

**Bestands- und Bewertungsplan
mit Maßnahmenvorschlägen
boden:ständig Projektgebiet
Üchtelhausen, Unterfranken**

Auftraggeber: Amt für Ländliche Entwicklung Unterfranken
Zeller Str. 40
97082 Würzburg

Auftragnehmer: GeoTeam - Ges. für umweltgerechte
Land- und Wasserwirtschaft mbH
Wilhelmsplatz 7
95444 Bayreuth

Bayreuth, den 15.09.2022


J. Preinl
M. Sc. Physische Geographie


J. Herold
B. Sc. Agrarwissenschaften

GeoTeam	Geschäftsführung:	Bankverbindung:
Gesellschaft für umweltgerechte Land- und Wasserwirtschaft mbH Wilhelmsplatz 7 · 95444 Bayreuth Amtsgericht Bayreuth HRB 6280	Dr. Christoph Hartmann Reinhard Wesinger	VR Bank Bayreuth – Hof eG IBAN: DE81 7806 0896 0006 0771 37 BIC: GENODEF1HO1 USt-IdNr. DE304003813 Steuer-Nr. 208/127/30763

Inhaltsverzeichnis

1. Veranlassung und Zielsetzung.....	5
2. Untersuchungsgebiet.....	7
2.1 Das Projektgebiet.....	7
2.1.1 Nutzung.....	8
2.1.2 Geologie.....	8
2.1.3 Böden.....	9
2.1.4 Klima.....	10
2.1.5 Geomorphologische und hydrologische Situation.....	12
2.2 Erosionsgefährdung der Böden.....	12
2.2.1 Niederschlag / Oberflächenabfluss.....	13
2.2.2 Bodeneigenschaften.....	13
2.2.3 Hangneigung und Hanglänge.....	14
2.2.4 Bewirtschaftung.....	14
3. Bestehende Planungen.....	15
3.1 Gewässerentwicklungskonzept.....	15
3.2 Waldneuordnungsverfahren.....	15
3.3 Hochwasserschutz Zell.....	16
4. Methoden.....	17
4.1 Kartierung/Kartenerstellung.....	17
4.2 Witterung.....	18
4.3 Hanglänge, Hangneigung und Bodenabtrag.....	18
4.3.1 Wald.....	19
4.4 Berechnung des Scheitelabflusses.....	19
4.5 Berechnung des potenziellen Wasserrückhalts der geplanten Retentionsbecken.....	21
5. Ergebnisse und Bewertung der Erhebungen.....	23
5.1 Allgemeine landwirtschaftliche Herausforderungen.....	23
5.2 Erosionsanfälligkeit der Böden.....	23
5.3 Wasserrückhaltevermögen der Böden.....	25
5.3.1 Ackerflächen.....	25
5.3.2 Wald.....	26
5.4 Abflusssituation, Bodenerosion und Brennpunkte.....	26
5.4.1 Teilprojektgebiet „b:s Höllenbach“.....	26
5.4.2 Teilprojektgebiet „b:s Weipoltshausener Dorfgraben“.....	29
6. Maßnahmenkonzeption.....	33
6.1 Maßnahmenkonzeption und Stellschrauben in der Landwirtschaft.....	34
6.1.1 Bewirtschaftungsmaßnahmen zur Verbesserung der Böden.....	34
Fruchtfolgegestaltung: Ganzjährige Bodenbedeckung und Diversität bei minimaler Bodenbearbeitung.....	34
Bodenanalysen & Kalkung: Die Grundlagen für eine gute Bodenstruktur und damit Wasserinfiltration setzen.....	37
6.1.2 Strukturelle Maßnahmen in der Feldflur: Hanglängenverkürzung, Keyline-Systeme und Agroforst.....	38
Anlage von Erosionsschutzstreifen.....	39
Agroforst.....	40

Flächengestaltung nach Keyline – Design.....	40
Hotspots für die Anlage von Strukturen und Grünland in der Feldflur.....	41
6.1.3 Beispielberechnung zur Wirkung von Bewirtschaftungs- und Strukturmaßnahmen anhand ABAG.....	44
6.1.4 Vermittlung von Verfahren zur Evaluation der getroffenen Maßnahmen.....	45
6.2 Ingenieurökologische Maßnahmen.....	46
6.2.1 Teilprojektgebiet „b:s Weipoltshausener Dorfgraben“.....	46
6.2.2 Teilprojektgebiet „b:s Höllenbach“.....	50
7. Ausblick.....	54
8. Literaturverzeichnis.....	55

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Nutzungsverteilung im Projektgebiet.....	8
Tabelle 2: Bodencharakterisierung gemäß Standortauskunft Umweltatlas.....	9
Tabelle 3: Bemessungsniederschlagshöhen des KOSTRA-Atlas' für Üchtelhausen (Kostr-DWD Index 67037).....	12
Tabelle 4: Datengrundlagen Kartierung und Darstellung.....	17
Tabelle 5: Nächstgelegene Wetterstation (https://cdc.dwd.de/).....	18
Tabelle 6: Gegenüberstellung der Parameter der Brennpunkte im Teilprojektgebiet "b:s Weipoltshausener Dorfgraben".....	30
Tabelle 7: Maßnahmenvorschläge <i>Landwirtschaft</i>	43
Tabelle 8: Bodenabtrag beispielhaft an kritischem Schlag in Üchtelhausen, Toleranzgrenze Bodenabtrag = 5,6t/ha/a.....	44
Tabelle 9: Übersicht der Maßnahmenvorschläge für das Teilprojektgebiet "b:s Weipoltshausener Dorfgraben".....	46
Tabelle 10: Maßnahmenkombinationen für die Teileinzugsgebiete für das Teilprojektgebiet "b:s Weipoltshausener Dorfgraben".....	49
Tabelle 11: Übersicht der Maßnahmenvorschläge für das Teilprojektgebiet "b:s Höllenbach".....	50
Tabelle 12: Maßnahmenkombinationen für die Einzugsgebiete für das Teilprojektgebiet "b:s Höllenbach".....	53

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Niederschlagsereignisse im Zeitraum vom Januar 2010 bis Dezember 2020 (DWD 2022).....	11
--	----

Anlagenverzeichnis

- Anlage 1: Übersichtsplan Maßstab 1 : 25.000
- Anlage 2: Flächennutzung Maßstab 1 : 25.000
- Anlage 3: Übersichtskarte Geologie 1 : 25.000
- Anlage 4a: Übersichtsbodenkarte Maßstab 1 : 25.000
- Anlage 4b: Legende der Übersichtsbodenkarte
- Anlage 5.1: Erosionsatlas Bayern (LfL) Mittlerer langjähriger Bodenabtrag (t/ha*a)
- Anlage 5.2: Erosionsatlas Bayern (LfL) Hangneigung der Ackerflächen
- Anlage 5.3: Erosionsatlas Bayern (LfL) Hanglänge und Fließwege im Acker
- Anlage 6: Bodenabtrag in Waldgebieten 1 : 25.000
- Anlage 7a: Bestands- und Bewertungsplan „b:s Weipoltshausener Dorfgraben“
Maßstab 1 : 5.000
- Anlage 7b: Bestands- und Bewertungsplan „b:s Höllenbach“ Maßstab 1 : 5.000
- Anlage 8: Abflussbeiwertverfahren an den Brennpunkten
- Anlage 9: Abflussleistung der Rohrleitungen an den Brennpunkten
- Anlage 10a: Maßnahmenplan „b:s Weipoltshausener Dorfgraben“ Maßstab 1 : 5.000
- Anlage 10b: Maßnahmenplan „b:s Höllenbach“ Maßstab 1 : 5.000
- Anlage 11a: Maßnahmenblätter „b:s Weipoltshausener Dorfgraben“
- Anlage 11b: Maßnahmenblätter „b:s Höllenbach“

1. Veranlassung und Zielsetzung

Bei Starkregenereignissen kommt es vermehrt zu Bodenerosion und Oberflächenabfluss aus der Flur. Durch Überschwemmungen von Siedlungsbereichen können große Sachschäden entstehen. Insbesondere Üchtelhausen und Weipoltshausen in der Gemeinde Üchtelhausen im Landkreis Schweinfurt sind hiervon betroffen. Das von den Ackerflächen abfließende Wasser führt oft zur Erosionsprozessen und somit zum Verlust des wertvollen, nährstoffreichen Oberbodens. Der mit Sediment angereicherte Abfluss fließt über teils mit Betonschalen ausgelegten Gräben aus der Flur in die mit der Wohnbebauung beginnenden Verrohrungen in Weipoltshausen. Die Rohrleitungen und Sedimentfänge sind teilweise nur schwer zugänglich, wodurch keine regelmäßige Instandhaltung vorgenommen werden kann. Bei starken Niederschlagsereignissen kommt es daher an den Einläufen häufig zu Verklausungen und somit zu Rückstau der Wassermassen. Bei Überlastung der wasserführenden Systeme kommt es zu unkontrolliertem Abfluss durch die Siedlungsbereiche. In Üchtelhausen stellt einen der Hauptbrennpunkte die nördlich vor Üchtelhausen beginnende Verrohrung des Höllenbachs dar. Dieser entspringt im Norden der Ortschaft Hoppachshof und leitet bei Starkregen die Wassermassen der Ortsteile Hoppachshof und Thomashof Richtung Üchtelhausen ab. Darüber hinaus wird dem Höllenbach zusätzlich das Wasser aus fünf bekannten Dränagen der nordwestlichen Üchtelhausener Flur zugeleitet. Bei Extremniederschlagsereignissen wird der vorhandene Sedimentfang mit vorgeschaltetem Rechen von den konzentrierten Wassermengen überströmt. Ein unkontrolliertes Abfließen des Wassers durch den Ort und teilweise über Gehöfte ist die Folge.

Es wird davon ausgegangen, dass sich die Häufigkeit und Intensität von Extremereignissen durch den menschengemachten Klimawandel verändert (LOZÁN, et al. 2018; DEUTSCHLÄNDER & DALELANE 2012). Das hat Auswirkungen auf die Flur und ihre Nutzung. So wird erwartet, dass sowohl Dürreperioden als auch Starkniederschläge und Hochwässer häufiger und intensiver auftreten werden als bisher gewohnt (LOZÁN, et al. 2018; CLIMATE SERVICE CENTER 2012). Das entspricht auch einer bereits zu beobachtenden Tendenz (LOZÁN et al. 2018). Somit werden Risiken wie Überschwemmungen, die Erosion fruchtbaren Oberbodens und Sturmschäden auf der einen, Ernteauffälle durch mangelnde Wasserversorgung und Hitze auf der anderen Seite wahrscheinlicher. Ertragreiche Böden sind die wichtigste Grundlage für landwirtschaftliche Betriebe. Nur wenn der Boden nachhaltig geschützt und auf den Ackerflächen gehalten wird, können Betriebe langfristig über Generationen bestehen bleiben. Im Rahmen von boden:ständig gilt es, die natürliche Kompensations- und Widerstandsfähigkeit der Landschaft auch im Hinblick auf den Klimawandel zu optimieren.

Wasser und Boden in der Landschaft zu halten bedingen sich gegenseitig. Humusreiche, gegen Starkregen widerstandsfähige Böden speichern mehr Wasser, was sowohl der Vermeidung von Überflutungen als auch der Ertragssicherheit im Fall von Dürre zugute kommt. Akute Brennpunkte zu entschärfen heißt demnach gleichzeitig für die Zukunft vorzusorgen.

Vorrangiges Ziel im Projektgebiet Üchtelhausen ist eine Verbesserung der Wasseraufnahmefähigkeit der Böden auf landwirtschaftlich genutzten Flächen durch innovative Bewirtschaftungsmaßnahmen, die Schaffung von Strukturen in der Landschaft zur Verlangsamung des Abflusses und zum temporären Rückhalt des Niederschlagswassers in der Fläche sowie das Ausfiltern des Sedimentmaterials aus dem abfließenden Oberflächenwasser. Dabei soll der Bedarf an landwirtschaftlichen Flächen für Rückhaltmaßnahmen so gering wie möglich gehalten werden.

Ziel des Bestands- und Bewertungsplans ist es, die oberirdischen Abflusswege bei Niederschlagsereignissen im Projektgebiet zu erfassen und zusammen mit weiteren zur Verfügung gestellten Daten und Informationen zu analysieren. Dabei sollen vor allem diejenigen Flächen in den Fokus gerückt werden, die am stärksten von Erosion betroffen sein können und am meisten zur Entstehung von unkontrolliertem, gebündeltem Oberflächenabfluss beitragen. Abschließend wird für die hervorgetretenen „Brennpunkte“, bei denen Handlungsbedarf und auch Handlungsmöglichkeiten bestehen, ein Maßnahmenplan erstellt sowie konkrete Maßnahmenvorschläge erarbeitet, detailliert dargestellt und beschrieben.

