klimainformationssystem für Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen*. <http://www.rekis.org> (Zugriff am 08 2014).
8. Dunger, Dr. Volkmar. *Dokumentation des Modells BOWAM*. 2002.
9. *Erosionsschutzverordnung Sachsen-Anhalt*. 18. 02 2010. <http://www.landesrecht.sachsen-anhalt.de/jportal/?quelle=jlink&query=ErosionSchV+ST&psml=bssahprod.psml&max=true&aiz=true>.
10. H. Bertling, H. Lütke-meier und M. Schrödter. „Begleitung des Klimawandels und der Energiewende - Herausforderungen für die Landentwicklung in der Förderperiode 2014 bis 2020 am Beispiel Sachsen-Anhalts.“ *zfv*, 06 2012.

11. *harzlife* - *Der Online-Reiseführer*.
<http://www.harzlife.de/event/haldenaufstiege.html> (Zugriff am 09 2014).
12. Helbig, Henrik, und Simon Schmidt. *Gefährdung von Autobahnen und B6n durch Wassererosion in Sachsen-Anhalt*. Halle (Saale): Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (LAGB), 2014.
13. *Hochwassernachrichtendienst Bayern*.
http://www.hnd.bayern.de/niederschlag/grafik/n_grafik.php?msnr=205&standalone=&addhr=&days=&art=Nsum&begin=30.05.2013&end=03.06.2013 (Zugriff am 08 2014).
14. Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz. *Bodenerosion - Wie stark ist die Bodenerosion auf meinen Feldern?* Freising-Weihenstephan: (LfL), Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2013.
15. IPCC. „Teilbericht 1-3.“ Sachstandsbericht, 2013.
16. „Klimaschutzprogramm 2020 des Landes Sachsen-Anhalt.“
17. Klimaszenarien, Rechnungen für Deutschland. *Deutscher Wetterdienst*.
http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?_nfpb=true&pageLabel=dwdwww_start&T99803827171196328354269gsbDocumentPath=Naviga tion%2FOeffentlichkeit%2FHomepage%2FKlimawandel%2FKlimawandel__neu__Klimasz__D__node.html%3F__nnn%3Dtrue (Zugriff am 08 2014).
18. Klimawandel, AG. „Arbeitsgruppe "Anpassung an den Klimawandel".“
19. Klimawandel, ein Überblick. *Deutscher Wetterdienst*.
http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?_nfpb=true&pageLabel=dwdwww_start&T99803827171196328354269gsbDocumentPath=Naviga tion%2FOeffentlichkeit%2FHomepage%2FKlimawandel%2FKlimawandel__neu__Ueberblick__node.html%3F__nnn%3Dtrue (Zugriff am 08 2014).
20. Maniak, Ulrich. *Hydrologie und Wasserwirtschaft*. Braunschweig: Springer, 2010.
21. *MDR Sachsen-Anhalt*. http://www.mdr.de/sachsen-anhalt/ilsenburg-unterwasser100_zc-a2551f81_zs-ae30b3e4.html (Zugriff am 11. 08 2014).

22. *Mitteldeutsche Zeitung*. <http://www.mz-web.de/bilder,21101782,23074396.html> (Zugriff am 08 2014).
23. Möller, M. und H. Helbig. *GIS-gestützte Bewertung von Bodenfunktionen – Datengrundlagen und Lösungsansätze*. Heidelberg: Wichmann-Verlag, 2005.
24. Neuß, Erich und Zühlke, Dietrich. „Werte unserer Heimat.“ *Band 38 - Mansfelder Land*. Berlin: Akademie-Verlag, 1982.
25. Presse-Agentur, Deutsche. „Klimaziele ade in Deutschland.“ *Volksstimme*, 2014: 6.
26. *ReKIS*. <http://www.rekis.org> (Zugriff am 08 2014).
27. Sachse-Anhalt, Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt des Landes. „Aktualisierung der Strategie des Landes Sachsen-Anhalt zur Anpassung an den Klimawandel.“ Magdeburg, 2013.
28. Sachsen-Anhalt, Landesamt für Geologie und Bergwesen. 2014.
29. Seehusen, Schwede. *Kommentare zu landwirtschaftlichen Gesetzen*. Bd. 13/1, in *Standardkommentar Flurbereinigungsgesetz 9. Auflages*, von Klaus und Dr. Mayr, Christoph Wingerter. Agricola-Verlag GmbH, 2013.
30. *Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt*. www.statistik.sachsen-anhalt.de (Zugriff am 07 2014).
31. Steuern, Bayrisches Landesamt für. „Merkblatt über den Aufbau der Bodenschätzung.“ 2009.
32. StrukturKompass. *Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt*. <http://www.statistik.sachsen-anhalt.de/apps/StrukturKompass/indikator/zeitreihe/47> (Zugriff am 08 2014).
33. *Umweltbundesamt*. <http://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/umweltbelastungen-der-landwirtschaft/lachgasmethan> (Zugriff am 07 2014).
34. Umweltbundesamt. „Wirkungen der Klimaänderungen auf die Böden.“ 2011.

35. *wetter.com*. http://www.wetter.com/wetter_aktuell/rueckblick/?id=DE0001371 (Zugriff am 09 2014).
36. *Wikipedia*. http://de.wikipedia.org/wiki/Martin_Luthers_Geburtshaus (Zugriff am 09 2014).
37. *YouTube*. <https://www.youtube.com/watch?v=l6BdeKnHqFo> (Zugriff am 08 2014).
38. Zeitweiliger Ausschuss „Grundwasserprobleme, Vernässungen und das dazugehörige Wassermanagement“. *Endbericht des zeitweiligen Ausschusses „Grundwasserprobleme, Vernässungen und das dazugehörige Wassermanagement“*. Endbericht, Landtag von Sachsen-Anhalt, 2014.