2. Untersuchungsgebiet

2.1 Das Projektgebiet

Das Projektgebiet liegt in der Gemeinde Üchtelhausen im Landkreis Schweinfurt, nordöstlich der Stadt Schweinfurt. Üchtelhausen setzt sich aus folgenden neun Ortsteilen zusammen: Ebertshausen, Hesselbach, Hoppachshof, Ottenhausen, Madenhausen, Thomashof, Üchtelhausen, Weipoltshausen und Zell. Mit einer Gesamtfläche von ca. 1.628 ha besteht Das Projektgebiet aus zwei Teilgebieten: „b:s Höllenbach“ und „b:s Weipoltshausener Dorfgraben“. Naturräumlich befindet sich die Fläche im nördlichen Teil der Fränkischen Triasplatte („Mainfränkische Platten“) und wird dem regionalen Naturraum „Hesselbacher Waldland“ zugeordnet, wegen seines bewegten Reliefs auch „Schweinfurter Rhön“ genannt. Bereiche des Teilprojektgebiets „b:s Höllenbach“ liegen in den Landschaftsschutzgebieten „Hausener Tal“ (LSG-00377.01) im Osten, südlich von Üchtelhausen im „Üchtelhauser Grund“ (LSG-00386.01) und im FFH-Gebiet 5927-372 „Forst Dianenlust und Stadtwald Schweinfurt“. Das Teilgebiet „b:s Weipoltshausener Dorfgraben“ befindet sich im südlichen Bereich im Landschaftsschutzgebiet „Weipoltshäuser- und Jeusing-Grund“ (LSG-00459.01) und im FFH-Gebiet 5827-371 „Standortübungsplatz Brönnhof und Umgebung“. Im Projektgebiet sind vereinzelt kartierte Biotope mit einer Gesamtfläche von 16,6 ha vorhanden.

Das sich im Tal der Schweinfurter Rhön befindliche Teilprojekt „b:s Höllenbach“ erstreckt sich über ca. 850 ha und umfasst eine Höhenentwicklung von ca. 300 m ü. NN bis ca. 400 m ü. NN. Der Oberflächenabfluss des Einzugsgebiets mündet im ca. 9 km langen Höllenbach, welcher im Üchtelhausener Grund fließt und am Hoppachshofer See entspringt.

Das Teilprojektgebiet „b:s Weipoltshausener Dorfgraben“ liegt in einem Paralleltal zum Tal des Höllenbachs, ca. 2,5 km nördlich von Üchtelhausen. Es umfasst eine Fläche von 778 ha und weist ebenfalls eine Höhendifferenz von ca. 100 Meter auf. Durch das Dorf verläuft der Weipoltshausener Dorfgraben, welcher aus einer Quelle im Hoppachsgrund, nördlich von Weipoltshausen beim Waldstück Klingenhof entspringt und in Richtung südlicher gelegen Zell fließt.

Das Projektgebiet ist in Anlage 1 als Übersicht dargestellt.

2.1.1 Nutzung

Aus der nachfolgenden Tabelle 1 geht die Nutzung und deren Flächenanteil am gesamten Gebiet hervor.

Tabelle 1: Nutzungsverteilung im Projektgebiet

Nutzung	Fläche [ha]	Anteil der Gesamtfläche [%]
Landwirtschaft davon	748,08	45,95
Acker	617,92	37,95
Grünland	127,19	7,81
Obstanbau	2,96	0,18
Wald und Gehölz	682,44	41,92
Siedlung und Verkehr	138,5	8,51
Unland	21,23	1,3
Gewässer und Sümpfe	1,51	0,09
Sonstige	36,24	2,23

Den größten Nutzungsanteil im Projektgebiet nimmt die Landwirtschaft mit etwa 46 % ein. Diese Nutzung setzt sich aus Acker (617,92 ha), Grünland (127,19 ha) und Obstanbau (2,96 ha) zusammen. Die Gemeinde Üchtelhausen hat den höchsten Waldanteil im Landkreis Schweinfurt (ALE Unterfranken 2013). Wald, Gehölze und ungenutztes Land (Unland) umfassen ca. 43 % der Gesamtfläche. Siedlungs- und Verkehrsflächen nehmen einen Flächenanteil von 8,5 % ein, wobei sich diese in den Tallagen der Teilprojektgebiete konzentrieren.

Ein Schwerpunkt der Wald- und Grünlandnutzung befindet sich im nördlichen Bereich des Projektgebiets, sowie entlang der Kuppen, da das stark ausgeprägte Relief eine Ackernutzung erschwert. Die Flächennutzung im Maßstab 1 : 25.000 ist in Anlage 2 dargestellt.

2.1.2 Geologie

In Anlage 3 ist die Geologische Karte im Maßstab 1 : 25.000 abgebildet. An den Talhängen, in den Störungszonen und auch auf den Höhen des Teilprojektgebiets „b:s Höllenbach“ steht der etwa 84 m mächtige Obere Muschelkalk aus dem System Trias/Mitteltrias an. Der südliche Bereich des Teilprojektgebiets charakterisiert sich durch nachweisliche Störungen und ist im wesentlichen durch eine Wechsellagerung von Ton- und Tonmergelstein, sowie Kalk- oder Kalkmergelstein und einer Wechsellagerung von Kalkstein, mit Tonmergelsteinlagen geprägt (SCHWARZMEIER, J. 1982). Der untere Hangbereich entlang des Höllenbachs ist überwiegend durch Wechsellagerung von Kalkstein gekennzeichnet, welche dichte und spartische Eigenschaften aufweisen und Tonmergelsteinlagen beinhalten. An den oberen Hangbereichen treten hauptsächlich Wechsellagerung von Ton- und Tonmergelstein auf.

Auf der bewaldeten Kuppe des Wachtelbergs im Nordosten von Üchtelhausen findet die Bodenentwicklung auf Oberen Tonstein-Gelbkalkschichten aus teils gebankten Ton- und Mergelsteinen der Erfurt-Formation des Unteren Keupers statt (SPECHT, S. 2018).

Im Teilprojekt „b:s Weipoltshausener Dorfgraben“ steht in den unteren Talhängen der Mittlere Muschelkalk an, der sich aus einer Folge von feingeschichteten dolomitischen Ton-, Tonmergel- und Schluffsteinen zusammensetzt. Angrenzend bildet sich der Boden in den höheren Bereichen aus dem Oberen Muschelkalk. Vereinzelt treten kleinräumig verbreitete Ausbildungen quartärer Lockergesteinsbedeckungen auf. Dieser Löss oder Lösslehm weist eine geschätzte Mächtigkeit von ca. 0,3 m auf und besteht überwiegend aus Quarz, Karbonat und Feldspat (SPECHT, S. 2018).

2.1.3 Böden

Im Süden des Projektgebiets dominieren Pararendzinen und Braunerde-Pararendzinen, die sich aus dem Kalkmergelstein und Mergelstein des vorliegenden Muschelkalks bildeten und aus carbonat- und skeletthaltigem Verwitterungsschluff bis Ton bestehen. Entlang der Vorfluter sind fast ausschließlich kalkhaltige Kolluvisole (pseudovergleyt) aus grusführendem Schluff bis Lehm (Kolluvium) verbreitet. Auf einem großen Anteil der ackerbaulich genutzten Flächen des Teilprojektgebiet „b:s Weipoltshausener Dorfgraben“ ist überwiegend (Para-)Rendzina aus Schuttlehm bis -ton bis Tonschutt zu finden. Angrenzend liegen Braunerden und Parabraunerden aus lehmiger Deckschicht über Muschelkalkverwitterung vor. Im mittleren Bereich des Projektgebiets erstreckt sich ein Gürtel aus Rendzinen und Pararendzinen aus Kalk oder Kalkmergelsteinschutt des Muschelkalks. Die Böden an den Bächen sind fast ausschließlich durch Abschwemmung verlagerte kalkhaltige Kolluvisole aus (grusführendem) Schluff bis Lehm.

In folgender Tabelle 2 sind wichtige Eigenschaften dreier für das Gebiet typischer Böden dargestellt. Die Legendeneinheit bezieht sich auf die in Anlage 4a dargestellte Bodenkarte mit der dazugehörigen Legende in Anlage 4b.

Tabelle 2: Bodencharakterisierung gemäß Standortauskunft Umweltatlas

Parameter	(Para-) Rendzina aus Schuttlehm bis -ton bis Tonschutt	Vorherrschend Braunerde aus Lehm	Vorherrschend Parabraunerde aus Schluff bis Lehm
Legendeneinheit	503b	467a	507b
Bodenart	L - LT	L - LT	L - LT
Bodenzahl (mittel)	ca. 38 - 58	ca. 30 - 55	ca. 30 - 55

Parameter	(Para-) Rendzina aus Schuttlehm bis -ton bis Tonschutt	Vorherrschend Braunerde aus Lehm	Vorherrschend Parabraunerde aus Schluff bis Lehm
KAK eff ¹ [cmol _c /kg]	184,6 (mittel)	211,5 (hoch)	180,0 (mittel)
BS ² [%]	80,6 (sehr basenreich - basengesättigt)	100 (sehr basenreich - basengesättigt)	81,1 (sehr basenreich - basengesättigt)
nFK ³ [mm]	66,4 (sehr gering)	103,14 (gering)	121,5 (gering)
Gesättigte Wasserleitfähigkeit [cm/d]	5,43	4,53	2,39
Carbonatgehalt	carbonatreich	carbonatfrei	carbonatfrei
Humusgehalt Oberboden [%]	3,7 (mittel humos)	1,5 (schwach humos)	1,9 (schwach humos)

Im Projektgebiet liegen fast ausschließlich schwere Lehmböden (L-LT) vor. Die Wasserleitfähigkeit ist aufgrund des hohen Anteils an Feinporen gering. Bei einer hohen Vorsättigung der Böden durch regelmäßige Niederschläge kann es daher relativ schnell zu Oberflächenabfluss kommen. Die Erosionsneigung von schweren Böden ist generell als eher niedrig einzustufen. Tonpartikel sorgen durch ihre elektrische Ladung für die Bildung stabiler Aggregatkomplexe. Diese können bei Niederschlagsereignissen wesentlich schwerer bewegt werden als beispielsweise Schluff- oder Sandpartikel. Es ist also davon auszugehen, dass das Hauptproblem bei Starkniederschlagsereignissen in erster Linie nicht von großen Mengen abgeschwemmten Boden ausgeht, sondern vom schnellen Abfluss der Wassermengen aufgrund mangelnder Bodeninfiltration.

2.1.4 Klima

Der DWD betreibt ca. vier Kilometer südsüdöstlich vom Untersuchungsgebiet die Wetterstation Schonungen-Mainberg (Stations-ID: 6347; 305 m ü. NN). Die langjährige mittlere Jahrestemperatur in den Jahren 1981-2010 betrug etwa 9 °C mit steigender Tendenz. Im Zeitraum zwischen 2015 und 2020 lag die Jahresmitteltemperatur bei 10,4 °C. Im Mittel wurden im Zeitraum 1981-2020 712 mm Niederschlag pro Jahr gemessen. Zwischen 2015 und 2020 verzeichnete die Klimastation einen mittleren Niederschlag von 540 mm pro Jahr. Auffallend sind hier die Trockenjahre 2015 und 2020 mit 460 und 496 mm Jahresniederschlag. Die Verteilung des Niederschlags während des Jahres weist ein Maximum zwischen Mai und August auf. AUERSWALD (1998) nimmt den Grenzwert für

1 Effektive Kationenaustauschkapazität
 2 Basensättigungsgrad
 3 Nutzbare Feldkapazität

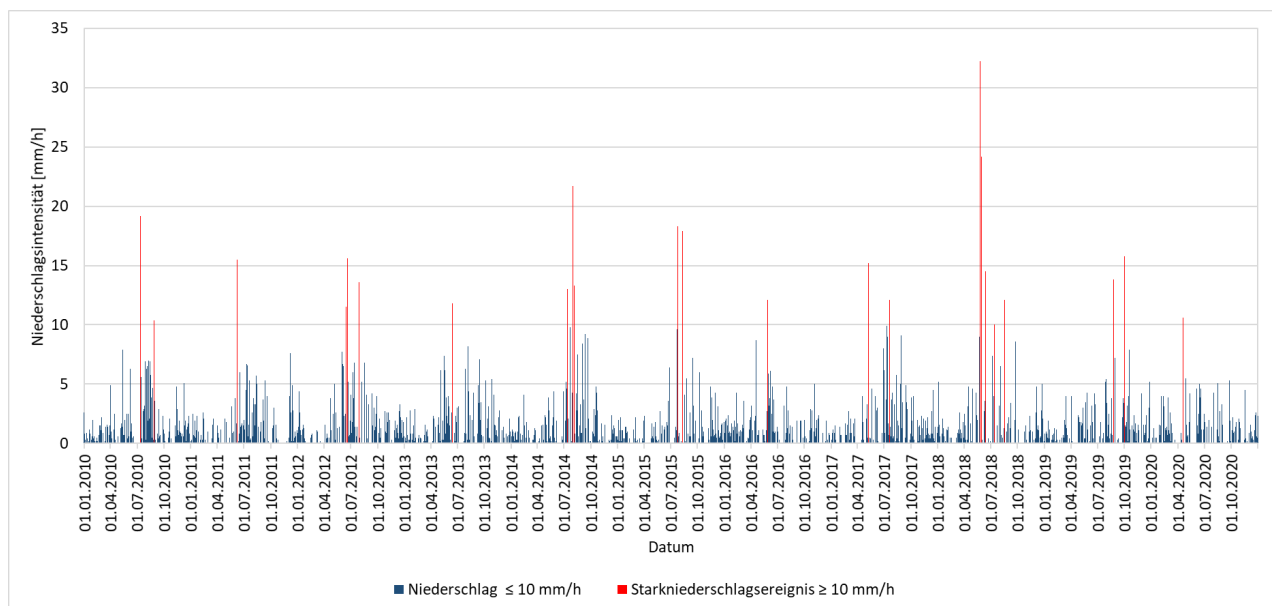


Abbildung 1: Niederschlagsereignisse im Zeitraum vom Januar 2010 bis Dezember 2020 (DWD 2022).

erosive Niederschläge ab 10 mm bei lange andauernden Ereignissen an. Nach dieser Definition sind innerhalb des Zeitraums von 2015 bis 2020 14 Starkregenereignisse mit mehr als 10 mm/h aufgetreten (vgl. Abbildung 1 rote Markierung).

Die Anzahl schwankt zwischen einem und sechs Starkniederschlagsereignissen pro Jahr. Die maximal zu beobachtende Niederschlagsintensität wurde mit 32,2 mm/h am 25.05.2018 verzeichnet.

Der Deutsche Wetterdienst (DWD) erarbeitet seit den 1980er Jahren eine Starkregenauswertung (KOSTRA-DWD), anhand derer Aussagen über Eintrittswahrscheinlichkeiten von Starkniederschlägen in Deutschland getroffen werden können. Die Version KOSTRA-DWD-2010, die Mitte des Jahres 2016 herausgegeben wurde, beinhaltet einen Datensatz, der den Zeitraum zwischen 1951-2010 referenziert (JUNGHÄNEL et al. 2017). Dieser Version lassen sich T-jährliche Niederschlagshöhen für beliebige Jährlichkeiten T zwischen T = 1a und T = 100 a für Dauerstufen zwischen D = 5 min und D = 72 h entnehmen (IHRINGER & HELMS 2016). Die Jährlichkeit eines Ereignisses gibt dabei an, wie häufig mit einem Niederschlagsereignis ähnlicher Intensität statistisch betrachtet zu rechnen ist (MICHAEL et al. 1996). Im Projektgebiet sind laut KOSTRA-DWD innerhalb der angegebenen Dauerstufen (Zeiträume) folgende Niederschläge zu erwarten:

Tabelle 3: Bemessungsniederschlagshöhen des KOSTRA-Atlas' für Üchtelhausen
(Kostr-DWD Index 67037)

Dauerstufe	5-jährlich	10-jährlich	20-jährlich	50-jährlich	100-jährlich
1 Stunde	31,1 mm	37,2 mm	43,4 mm	51,6 mm	57,8 mm
4 Stunden	37,0 mm	43,5 mm	50,0 mm	58,7 mm	65,2 mm
72 Stunden	61,1 mm	69,8 mm	78,6 mm	90,2 mm	98,9 mm

Die am 25.05.2018 verzeichnete Niederschlagsintensität entspricht demnach einer Jährlichkeit von 5 Jahren.

2.1.5 Geomorphologische und hydrologische Situation

Im Gebiet des Hessebacher Waldlands zeichnen sich die oberirdischen Hauptzuflüsse des Mains durch enge Kerbtäler aus, die sich überwiegend entlang der rheinischen (NNE-SSW) Klüftungen ausgerichtet haben. Dabei weisen sie teilweise ein Gefälle bis zu 2 % auf (SCHWARZMEIER, J. 1982). Das Oberflächen-Entwässerungssystem im Gebiet ist von engen Talauen im Bereich des Oberen Muschelkalks geprägt (SPECHT, S. 2018). Die teils steilen, bewaldeten Hänge der Gewässer im Projektgebiet sind abschnittsweise von tief eingeschnittenen Geländemulden durchzogen.

Der Abflusscharakter des Höllenbachs, Weipoltshausener Dorfgrabens und Wildbachs wird von den Mittelgebirgen geprägt. Im späten Winter bis zum Frühsommer liegen die höchsten Wasserstände und die höchste Hochwasserwahrscheinlichkeit, während die niedrigsten Wasserstände mit z.T. Wassermangel im Spätsommer liegen (SCHÖTZ & WAGENSONNER 2008). Die Fließgewässer im Projektgebiet sind als Gewässer III. Ordnung eingestuft und somit in der Unterhaltungspflicht der Marktgemeinde Üchtelhausen.

2.2 Erosionsgefährdung der Böden

Für die Bestimmung der Erosionsgefährdung landwirtschaftlicher Böden bildet die Allgemeinen Bodenabtragsgleichung (ABAG) eine weithin akzeptierte und angewendete Grundlage. Durch sie kann der potenzielle jährliche Bodenabtrag durch Erosion für Einzelflächen berechnet werden. Der berechnete Abtrag gilt für das langjährige Mittel, von dem einzelne Jahre stark nach unten und oben abweichen können. Die einzelnen Faktoren, die die Erosion wesentlich bestimmen, sind unter anderem anschaulich in HAIDER (2013) und CHRISTOFFELS (2013) dargestellt.

Im Gegensatz zu landwirtschaftlichen Flächen wird dem Bodenabtrag aus Waldgebieten bisher noch wenig Beachtung geschenkt. Wald ist die Vegetation, die den Boden durch die intensive Durchwurzelung und geringe Störungsintensität besser als jede andere vor Erosion schützt.

Dennoch kommt es auch hier in Steillagen und im Nachgang von waldbaulichen Eingriffen zum langjährigen Abtrag von Bodenmaterial. Damit einher geht der Verlust forstlicher Ertragsfähigkeit und zunehmende Anfälligkeit gegenüber Extremwetter wie Trockenheit, Sturm und Starkregen. Eine einheitliche Berechnungsgrundlage zur Abschätzung des Erosionspotenzials existiert dabei nicht. Auf europäischer Ebene und in der englischsprachigen Literatur liegen jedoch Studien und regionalisierte Simulationen des potenziellen Bodenabtrags in bewaldeten Gebieten vor.

2.2.1 Niederschlag / Oberflächenabfluss

Der Oberflächenabfluss setzt dann ein, wenn die Niederschlagsintensität die Infiltrationsrate des Bodens übersteigt. Die Infiltrationsrate ist abhängig von der Bodenart, der Bodenstruktur und vor allem auch vom Zustand der Bodenoberfläche. Böden mit hohem Anteil an leicht verlagerbaren Partikeln (Feinsand – Grobschluff) neigen zur Verschlammung. Oberflächenabfluss tritt auch bei wassergesättigtem Oberboden vor allem im Winter auf. Auch bei der Schneeschmelze, wenn der Boden nur oberflächlich angetaut ist und das Schmelzwasser nicht versickern kann, setzt er ein. Die Verlagerung von Bodenpartikeln tritt dann auf, wenn die Energie des aufprallenden Regens (Starkregen) oder des an der Oberfläche abfließenden Wassers ausreicht, um Partikel aus dem Boden zu lösen.

2.2.2 Bodeneigenschaften

Anfällig sind Böden, die einen hohen Anteil leicht verlagerbarer Partikel haben (Feinsand – Schluff: 0,2 – 0,002 mm Korngröße). Hohe Gehalte an Humus und Ton führen zur Bildung großer Bodenaggregate, die schwer zu mobilisieren sind. Auch Steine an der Bodenoberfläche puffern viel Aufprallenergie des Regens ab und verringern so den Bodenabtrag. Dieser Effekt kann auch durch eine Mulchschicht erreicht werden. Gegen Erosion im Winter wirkt Winterbegrünung oder eine erhöhte Oberflächenrauigkeit („raue Pflugfurche“), wenn keine Zwischen- oder Winterkulturen möglich sind. Allerdings sind frisch und intensiv, d.h. insbesondere mit rotierenden Geräten bearbeitete und wenig rückverdichtete Böden anfälliger für Erosion. Im Wald kann eine Streuauflage bzw. breitflächig und quer zum Hang verteiltes Totholz den gleichen bodenbedeckenden und erosionsmindernden Effekt haben wie eine Mulchauflage auf dem Acker. Je glatter und weniger durchwurzelt die Oberfläche ist und je feiner und aufgelockerter die Bodenkrümel, desto eher kann sich ein Wasserfluss ausbilden, der Partikel mobilisieren kann.

2.2.3 Hangneigung und Hanglänge

Mit zunehmender Hangneigung und auch Hanglänge gewinnt der Oberflächenabfluss an Transportkapazität, insbesondere wenn er sich noch in vorgeformten Abflussrinnen konzentriert.

2.2.4 Bewirtschaftung

Die Einwirkung von Niederschlag auf den Boden ist umso höher, je weniger Bedeckung durch Pflanzen oder Mulch vorhanden ist, die die Aufprallenergie verringern kann. Zusätzlich stabilisieren Wurzeln den Boden wesentlich. Besonders gefährdet ist der Boden im Zeitfenster zwischen Bodenbearbeitung vor der Saat bis zum Bestands- oder Reihenschluss. Gerade Mais wird erst relativ spät gesät (April / Mai), so dass ohne vorherigen Zwischenfruchtanbau der Boden von September – Juni / Juli quasi brach liegt. Erst dann ist mit einer Bodenbedeckung von mehr als 50 % zu rechnen. Somit überschneiden sich die Brache und die geringe Bodenbedeckung mit der Zeit erhöhter Regenerosivität. Sommergetreide bieten ab Ende April / Anfang Mai bereits eine ausreichende Bodenbedeckung. Wintergetreide und Winterraps haben die längste Bodenbedeckung, die meist schon vor dem Winter ausreichend ist. Spät gesäeter Winterweizen kann jedoch oft im Herbst keine ausreichende Bodenbedeckung mehr bilden. Mehrjähriger Feldfutterbau (z. B. Klee gras) oder Dauergrünland bieten einen hohen Schutz gegen Erosion. Zudem steigt das Infiltrationspotenzial der Böden deutlich an (HENKE, 2007).

Die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft hat die ABAG sowie die Wirksamkeit verschiedenster Erosionsschutzmaßnahmen anhand von tatsächlichen Erosionsereignissen im Mai/Juni überprüft (BAYERISCHE LFL, 2013). Dabei zeigt sich, dass in Winterkulturen keine Erosionsschäden, in Sommerkulturen - außer bei Mais - kaum Schäden auftreten. Die wesentlichen Schäden treten bei Mais auf, insbesondere wenn er ohne Mulchsaat bestellt wurde. In dieser Studie wurde auch festgestellt, dass es gerade bei der Saat von Winterraps im August noch zu Erosionsereignissen kommen kann, da zu diesem Zeitpunkt noch mit sommerlichen Starkregenereignissen zu rechnen ist.

Im Wald findet Erosion in größerem Maßstab vorwiegend nach Eingriffen wie Durchforstungen, Kahlschlägen und Wegebau und der damit einhergehenden Verletzungen des durchwurzelteten Oberbodens statt. Auch entlang von linearen Strukturen wie z.B. Wege und Holwege kommt es zur Konzentration des Oberflächenabflusses und zur linienhaften Erosion.

3. Bestehende Planungen

Im Projektgebiet und Einzugsgebiet des Zellergrundbachs in den der Weipoltshausener Dorfgraben mündet, wurden in der Vergangenheit verschiedene Konzepte zum Hochwasserschutz, zum dezentralen Wasserrückhalt und zur Revitalisierung der Gewässer und Auen angefertigt. Die für diesen Bestands- und Bewertungsplan relevanten Konzepte werden im Folgenden dargestellt.

3.1 Gewässerentwicklungskonzept

Seit 2008 verfügt die Gemeinde Üchtelhausen über ein Gewässerentwicklungskonzept für die Gewässer III. Ordnung auf Gemeindegebiet (SCHÖTZ & WAGENSONNER 2008). Ausgehend vom Bestand wird dargelegt, wie durch geeignete Maßnahmen realistisch erreichbare Entwicklungsziele für die Gewässer erreicht werden können. Diese Entwicklungsziele ergeben sich aus dem im Leitbild festgehaltenen potenziell natürlichen Zustand des Gewässers, der sich ganz ohne menschlichen Einfluss einstellen würde. Dabei werden im Gewässerentwicklungskonzept Aussagen zu kurz- bis langfristig möglichen Maßnahmen und ihrer Wirkung auf Ökologie und menschliche Nutzung der Gewässer getroffen. Für den Kontext der hier durchgeführten Planung sind insbesondere der Beitrag von naturnahen Gewässern und Auen zum Wasserrückhalt im Einzugsgebiet sowie ihr natürliches Reinigungs- und Filtervermögen relevant.

3.2 Waldneuordnungsverfahren

Die Waldneuordnung in der Gemarkung Üchtelhausen hatte unter anderem die Schaffung von Voraussetzungen für eine ordnungsgemäße Waldbewirtschaftung nach dem BayWaldG als Ziel. Darüber hinaus wurden durch das Verfahren die Besitzstrukturen, die eigenverantwortliche Bewirtschaftung der forstwirtschaftlich genutzten Grundstücke und die Arbeitsbedingungen maßgeblich verbessert. Dabei stand stets der Erhalt des Waldes im Vordergrund. Insbesondere wurde auf die Sicherstellung der Wasser- und Bodenschutzfunktion und die Verbesserung der Klimaschutz- sowie Nutzfunktion des Waldes geachtet. Bezogen auf die vorliegenden Planungen spielt besonders die Verbesserung der Wasser- und Bodenschutzfunktion vor dem Hintergrund von Bodenerosion und Oberflächenabfluss eine übergeordnete Rolle.

3.3 Hochwasserschutz Zell

Nach dem Jahrhunderthochwasser 1992 in Zell wurden die Planungen zum Bau eines Hochwasserrückhaltedammes oberhalb der Ortschaft initiiert. Von 2002 bis 2004 wurde der Damm gebaut. Mit einem Einzugsgebiet von ca. 17 km² können die Hochwasser aus dem Jeusing- und Weipoltshausener Grund aufgenommen werden. Der Damm ist auf einen Zufluss von 36 m³/s (HQ₁₀₀) ausgelegt und kann bei Vollstau ein Volumen von ca. 690.000 m³ zurückhalten.

4. Methoden

4.1 Kartierung/Kartenerstellung

Bei der Erarbeitung des Bestandsplans wurde im Wesentlichen nach LENZ (ARGE 2006) vorgegangen. Die Kartierungen fanden im Februar 2022 mit Ergänzungen im April 2022 statt. Bei den Kartierungen waren teilweise die Bewirtschafter der Flächen anwesend und konnten wertvolle Beiträge zum Verlauf von Oberflächenabfluss liefern. Drainageausläufe wurden bei der Kartierung, soweit ersichtlich, erfasst und in den Bestandsplan mit aufgenommen. Folgende Daten wurden ausgewertet und in die Karten integriert:

Tabelle 4: Datengrundlagen Kartierung und Darstellung

Daten	Quelle
<i>Digitale Flurkarte</i>	<i>Bayerisches Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung, WMS-Server oder Download</i>
<i>Verwaltungsgebiete</i>	
<i>Digitales Geländemodell Gitterweite 1 m</i>	
<i>Digitale Höhenlinienkarte</i>	
<i>Tatsächliche Nutzung der Erdoberfläche</i>	
<i>Digitales Orthophoto 80 cm Bodenauflösung</i>	
<i>Feldstückskarte Bayern</i>	<i>Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, WMS-Server</i>
<i>Naturschutzgebiete, Wasserschutzgebiete Biotopflächen, Ökokontoflächen</i>	<i>Bayerisches Landesamt für Umwelt, Download</i>
<i>Öffentliches Eigentum</i>	<i>Gemeinde Üchtelhausen</i>

4.2 Witterung

Die zum Projektgebiet nächstgelegene Wetterstation Schonungen-Mainberg wurde zur Bestimmung der Niederschlags- und Temperaturdaten herangezogen.

Tabelle 5: Nächstgelegene Wetterstation (<https://cdc.dwd.de/>)

Stations_ID	Stationsname	Geogr. Länge	Geogr. Breite	Höhe über NN
6347	Schonungen-Mainberg	10.2972	50.0579	304.00

Die genutzten Daten konnten frei über das Online-Angebot des Deutschen Wetterdienstes heruntergeladen werden.

4.3 Hanglänge, Hangneigung und Bodenabtrag

Die Berechnung des zu erwartenden mittleren Bodenabtrags mittels der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung (ABAG) basiert auf Faktoren wie Regenerosivität, Bodeneigenschaften, Topografie und Bewirtschaftung.

Der Hanglängenfaktor (L-Faktor) der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung (ABAG) kennzeichnet die erosive Hanglänge von Ackerflächen. Der L-Faktor ist umso höher je mehr Wasser sich hangabwärts ansammelt und eignet sich daher zum Identifizieren von konzentrierten Abflussbahnen (Mulden) und deren Austrittsstellen von der Ackerfläche in angrenzende Flächen. Der L-Faktor wird für zusammenhängende Acker-Feldblöcke berechnet. Landschaftselemente wirken Hanglängen verkürzend. Im Erosionsatlas Bayern der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL Bayern) werden der L-Faktor, die Hangneigung und der resultierende zu erwartende mittlere Bodenabtrag in Karten dargestellt. Die Bodenabträge sind im Erosionsatlas Bayern in 5 Abtragsklassen aufgeteilt. Die für das Projektgebiet relevanten Kartenausschnitte wurden von der LfL Bayern für das Projekt als Rasterdatensatz (Rasterzellen 5x5m) zur Verfügung gestellt (vgl. Anlagen 5.1, 5.2 & 5.3).

Für einzelne Ackerblöcke und Brennpunkte im Projektgebiet wurde der zu erwartende, langjährige mittlere Bodenabtrag zusätzlich mittels dem von der LfL Bayern bereitgestellten Rechner „ABAG interaktiv“ (BRANDHUBER et al. 2018) berechnet. Hierzu wurde entsprechend der Gegebenheiten vor Ort für die Bewirtschaftung eine marktfruchtorientierte Fruchtfolge, bei der Raps und Gerste einen Anteil von 33 – 50 % einnehmen, angenommen. Die Saatbettbereitung erfolgt im Berechnungsbeispiel höhenlinienparallel unter Nutzung des Pfluges. Bodenart und Bodenzahl wurden den Daten der Bodenschätzung entnommen. Durch das Programm „ABAG interaktiv“ kann die Auswirkung von Änderungen in der Bewirtschaftung (Mulchsaat) und der Flächenstrukturierung (Hanglängenverkürzung) demonstriert werden.

4.3.1 Wald

Im Wald hängt die tatsächlich stattfindende Bodenerosion maßgeblich von durchgeführten forstwirtschaftlichen Eingriffen ab. Die Studie von BORELLI et al. 2016 hat erstmals eine europaweite Simulation der zu erwartenden Bodenerosion in bewaldeten Gebieten mit einer Auflösung von 25 m vorgelegt. Die Berechnungen erfolgten auf Basis von Satellitendaten zur zeitlichen und räumlichen Änderung der Vegetationsbedeckung und einer für Waldgebiete modifizierten ABAG. Eine Karte des potenziellen Bodenverlusts mit einer Auflösung von 100 m ist über das European Soil Data Centre (ESDAC) der Europäischen Kommission verfügbar. Da es sich bei den Ergebnissen um aktuelle und zeitlich gemittelte Daten handelt und die Auflösung des Rasters eine örtliche Zuordnung erlaubt, können diese für die Einschätzung des Bodenerosionspotenzials der Waldflächen in diesem boden:ständig-Projekt verwendet werden. Für diesen Zweck wurde der mittlere zu erwartende Bodenabtrag für das Projektgebiet berechnet.

4.4 Berechnung des Scheitelabflusses

Für die Berechnung des Scheitelabflusses wurden zwei etablierte Verfahren angewandt – das Curve Number Verfahren (NRCS 2004) und das Verfahren nach LUTZ 1984. Bei beiden Verfahren wird ein anfänglicher Rückhalt des Regens berücksichtigt. Erst wenn der Niederschlag die Anfangsverluste übersteigt, fließt der Regen ab. Wie hoch die Anfangsverluste sind, hängt von der Gebietsgröße, der Hangneigung, der Bewirtschaftung, der Bodengruppe und der jahreszeitlich schwankenden Bodenbedeckung ab.

Verfahren nach LUTZ

Um den Abflussbeiwert (Ψ) nach Lutz zu berechnen wird zunächst die abflusswirksame Niederschlagshöhe (N_{eff}) für ländlichen Gebieten ohne nennenswerte Bebauung bestimmt.

$$N_{eff} = (h_N - A_{V,U}) * \Psi_{max} - \frac{\Psi_{max}}{a} * (1 - e - e^{-a * (h_N - A_{V,U})})$$

Der maximale Abflussbeiwert Ψ_{max} ist entsprechend der hydrologischen Bodengruppe und der Landnutzungstypen abzulesen.

Die Niederschlagsmenge h_N wird entsprechend der Fragestellung (z.B. für ein 20 jährliches oder ein 100 jährliches Niederschlagsereignis) aus dem KOSTRA-Atlas entnommen. Der Anfangsverlust $A_{V,U}$ liegt abhängig von der Landnutzung tabelliert vor.

Für die Bestimmung des Proportionalitätsfaktor (a) wird die vereinfachte Gleichung $a = C_1 * e^{-4,62/WZ} * 0,94$ angewandt.

Die abflusswirksame Niederschlagshöhe N_{eff} dividiert durch den Niederschlag ergibt den Abflussbeiwert Ψ_{LUTZ} .

Curve Number - Verfahren

Nach dem Curve Number - Verfahren berechnet sich der Abflussbeiwert Ψ_{NRCS} direkt mit der Formel [LfU]:

$$\Psi = \frac{\left(\frac{h_N}{25,4} - \frac{1000 * I_a}{CN} + 10 * I_a \right)^2}{\frac{h_N}{25,4} + \frac{1000 * (1 - I_a)}{CN} - 10 * (1 - I_a)} * 25,4 / h_N$$

Analog zum Verfahren nach LUTZ wird die Niederschlagsmenge h_N entsprechend der Fragestellung aus dem KOSTRA-Atlas⁴ entnommen.

Der Parameter des Anfangsverlustes I_a und der CN-Wert sind entsprechend der hydrologischen Bodengruppe und der Landnutzungstypen aus Tabellen abzulesen. Dabei liegt die hydrologische Bodengruppe sowohl der landwirtschaftlichen Flächen als auch der Waldböden bei D (Tone, Lehme, dichter Fels, stauender Untergrund) bis C (Bindige Böden mit Sand). Der Wald weist durch das flächendeckend vorhandene Netz an LKW-befahrbaren, befestigten Forstwegen eine hohe Abflussneigung auf.

Die Übertragung des in den USA entwickelten Verfahrens in das in Europa gebräuchliche metrische System erfordert die Umrechnung von Inch in Zentimeter.

Scheitelabfluss

Die Berechnung des erwarteten Scheitelabflusses H_{QT} (m^3/s) als Reaktion des Gebiets auf ein Niederschlagsereignis entsprechend des KOSTRA-Atlas erfolgt mittels eines erweiterten Dreiecksganglinienverfahrens. Eingangparameter sind der Abflussbeiwert (Ψ_{LUTZ} bzw. Ψ_{NRCS}), die Niederschlagsdauer t_N , die gebietspezifischen, von der Topografie abhängigen An- und Ablaufzeiten t_{An} und t_{Ab} , der Einzugsgebietsfläche A_E und die Niederschlagshöhe h_N . Die wirksame Anlaufzeit $t_{An, w}$ entspricht der Niederschlagsdauer t_N bis diese die topografische Anlaufzeit t_{An} überschreitet, anschließend wird die topografische Anlaufzeit t_{An} verwendet. Durch die Erweiterung des Dreiecksganglinienverfahrens zum Trapezganglinienverfahren können somit auch Niederschlagsereignisse betrachtet werden, deren Dauer nicht der Anlaufzeit entspricht.

⁴ Download vom Deutschen Wetterdienst

$$HQ_T = \frac{h_N * A_E * \Psi}{0,5 * (t_{An,w} + t_{Ab}) + (t_N + t_{An,w}) * 0,06}$$

Für die Betrachtung von Starkregen in kleinen Einzugsgebieten kann die Anlaufzeit t_{an} mit der Konzentrationszeit t_c gleichgesetzt werden. Zur Berechnung wird die empirische, modifizierte Kirpich-Gleichung verwendet. Während die Kalibration der ursprünglichen Kirpich-Gleichung für sehr kleine Einzugsgebiete erfolgte, wurde die modifizierte Kirpich-Gleichung durch Untersuchungen des LfU für kleine und mittlere Einzugsgebiete in Bayern entwickelt (SEIBERT & AUERSWALD 2020). Eingangsparameter sind die Länge des längsten Fließwegs zwischen Wasserscheide und Ausfluss des Einzugsgebiet L sowie die entsprechende Höhendifferenz Δh :

$$t_{an} = t_c = 277 * \left(\frac{L^3}{\Delta h} \right)^{0,385}$$

Die Ablaufzeit t_{ab} ergibt sich aus der Multiplikation der Konzentrationszeit t_c mit einem tabellierten, empirischen Formfaktor F in Abhängigkeit von der Landnutzung im Einzugsgebiet.

Die Scheitelabflussspende HQ_S ($l/(s \text{ km}^2)$) errechnet sich anschließend durch Division des geschätzten Scheitelabflusses HQ_T mit der Gebietsgröße.

4.5 Berechnung des potenziellen Wasserrückhalts der geplanten Retentionsbecken

Um die Wirkung der einzelnen möglichen Maßnahmen zum Rückhalt von Oberflächenabfluss in der Fläche abschätzen zu können, werden das potenziell durch den Drosselablauf des Retentionsbeckens erfassbare Volumen der Hochwasserwelle und der durch das zur Verfügung stehende Beckenvolumen pufferbare Anteil abgeschätzt. Dies erfolgt hier auf Basis des Bemessungsverfahrens DWA-A117, das auf einer einfachen Volumenbilanzierung beruht.

Dieses Verfahren dient in der Wasserwirtschaft zur Dimensionierung von Regenrückhalteräumen in kleinen Einzugsgebieten ($A_E \leq 200 \text{ ha}$ oder $t_c \leq 15 \text{ min}$) und ist kein ausreichendes Verfahren zur fachgerechten Dimensionierung von Hochwasserrückhalten oder zum Nachweis von Hochwasserschutz. Das Verfahren bildet auch keine Wechselwirkungen von mehreren Becken, z. B. in Speicherkaskaden, ab. Für dieses bodenständig-Projekt dient das Verfahren zur groben Abschätzung der Wirkung der vorgeschlagenen Maßnahmen.

Für aussagekräftige Untersuchungen ist die Erstellung von Langzeitsimulationen mit Hilfe von Niederschlag-Abfluss-Modellen auf Einzugsgebietsebene notwendig. Dies liegt außerhalb der Möglichkeiten und Zielsetzungen von boden:ständig.

Die Abflussdrosselung wird im vorliegenden Bericht so abgestimmt, dass der Rückhalt schon bei Hochwässern mit einer Häufigkeit zwischen einem und drei Jahren wirksam wird. Im Sinne der Zielsetzung von boden:ständig wird somit bewusst ein regelmäßig wirksamer Rückhalt von Sediment und Wasser in der Landschaft priorisiert.

Die Berechnung basiert auf einem zur Trapezganglinie erweiterten Dreiecksganglinienansatz. Für die Berechnung der Wirksamkeit eines Retentionsraums wird die Differenz zwischen Wellenvolumen und Volumen des Drosselabflusses bestimmt. Die Berechnung erfolgt aus den wirksamen An- und Ablaufzeiten $t_{An,w,B}$ bzw. $t_{Ab,w,B}$, der Dauer des Bemessungsniederschlags t_N , dem erwarteten Scheitelabflusses HQ_T und dem Drosselabflusses Q_{Dr} über die Formel:

$$V_{W,R} = ((t_{An,w,B} + t_{Ab,w,B}) \cdot 0,5 + (t_N - t_{An,w})) \cdot 60 \cdot (HQ_T - Q_{Dr})$$

Das für eine Maßnahme voraussichtlich zu erwartende Speichervolumen V_S wurde aus dem Digitalen Geländemodell des Bayerischen Landesamts für Digitalisierung, Breitband und Vermessung mit einer Auflösung von 1 m ermittelt. Die Division mit dem von der Drossel erfassbaren Wellenvolumen $V_{W,R}$ ergibt den durch die betrachtete Maßnahme pufferbaren Anteil, der als ein Maß für die Wirksamkeit einer Maßnahme zum Rückhalt von Oberflächenabfluss nach Niederschlagsereignissen interpretiert werden kann.

5. Ergebnisse und Bewertung der Erhebungen

Innerhalb der Teileinzugsgebiete wurden die Abflussbahnen des Oberflächenabflusses kartiert. Gemäß der Geländebegehung und der Auswertung der Kartenmaterialien wurden die relevanten Teileinzugsgebiete überprüft.

5.1 Allgemeine landwirtschaftliche Herausforderungen

Die Landwirtschaft im Projektgebiet ist maßgeblich durch reine Marktfruchtbetriebe geprägt. Die Hauptkulturen sind üblicherweise Winterweizen, Wintergerste und Winterraps. Durch den langjährigen Anbau von Fruchtfolgen, die zum Großteil auf Winterungen basieren, zeigte sich in den letzten Jahren ein zunehmendes Problem mit Unkräutern und vor allem Ungräsern. Vor allem Ackerfuchsschwanz und Trespe sind teilweise massiv auf den Flächen vertreten. Um dies in den Griff zu bekommen, ergänzen die Landwirt:innen ihre Fruchtfolge bereits durch den gezielten Anbau von Sommerungen (z.B. Erbse, Hafer, Sommergerste). Die Erweiterung der Fruchtfolge um Sommerungen führt bei den örtlichen Landwirten zu einem großen Interesse für Zwischenfruchtanbau. Zwischenfrüchte sind gerade für reine Ackerbaubetriebe ein essentieller Baustein, um wieder vermehrt Organik in den Boden zu bekommen und Humus aufzubauen. Dies kommt letztlich auch der Bodenstruktur und damit der Wasserinfiltration zu Gute. Durch die Bodenbedeckung und eventuell folgende Mulchsaaten wird zusätzlich Wasser gespart und gleichzeitig auch das Erosionspotenzial der Ackerflächen deutlich gemindert. Dieser Aspekt ist auf den teils sehr großen und stark hängigen Flächen von großer Bedeutung. Schläge mit einer Größe über 4 Hektar und Hangneigungen von 8 – 15 % sind keine Seltenheit.

Um in Trockengebieten und auf oft sehr schweren Böden erfolgreich Zwischenfrüchte vor frühen Sommerungen anzubauen ist allerdings viel Fingerspitzengefühl gefragt. Durch umfassende Beratungsangebote soll mit den Landwirt:innen im Projektgebiet ein für sie passendes Verfahren zum Umgang mit Zwischenfrüchten entwickelt werden.

5.2 Erosionsanfälligkeit der Böden

In Anlage 5.1 - 5.3 sind die Hangneigungen, Fließwege und der mittlere Bodenabtrag dargestellt. Die mittlere Hangneigung der Ackerflächen im Teilprojektgebiet „b:s Höllenbach“ beträgt ca. 7,8 %. Die ackerbaulich genutzten Flächen im Gebiet „b:s Weipoltshausener Dorfgraben“ weisen eine mittlere Hangneigung von ca. 6,9 % auf. Nach der Einstufung der Bodenkundlichen Kartieranleitung handelt es sich bei den beiden Teilprojektgebieten im Mittel um ein schwach geneigtes Relief (ECKELMANN 2005).

Einzelne Flächen, insbesondere an den unteren Hangbereichen, werden als sehr stark geneigtes Relief eingestuft. Im Teilprojektgebiet „b:s Weipoltshausener Dorfgraben“ tritt beispielsweise ein Maximalwert einer Zelle (1 x 1 m) von 33 % auf. Insbesondere die hängigen Flächen entlang der Taleinschnitte und die Flächen mit besonders großer Hanglänge weisen Bodenabträge von mehr als 10 t/(ha*a) auf. In Anlage 5.1 sind dies alle Flächen, die in dunkelbraun dargestellt sind. Im Mittel ergibt sich für die Ackerflächen im Teilprojektgebiet „b:s Höllenbach“ ein Bodenabtrag von ca. 5 t/(ha*a). Im Teilprojekt „b:s Weipoltshausener Dorfgraben“ geht aus dem Erosionsatlas ein durchschnittlicher langjähriger Bodenabtrag von ca. 4,4 t/(ha*a) auf den ackerbaulich bewirtschafteten Flächen hervor. Zu bedenken ist, dass ein Bodenabtrag noch als tolerierbar gilt, wenn er kleiner als ein Achtel der Bodenzahl ist. Im Projektgebiet liegen auf den potenziell besonders gefährdeten Ackerflächen Bodenzahlen zwischen 34 und 64 vor. Auf vielen Flächen wird der tolerierbare Bodenabtrag zwischen 4,25 und 8 t/(ha*a) deutlich überschritten. Aufgrund der teilweise geringen Bodenzahlen und des damit verbundenen nicht mehr tolerierbaren langjährigen Bodenabtrags im Projektgebiet ergibt sich für viele Flächen ein dringender Handlungsbedarf. Durch die bereits in Folge der landwirtschaftlichen Nutzung eingetretene Degradation weisen die landwirtschaftlich genutzten Böden teilweise geringe Mächtigkeiten des durchwurzelbaren Oberbodens und damit relativ geringe Bodenzahlen auf. Des Weiteren ist aufgrund des Klimawandels von einer Zunahme der Starkregenereignissen auszugehen (vgl. Kapitel 1). Dies hat zur Folge, dass künftig ohne weitere Maßnahmen noch mehr Boden erosionsgefährdet sein wird.

Aufgrund des relativ hohen Flächenanteils von Wald und Gehölz von ca. 42 % im Projektgebiet Üchtelhausen wird neben den landwirtschaftlich genutzten Flächen der potenzielle Bodenverlust in den Waldgebieten betrachtet. Eine Analyse der über das ESDAC verfügbaren Karte des potenziellen Bodenverlustes in Waldgebieten ergibt für das Projektgebiet einen mittleren Wert von 0,04 t/(ha*a). Es treten in einzelnen Zellen des 100 m-Rasters Maximalwerte von bis zu 0,7 t/(ha*a) auf, die mit großer Wahrscheinlichkeit auf geringeren Bewuchs durch bspw. Holzernte im betroffenen Bereich im Betrachtungszeitraum der Studie (2000 - 2012) zurückzuführen sind (vgl. Anlage 6). Allerdings ist bei der Interpretation dieser Ergebnisse zu beachten, dass es sich um eine Simulation auf Basis von europaweiten Boden-, Vegetations- und topografischen Karten ohne Berücksichtigung individueller lokaler Gegebenheiten handelt.

5.3 Wasserrückhaltevermögen der Böden

5.3.1 Ackerflächen

Die Wasserinfiltration wird grundsätzlich durch zwei Faktoren beeinflusst: Zustand der Bodenoberfläche und Bodenstruktur im Profil. Nur eine poröse Oberfläche ermöglicht, dass Niederschlag direkt in den Boden eindringen kann. Eine stabile Bodenstruktur mit einem ausgewogenen Verhältnis von Grob-, Mittel- und Feinporen und ohne Verdichtungsschichten ist gefragt, um das Wasser auch bei ergiebigen, länger anhaltenden Niederschlagsereignissen kontinuierlich in die Tiefe abzuleiten. Bei versiegelten Oberflächen und einer undurchlässigen, verdichteten Bodenstruktur kommt es schnell zu Oberflächenabfluss und Erosionsereignissen.

Damit sich der Boden ähnlich wie ein Schwamm verhält, sollte eine stabile Krümelstruktur angestrebt werden. Dafür sind vor allem die Anteile der einzelnen Bodenpartikel (Sand, Schluff und Ton) sowie der Humusgehalt im Boden verantwortlich. Negativ geladene Ton- und Humuspartikel ermöglichen im Zusammenspiel mit positiv geladenen Kationen (v.a. Ca und Mg) die Ausbildung eines Grundgerüsts für eine stabile Bodenstruktur (AMELUNG et al. 2018). Durch die Stoffwechselprodukte des Bodenlebens, vor allem von Regenwürmern, Bakterien und Pilzen, wird die Porosität weiter erhöht und stabilisiert.

Im Projektgebiet liegen fast ausschließlich schwere Lehmböden (L – LT) vor. Die Wasserleitfähigkeit ist wegen des hohen Anteils an Feinporen gering. Aufgrund der Kapillareigenschaften wird Wasser nur langsam in die Tiefe abgeleitet, gleichzeitig ist der Anteil an pflanzenverfügbarem Wasser gering. Bei einer hohen Vorsättigung der Böden durch regelmäßige Niederschläge kann es daher relativ schnell zu Oberflächenabfluss kommen. Die Erosions- und Verschlammungsneigung von schweren Böden ist generell als eher niedrig einzustufen. Tonpartikel sorgen durch ihre elektrische Ladung für die Bildung stabiler Aggregatkomplexe. Diese können bei Niederschlagsereignissen wesentlich schwerer bewegt werden als beispielsweise Schluff- oder Sandpartikel. Es ist davon auszugehen, dass das Hauptproblem bei Starkniederschlagsereignissen in erster Linie der schnelle Abfluss der Wassermengen aufgrund mangelnder Bodeninfiltration darstellt. Das Wasser sammelt sich rapide in den führenden Hauptstrukturen (Weipoltshausener Dorfgraben, Höllenbach und Wildbach) und sorgt dort für Überlastungen. In Trockenperioden verschärft sich die Stresssituation der Kulturpflanzen bereits nach kurzer Zeit, da auftretender Niederschlag wegen mangelnder Infiltration nur bedingt zur Auffüllung des Bodenwasservorrats genutzt werden kann.

5.3.2 Wald

In der Gemarkung Üchtelhausen handelt es sich überwiegend um Laubwälder oder Laubmischwälder. Alle Wälder sind als Bannwald ausgewiesen oder sollen zum Bannwald erklärt werden. Sie haben neben der Holzproduktion v.a. wichtige Funktionen im Bereich Klimaschutz, Bodenschutz, Biotopschutz, Landschaftsbildschutz, Freizeit/Erholung sowie Forschung und Lehre. Die Wasserspeicherkapazität der Böden ist ausreichend bis sehr gut, wodurch es sich überwiegend um mäßig frische bis frische Standorte handelt. Ausgeprägte Stauwasserbildung findet sich nirgends (ALE UNTERFRANKEN 2013).

5.4 Abflusssituation, Bodenerosion und Brennpunkte

In der Anlage 7a und 7b sind die Bestands- und Bewertungspläne für die einzelnen Teilgebiete als Kartenmaterial dargestellt. In ihnen sind neben dem sekundären Abflussnetz, die Gräben und Abflussrinnen bilden und nur bei stärkerem Oberflächenabfluss Wasser führen, auch die sichtbaren Abflussbahnen auf landwirtschaftlichen Flächen abgebildet. Zudem sind potenzielle Brennpunkte und weitere wichtige kartierte Informationen zur Ist-Situation auf den Flächen vermerkt. Anlage 8 enthält die Berechnungen der Scheitelabflüsse zu den einzelnen Brennpunkten und den dazugehörigen Teileinzugsgebieten. Grundsätzlich handelt es sich bei den Berechnungen um grobe Abschätzungen, die zur Erkennung von Handlungsbedarf und zur überschlägigen Einordnung der Wirkung einzelner Maßnahmen dienen. Für exaktere Prognosen ist die Verwendung eines Niederschlags-Abfluss-Modells notwendig, was jedoch außerhalb der Möglichkeiten dieses Bestands- und Bewertungsplans liegt. Die Scheitelabflüsse an den Brennpunkten sind dabei stets im Kontext der darunterliegenden Abflusssituation zu betrachten. Insbesondere die Leistungsfähigkeit von Rohrleitungen spielen dabei eine große Rolle. Die Berechnungen der Leistungsfähigkeiten werden in Anlage 9 dargestellt.

5.4.1 Teilprojektgebiet „b:s Höllenbach“

Das Teilprojektgebiet „b:s Höllenbach“ umfasst die größten Flächenanteile der Einzugsgebiete des Höllenbachs (93 %) nördlich von Üchtelhausen und des Wildbachs (84 %) nordöstlich von Üchtelhausen. Der Höllenbach entspringt im Ort Hoppachshof, am Hoppachshofer See (Löschweiher) und fließt talabwärts in Richtung Schweinfurt. Dort mündet der Höllenbach im Schweinfurter Stadtteil Hochfeld in den Main. Zwischen Hoppachshof und Üchtelhausen ist der Höllenbach im Gewässerentwicklungskonzept als trockenes Gewässer erfasst. Auch zum Zeitpunkt der Kartierarbeiten lag der Bach trocken. Innerhalb der Ortschaft Üchtelhausen ist der Höllenbach vollständig bis sehr stark verändert und verläuft fast durchgehend verrohrt (SCHÖTZ & WAGENSONNER 2008).

Ein Großteil des im Teilgebiet anfallenden Oberflächenabflusses konzentriert sich am nördlichen Ortseingang im Sedimentationsbecken. Dort kommt es bei Starkregenereignissen vermehrt zu Verklausung des Beckens. Wenn das Oberflächenwasser auf die Straßen übertritt, können Schäden an Gebäuden und Infrastruktur entstehen. Aus diesem Grund wurde an dieser Stelle ein Brennpunkt festgelegt, dessen Einzugsgebiet im folgenden Berücksichtigung findet. Das EZG bis zu diesem Punkt umfasst eine Fläche von ca. 371 ha und weist eine Höhendifferenz zwischen dem höchst- und tiefelegensten Punkt von ca. 108 m auf. Die maximale Fließweglänge des Oberflächenabflusses im EZG beträgt ca. 4,2 km. Im EZG des Höllenbachs dominieren innerhalb des Projektgebiets die ackerbaulich genutzten Flächen mit bis zu 50 % und Wald/Gehölz mit ca. 30 %. Insbesondere in Hoppachshof konnten eindeutige Sedimenteintragspfade in den See aus einem Acker identifiziert werden. Weitere erkennbare Erosionsrinnen auf Ackerflächen südlich von Hoppachshof lassen auf Sediment- und partikelgebundene Nährstoffeinträge in den Höllenbach schließen. Der Bach ist in diesem Bereich stark begradigt. Südlich von Thomashof verläuft der Höllenbach weitgehend naturnah für ca. 900 m in einem Kerbtal mit Laubmischwaldbestand. Die hydraulische Rauigkeit im Bachbett ist dort durch beispielsweise Steine, Bäume und Totholz sichtbar höher als im darüberliegenden Abschnitt.

Auf den Ackerflächen im EZG findet nach der ABAG ein durchschnittlicher Bodenabtrag von ca. $4,7 \text{ t}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ statt. Auf vielen Bereichen der westlich vom Höllenbach angrenzenden Ackerflächen zwischen Thomashof und Üchtelhausen sind nach der ABAG mit mehr als $10 \text{ t}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ Bodenverlust sehr stark von Erosion betroffen. Der maximal tolerierbare Bodenabtrag liegt je nach Bodenzahl zwischen 4 und $7,5 \text{ t}/(\text{ha} \cdot \text{a})$. Auf einigen der betrachteten Acker-Feldblöcken wird dieser kritische Wert durch den mit Hilfe der ABAG berechneten mittlere, langjährigen Bodenabtrag überschritten. Auf diesen Flächen waren bei den Kartierarbeiten vereinzelte Erosionsrinnen zu sehen. Das Bodenmaterial gelangt dabei teilweise über Feldwege oder über mit Betonschalen ausgelegten Sammelgräben punktuell und ungebremst in den Höllenbach. Im südöstlichen Bereich des EZG können durch qualitative Auswertungen ähnliche Aussagen getroffen werden. Insbesondere auf den Äckern mit einer größeren Neigung und Hanglänge werden die tolerierbaren Bodenabtragszahlen oft überschritten.

Die zu erwartenden Scheitelabflüsse nach 100-jährlichen Starkregenereignissen wurden sowohl nach dem CN-Verfahren als auch mit dem Abflussbeiwertverfahren nach LUTZ berechnet. Für den Brennpunkt am Sedimentationsbecken ergibt das CN-Verfahren einen maximal zu erwartenden Scheitelabfluss von ca. $7,58 \text{ m}^3/\text{s}$. Gemäß dem Verfahren nach LUTZ können dafür ca. $6,55 \text{ m}^3/\text{s}$ prognostiziert werden.

Die Grenze der Leistungsfähigkeit des Durchlasses im Sedimentationsbecken beträgt nach Berechnungen ca. 9 m³/s (vgl. Anlage 9). Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass die Leistungsfähigkeit durch beispielsweise Verklausungen stark beeinträchtigt werden kann.

Dem Wildbach wird das Oberflächenwasser durch ein separates Einzugsgebiet an der östlichen Flanke des Teilprojektgebiets „b:s Höllenbach“ durch das Wildbachtal zugeführt. Entlang des engen Wiesenkerbtals schlängelt sich der Wildbach, der sich mit Quellläufen beiderseits der steilen Hänge zum Meerbach vereinigt. Von dort aus verläuft der Meerbach weiter südlich durch Mainberg bis er schließlich in den Main mündet. Der Wildbach wurde im Gewässerentwicklungskonzept der Gemeinde Üchtelhausen nicht näher untersucht, da er weitgehend naturnah im Wald oder am Waldrand verläuft (SCHÖTZ & WAGENSONNER 2008). Die Hausener Straße in Üchtelhausen verläuft aus der Ortschaft als Feldweg in Richtung östlich gelegenes Wildbachtal und quert dort den Wildbach. Aus Fotodokumentationen und Berichten von Ortsansässigen während der Flurbegehung vom 29.04.2022 konnte hier ein weiterer Brennpunkt ausgemacht werden. Am querenden Flurweg sammelt sich das Oberflächenwasser bei Starkregenereignissen und tritt in großen Massen unkontrolliert über den Weg. Vom Wildbach mittransportiertes Geröll und Sediment macht im Tal gelegene Wiesenflächen als Futterflächen teilweise unverwertbar.

Das EZG bis zu diesem Punkt umfasst eine Fläche von ca. 348 ha und analog zum Höllenbach eine Höhendifferenz zwischen dem höchstgelegenen und tiefgelegenen Punkt von ca. 108 m auf. Der Oberflächenabfluss legt ein maximalen Fließweg von ca. 4,3 km zurück. Im Einzugsgebiet des Wildbachs für den gewählten Brennpunkt liegt der ackerbaulich genutzte Flächenanteil bei ca. 50 % und der Anteil an Wald und Gehölz bei ca. 43 %. Nordöstlich der Waldbereiche Thomasschlag und Tannenbusch sammelt sich das Oberflächenwasser im Wildbachtal aus Grabensystemen der Äcker und Wegseitengräben. Sohlerosion sowie Materialdeposition in flacheren Bereichen von vereinzelt Sammelgräben lässt darauf schließen, dass bei Starkregenereignissen konzentrierter und mit Sediment angereicherter Oberflächenabfluss in das Wildbachtal transportiert wird. Zum Zeitpunkt der Kartierarbeiten lag das Gerinne des Wildbachtals trocken. Im Tal ist der Graben weitgehend begradigt und teilweise mit Betonschalen ausgelegt. Eine Gewässerdynamik ist entsprechend nicht zu erkennen. Im Osten angrenzend wird das Wildbachtal durch den Oberflächenabfluss der Waldhangelagen Stöckach, Roths Schlag und Tannenbusch gespeist. Im westlichen Bereich gelangt der Oberflächenabfluss von den Ackerflächen durch vereinzelt teilweise Gräben in das Tal. Die an den Wildbach angrenzenden Flächen werden überwiegend als Dauergrünland genutzt. Durchschnittlich liegt der langjährige Bodenabtrag auf den Ackerflächen bei ca. 3,7 t/(ha*a). Einzelne Flächen hingegen werden laut ABAG als stark erosionsgefährdete Flächen eingestuft, auf denen mit mehr als 10 t/(ha*a) Bodenabtrag zu rechnen ist.

Der maximal tolerierbare Bodenabtrag auf den Ackerflächen liegt je nach Bodenzahl zwischen 3,5 und 7,75 t/(ha*a). Teilweise wird im EZG dieser kritische Wert durch den mit Hilfe der ABAG berechneten mittleren, langjährigen Bodenabtrag überschritten. Dies wird beispielsweise auf einem Acker (Fl.-Nr.: 3081) im Wildbachtal deutlich, der mit einer - bezogen auf das Projektgebiet - vergleichsweise hohen Bodenzahl von 58 eingestuft wurde. Der noch tolerierbare langjährige mittlere Bodenabtrag von ca. 7,25 t/(ha*a) wird nach Angabe der ABAG von ca. 10 t/(ha*a) Bodenabtrag um 2,75 t/(ha*a) überschritten. Der auf den westlich des Talgrabens liegenden Ackerflächen entstehende Abfluss fließt eher dezentral über mehrere, verschieden prägnant ausgeprägte Geländemulden ab, die ausnahmslos ackerbaulich genutzt werden. Kommt es zu Oberflächenabfluss, wird das Wasser hier vorwiegend unkontrolliert in der Flur abfließen. In Einzelfällen erfolgt eine Ableitung in Seitengraben. In einigen Geländemulden sind die Einstufungen der ABAG teilweise durch starke Flächen- und Rinnenerosion ersichtlich. An den Unterhängen bilden sich entsprechend deutliche Ablagerungsflächen des abgetragenen Bodens aus. Bei starken Ereignissen ist davon auszugehen, dass ein großer Anteil der Feinsedimente über den Oberflächenabfluss und über Sammelgräben entlang der Ackerflächen in den Graben im Wildbachtal transportiert werden.

Für den Brennpunkt am Wildbach querenden Weg ergibt das CN-Verfahren bei einem 100-jährlichem Niederschlagsereignis einen maximal zu erwartenden Scheitelabfluss von ca. 6,86 m³/s. Gemäß dem Verfahren nach LUTZ können dafür ca. 5,97 m³/s prognostiziert werden. Unter dem querenden Weg verläuft eine Verrohrung mit einem Eiquerschnitt (Abflussquerschnitt ca. 0,563 m²). Berechnungen zur Abflussleistung des nicht kreisförmigen Rohrs ergeben einen Durchfluss von ca. 2,33 m³/s. Der mittels CN-Verfahren geschätzte Scheitelabfluss für ein 5-jährliches Niederschlagsereignis liegt bei ca. 2,79 m³/s. Die Leistungsfähigkeit des Durchlasses stößt demzufolge statistisch betrachtet einmal innerhalb von fünf Jahren an ihre Grenzen.

5.4.2 Teilprojektgebiet „b:s Weipoltshausener Dorfgraben“

Der Weipoltshausener Dorfgraben entspringt aus einer Quelle im Hoppachsgrund, nördlich von Weipoltshausen beim Waldstück Klingenholtz und fließt in Richtung südlich gelegenen Ortsteil Zell. Zwischen Weipoltshausen und Zell trifft ein Zufluss aus dem Jeusingrund auf den Weipoltshausener Dorfgraben, der ab hier Zellergrundbach genannt wird. Dieser mündet zunächst in Schweinfurt in den Marienbach und anschließend in den Main. Der Weipoltshausener Dorfgraben ist im ersten Abschnitt nördlich von Weipoltshausen als trockenes Gewässer erfasst und wurde kurz vor der Ortschaft mäßig bis deutlich, innerhalb von Weipoltshausen vollständig verändert. Hier befindet sich ein Löschteich im Hauptschluss. Beim Verlassen des Dorfes ist das Gewässer in eine stark bis deutlich veränderte Strukturklasse eingestuft (SCHÖTZ & WAGENSONNER 2008).

Das EZG des Weipoltshausener Dorfgrabens bis zum Punkt der ersten Verrohrung vor Ortseingang umfasst etwa 361 ha. Die maximale Fließweglänge des Oberflächenabflusses im EZG beträgt ca. 2,9 km und erstreckt sich über einen Höhenunterschied von ca. 105 m. Den größten Flächenanteil im Einzugsgebiet nimmt der Wald mit ca. 70 % ein, die ackerbaulich genutzte Fläche beläuft sich auf ca. 18 %. Die Äcker im Norden des EZGs sind nach der ABAG mäßig erosionsgefährdet. Hierfür werden für die Flächen durchschnittlich 3,5 t/(ha*a) Bodenabtrag prognostiziert. Bei einem 100-jährlichen Niederschlagsereignis kann am Ortseingang von Weipoltshausen nach dem CN-Verfahren von einem geschätzten Scheitelabfluss von ca. 8,15 m³/s ausgegangen werden. Nach dem Verfahren nach LUTZ liegt die Scheitelabflusshöhe bei 7,06 m³/s.

In folgender Tabelle 6 werden die für das Teilprojektgebiet identifizierten Brennpunkte mit den wichtigsten Parametern gegenübergestellt und anschließend deskriptiv erläutert:

Tabelle 6: Gegenüberstellung der Parameter der Brennpunkte im Teilprojektgebiet "b:s Weipoltshausener Dorfgraben"

Parameter	Boller- hügel	Schind- graben	Kirsch- graben	Jeusing- straßen- graben	Längental /Alter Kaiser
Koordinaten UTM 32 U	590883.9, 5552190.8	590842.9, 5552122.5	590544.9, 5552132.1	590550.7, 5552143.1	590550.7, 5552143.1
Einzugsgebietsfläche [ha]	7,9	7,6	24,8	10,3	129,3
Dominierende Flächennutzung [%]					
Ackerfläche:	30	67	90	77	26
Grünland:	36	20	3	1	14
Wald/Gehölz:	27	8	0	0	56
Sonstige:	7	5	7	22	4
Mittlere Hangneigung der Ackerflächen [%]	8,3	7,3	6,2	5,9	7,9
Pot. mittlerer, langjähriger Bodenabtrag [t/(ha*a)]	5,2	4,1	5,3	3,1	4,4
Geschätzter Scheitelabfluss nach CN-Verfahren [m³/s] (100-jährliches Ereignis)	0,61	0,76	1,91	0,8	4,3
Geschätzter Scheitelabfluss nach nach LUTZ [m³/s] (100- jährliches Ereignis)	0,57	0,64	1,56	0,64	3,61
Leistungsfähigkeit Verrohrung [m³/s]	1,0	1,2	0,5	1,5	2,2

Der Brennpunkt „Bollerhügel“ liegt oberhalb der Zimmerei im östlichen Bereich von Weipoltshausen. Im Einzugsgebiet können eindeutige Erosionsrinnen im Wald auf dem bestehenden Weg ausgemacht werden. Zum Schutz vor unkontrolliertem Oberflächenabfluss bei Starkregen aus der Flur wurde kurz vor Ortsbeginn bereits ein kleines Auffangbecken mit einbetonierten Steinen befestigt. Das Oberflächenwasser soll hierdurch solange zurückgehalten werden, bis es durch die gegebene Verrohrung abfließen und in den Weipoltshausener Dorfgraben entwässern kann. Berechnungen zufolge kann die Rohrleitung das Wasser eines 100-jährlichen Niederschlagsereignisses vollständig aufnehmen. Aufgrund von hohem Totholz- und Geröllanteil in der darüberliegenden Geländemulde besteht jedoch eine hohe Verklauungsgefahr und somit das Risiko von unkontrolliertem Oberflächenabfluss in den Siedlungsbereich.

Südlich angrenzend konnte im „Schindgraben“ ein weiterer neuralgische Punkt identifiziert werden. Im Einzugsgebiet können sich die Wassermassen aus der Flur sammeln und gebündelt im stark eingeschnittenen und steilen (ca. 25 % Gefälle) Schindgraben abfließen. Der Oberflächenabfluss wird kurz vor Ortsbeginn durch ein angelegtes Sedimentationsbecken (ca. 20 m nordöstlich der alten Schule) gebremst, ehe er verrohrt in den Weipoltshausener Dorfgraben eingeleitet wird. Im angelegten Becken können sich das mitgeführte Sediment, Geröll und Gehölz ablagern. Die Wirksamkeit ist jedoch nur eingeschränkt gegeben, da es laut Aussage der Ortskundigen nicht regelmäßig geräumt wird und zum Zeitpunkt der Kartierung entsprechend mit Material zugesetzt war. Unterhaltungsmaßnahmen sind schwer umsetzbar, da nur ein beschwerlicher Zugang durch Gehölz gegeben ist und das Absetzbecken aktuell nur per aufwändiger Handarbeit geräumt werden kann. Auch an dieser Stelle ist ohne Berücksichtigung der Verklauungsgefahr die Rohrleitung auf die Wassermassen eines 100-jährlichen Ereignisses ausgelegt.

Unmittelbar vor Ortsbeginn in der Jeusingstraße fließt der Kirschgraben verrohrt unterhalb von Häusern in den Weipoltshausener Dorfgraben. An diesem kritischen Übergangspunkt kommt es vermehrt zu Verklauung der Verrohrung und somit zum unkontrollierten Oberflächenabfluss durch die Ortschaft. Darüber hinaus führt das mitgeschwemmte grobe Material laut Aussage der Ortsansässigen zu erheblichen Schäden innerhalb eines Hauses. Im oberen Bereich des Einzugsgebiets wird größtenteils Ackerbau betrieben. Aufgrund der Erosionsanfälligkeit der Ackerflächen und mangelnden Erosionsschutzmaßnahmen wird bei Starkniederschlagsereignissen feines Bodenmaterial in den Kirschgraben und letztlich in den Weipoltshausener Dorfgraben eingetragen. Im unteren Bereich des EZGs wird das Gelände steiler (ca. 9 % Gefälle) wodurch der gebündelte Oberflächenabfluss hohe Fließgeschwindigkeiten erreichen kann. Durch die damit einhergehende steigende Transportkapazität kann gröberes Material wie bspw. Laub, Gehölz, Geröll etc. aufgenommen werden.

Aktuell bestehen provisorische Schutzmaßnahmen in Form eines angebrachten Gitters vor Beginn der Verrohrung, um Verstopfungen vorzubeugen. Die Leistungsfähigkeit der Rohrleitung ($0,5 \text{ m}^3/\text{s}$) ist ohne Berücksichtigung des Verklausungsrisikos bereits nach einem 3-jährlichem Ereignis überschritten und kann die prognostizierten Mengen von $0,57 \text{ m}^3/\text{s}$ nicht mehr aufnehmen.

Entlang der Jeusingstraße auf der gegenüberliegenden Seite des Kirschgrabens verläuft der Jeusingstraßengraben. Hier konnte ebenfalls der gleichnamige Brennpunkt beim Übergang in eine Verrohrung identifiziert werden. Das Rohr kann Berechnungen zufolge den Scheitelabfluss eines 100-jährlichen Niederschlagsereignisses vollständig aufnehmen. Analog zum Kirschgraben kommt es jedoch auch hier bei Starkregenereignissen vermehrt zu Verklausung des vorgeschalteten Rechens. Ungebremster, mit Sediment angereicherter Oberflächenabfluss durch Weipoltshausen und die Gefährdung von Grundstücken sind die Folge. Aus diesem Grund besteht auch für das Einzugsgebiet des Jeusingstraßengrabens dringend Handlungsbedarf.

Des weiteren wird das Augenmerk auf das Längental gerichtet. Aufgrund des relativ großen Einzugsgebiets gelangt im Vergleich zu den genannten Brennpunkten viel Oberflächenabfluss über die Geländemulde des Tals und den anschließenden Graben in den Weipoltshausener Dorfgraben. Statistisch betrachtet, kommt es bei der vorhandenen Dimensionierung der Verrohrung im Graben (Fassungsvermögen ca. $2,2 \text{ m}^3/\text{s}$) zu einem sich alle 20 Jahre wiederholenden Rückstau, da die errechneten Wassermengen von ca. $2,8 \text{ m}^3/\text{s}$ nicht vollständig aufgenommen werden können. Im Einzugsgebiet konnten vereinzelt Erosionsprozesse auf den Wegen und Sohlerosion in einzelnen Sammelgräben kartiert werden. Um Siedlungsbereiche im Norden von Weipoltshausen vor Oberflächenabfluss und Sedimenteintrag zu schützen, wurde ein provisorischer Wegseitengraben angelegt. Aufgrund fehlender Sohl- und Böschungsbefestigung sind deutliche Erosionsspuren im Graben erkennbar. Ein Teil des Oberflächenwassers vom Alten Kaiser wird hierüber aufgefangen und punktuell in den Wald eingeleitet. Das mit Sediment angereicherte Wasser gelangt letztlich auch in den Graben des Längentals. Vor dem Gebäude des Eigenheimer e. V. wurde ein Sedimentationsbecken angelegt, wodurch die Fließgeschwindigkeit reduziert wird und sich das Material teilweise absetzen kann.

6. Maßnahmenkonzeption

Aufgrund der Topographie des Projektgebietes stehen bei Starkregenereignissen folgende Prozesse im Vordergrund:

- Rasches Überschreiten der Infiltrationskapazität der Böden, dadurch schnelles Einsetzen von Oberflächenabfluss
- Erosion insbesondere auf Ackerflächen (On-site)
- Bodenabtrag und Transport über Gräben und temporäre Fließstrukturen wie Geländemulden, weitere Erosion bei mangelnder Bodenbedeckung
- Bodenablagerungen in Mulden und Bereichen mit geringerem Gefälle
- Rasches Anschwellen und Ausuferen der Bäche (z.B. Höllenbach & Wildbach), Überflutung angrenzender landwirtschaftlicher Flächen, weitere Erosion von betroffenen Ackerflächen
- Wild abfließendes Wasser in Ortsbereichen bei überlasteter Kanalisation oder bei Bebauung von temporär wasserführenden Geländemulden

Die Prämisse der boden:ständig-Projekte ist, zunächst durch die Entstehung von Oberflächenabfluss und Erosion auf der Fläche zu verringern bzw. zu verzögern, in dem die Wasseraufnahmefähigkeit und Widerstandsfähigkeit der Böden gegen Erosion gesteigert wird. Das kann vor allem durch produktionstechnische Maßnahmen zur Verbesserung der Bodenstruktur wie zum Beispiel reduzierte Bodenbearbeitung, Zwischenfrüchte, Untersaaten oder die Verkürzung von erosionswirksamen Hanglängen erreicht werden.

Die im Rahmen eines boden:ständig-Projektes vorgeschlagenen ingenieurökologischen Maßnahmen sind grundsätzlich nicht für einen Hochwasserschutz nach den Standards der Wasserwirtschaftsverwaltung geeignet. Ziel der Maßnahmenvorschläge ist vordringlich der Rückhalt des Wassers auf der Fläche und die Schaffung von Sedimentrückhalten. Häufig sind damit jedoch Möglichkeiten zum dezentralen Wasserrückhalt verbunden. An geeigneten Stellen werden Maßnahmen vorgeschlagen, um durch gezielte, schadlose Ableitung und temporäre Zwischenpufferung von Oberflächenabfluss die Höhen der in den Ortsbereichen auftretenden Abflussspitzen zu verringern. Damit ergibt sich zusammen mit dem Sedimentrückhalt die Chance, auch einen Beitrag zur Verringerung der Wahrscheinlichkeit und der resultierenden Schadenshöhe von Hochwasserschäden an Siedlungen und landwirtschaftlichen Kulturen zu leisten.

Meist ist dies an Flurwegen möglich, die die Tallagen queren, indem diese, der Landschaft angepasst, erhöht werden. Maßgeblich für die Obergrenze der Weganhebung sind neben den bereits vorhandenen Zwangspunkten durch die Weganbindungen auch die Vorgaben durch die DWA-M 522 für kleinste Stauanlagen, die von einer max. Stauhöhe von 2 m und einem Gesamtstauraum von $< 10.000 \text{ m}^3$ ausgehen. An diesen Stellen kann zudem durch eine differenzierte Abflussdrosselung ein Sedimentrückhalt erreicht werden. Die landwirtschaftliche Fläche im potenziellen Einstaubereich kann weiterhin genutzt werden. Für einen eventuellen Ernteausfall und eine Räumung sollten Vereinbarungen mit den jeweiligen Kommunen getroffen werden.

Grundsätzlich ist bodenständig eine freiwillige Initiative und auf die Mitmachbereitschaft der Grundeigentümer; Bewirtschafter und Kommunen angewiesen. Die einzelnen Maßnahmen sind daher vor einer Umsetzung mit den Beteiligten abzuklären.

Nachfolgend sind die vorgeschlagenen produktionstechnischen und ingenieurökologische Maßnahmen dargestellt. Details und Übersichtspläne für die jeweiligen Maßnahmen befinden sich in Anlage 10a & 10b (Maßnahmenplan) und Anlage 11a & 11b (Maßnahmenblätter).

6.1 Maßnahmenkonzeption und Stellschrauben in der Landwirtschaft

Die Konservierung wertvollen Oberbodens und der Aufbau einer humusreichen Ackerkrume sind Voraussetzung für erfolgreichen Ackerbau. Zudem zeigte sich in den letzten Jahren aus landwirtschaftlicher Sicht eindrucksvoll, dass der eigentlich limitierende Faktor für das Pflanzenwachstum oft nicht das Angebot von Nährstoffen wie Stickstoff oder Phosphor ist, sondern in erster Linie die Verfügbarkeit von Wasser. Daher ist die Steigerung der Wasserinfiltration und Wasserhaltekapazität der Böden zentrales Element zukunftsfähiger Anbausysteme.

6.1.1 Bewirtschaftungsmaßnahmen zur Verbesserung der Böden

6.1.1.1 Fruchtfolgegestaltung: Ganzjährige Bodenbedeckung und Diversität bei minimaler Bodenbearbeitung

Eine vielfältige und durchdachte Fruchtfolge ist die Grundlage nachhaltiger Anbausysteme. Für bestmöglichen Erosionsschutz, Humusaufbau und Stimulierung des Bodenlebens ist eine möglichst ganzjährige Bodenbedeckung mit lebenden Pflanzen optimal. Der oberflächliche Aufwuchs bremst den Oberflächenabfluss und durch das Wurzelwerk der Pflanzen wird der Boden an Ort und Stelle gehalten.

Aktiv wachsende Pflanzen können zudem ca. 20 - 30 % des durch Photosynthese fixierten Kohlenstoffs in Form von organischen Verbindungen an den Boden abgeben. Sie scheiden über ihre Wurzeln zum Beispiel Zucker, Aminosäuren und organische Säuren aus. Diese Stoffe sind Nahrungsgrundlage für eine Vielzahl von Bakterien, Pilzen und weiterer Bodenmikroorganismen (JONES 2008).

Neben diversen Bakterienstämmen sind besonders Mykorrhiza-Pilze von großer Bedeutung für die Bodenstruktur und Wasserinfiltration auf landwirtschaftlich genutzten Flächen. Sie bilden das Protein Glomalin, eine Art biologischer Klebstoff, der Bodenaggregate stabilisiert und miteinander vernetzt (SINGH et al. 2013).

Ein aktives Bodenleben hat also einige Vorteile, die besonders in Anbetracht von Klimawandel und stetig steigender Betriebsmittelpreise gefragt sind: Verbesserung der Nährstofffreisetzung, Verbesserung der Pflanzengesundheit sowie Aufbau und Erhalt von Bodenstruktur (LEHMAN et al. 2011).

Der Anbau von Zwischenfrüchten und Untersaaten ist das wichtigste Werkzeug, um eine ganzjährige Bodenbedeckung sicherzustellen und das Bodenleben zu fördern. Bei Zwischenfrüchten sollte auf eine möglichst diverse Mischung, die kompatibel mit der betriebseigenen Fruchtfolge ist, geachtet werden. Durch verschiedene Wurzelwerke kann das größtmögliche Bodenvolumen erschlossen werden. Durch die Kombination verschiedener Pflanzenarten lässt sich das Bodenmikrobiom bestmöglich aktivieren und mehrere positive Aspekte, wie zum Beispiel die Freisetzung von Nährstoffen wie Phosphor, oder Silizium, die Bindung von Stickstoff durch Leguminosen, oder die enorme Bildung von Wurzelmasse und starke Interaktion mit Mykorrhiza-Pilzen durch Gräser, kombinieren (KAYE et al. 2017; KIM et. al 2020).

Die Erosionsneigung bewachsener Flächen ist sehr gering, zwischen Aussaat und Bestandesetablierung wird es jedoch immer Zeitfenster geben, in denen der Boden besonders erosionsanfällig ist. Die Gefahr von Bodenerosion und oberflächlichen Wasserabfluss von Ackerflächen nach der Saat lässt sich aber durch Mulchauflagen aus abgestorbenen Pflanzenresten deutlich reduzieren. Nach Pfahlwurzeln wie Raps oder Erbse ist in der Regel nur eine minimale Bodenbearbeitung zur Bekämpfung des Ausfalls nötig. Auch Direktsaatverfahren lassen sich nach diesen Kulturen besonders einfach erproben. Allerdings bringen Mulch- und Direktsaatverfahren auch Herausforderungen mit sich: Spezielle Anforderungen an die Landtechnik, veränderte Nährstoffdynamik, langsamere Abtrocknung des Bodens im Frühjahr und gegebenenfalls Infektionsrisiken für die Hauptkultur.

Ein weiterer Ansatz, um Bodenbedeckung und Diversität auf Ackerflächen zu steigern, ist die Etablierung von Beisaaten. Im gesamten Projektgebiet spielt der Anbau von Raps eine tragende Rolle.

Raps wird Mitte August bis Anfang September in ein sehr feinkrümeliges Saatbett gesät. Frisch bestellte Rapsflächen sind bei Sommergewittern besonders erosionsgefährdet. Durch Beisat von abfrierenden Leguminosen (z.B. Sommerwicke, Erbse, Alexandrinerklee) kann zu einem früheren Zeitpunkt eine ausreichende Bodenbedeckung geschaffen werden, um den Boden vor Starkniederschlägen zu schützen. Weitere positive Aspekte können eine bessere Durchwurzelung des Bodens, eine vielfältigere Ernährung des Bodenlebens, Einsparung von Herbizid- und Insektizidmaßnahmen sowie ein N-Transfer von Leguminosen zu Raps sein. Nach Abfrieren der Beisaaten dienen die Pflanzenreste außerdem als Mulchmaterial. Neben reduzierter Bodenerosion hat Mulch auch weitere positive Aspekte, wie zum Beispiel höhere Bodenfeuchte durch geringere Verdunstung, Regulation der Bodentemperatur und Futterquelle für Bodenlebewesen (IQBAL et al. 2020).

Zusammenfassend sollte es das Ziel sein, eine Fruchtfolge zu entwickeln, bei der die Flächen durch diverse Hauptkulturen, artenreiche Zwischenfrüchte und Untersaaten möglichst ganzjährig begrünt sind. Nach Durchführung von Lockerungsmaßnahmen sollte die Bodenstruktur schnellstmöglich durch die Etablierung eines Pflanzenbestandes stabilisiert werden. Bei der Aussaat sollten Varianten mit möglichst geringer Bodenbearbeitung angestrebt werden. Die Umsetzbarkeit dieser Vorhaben muss stets in Kontext mit der jeweiligen Betriebsstruktur, der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und der lokalen Standortfaktoren und Wetterverhältnisse gesehen werden.

Im Projektgebiet Üchtelhausen liegen fast ausschließlich schwere Lehmböden (L – LT) vor. Der mittlere Niederschlag von 2015-2020 lag bei 540 mm pro Jahr. In trockenen Jahren kann sich die Etablierung einer Zwischenfrucht aufgrund von Problemen bei Bodenbearbeitung und Wasserversorgung als schwierig erweisen. Unter diesen Umständen ist das wassersparende Verfahren der Direktsaat eine interessante Option. Durch den Anbau von Zwischenfrüchten in Direktsaat können zudem wertvolle Erfahrungen gesammelt werden, die auch für den erfolgreichen Anbau von Hauptkulturen in Direktsaat genutzt werden können.

Angesichts der derzeit sehr hohen Betriebsmittelkosten kann bei ungünstigen Bedingungen statt einer Zwischenfrucht vor Winterungen auch eine Stoppelbrache mit Strohmulchauflage eine vertretbare Variante sein. Generell ist die Veredelung von Zwischenfrucht- und Untersaataufwüchsen in tierhaltenden Betrieben oder auch Biogasanlagen sinnvoll, im Projektgebiet wird sich dies aufgrund der nur wenigen tierhaltenden Betriebe allerdings als schwierig erweisen. Während der Zwischenfruchtanbau vor Mais relativ unkompliziert zu sehen ist, erfordert der Umgang mit Zwischenfrüchten vor frühen Sommerungen (z.B. Gerste, Hafer etc.) – besonders auf schweren Böden – mehr Fingerspitzengefühl.

Die Befahrbarkeit der Böden muss bei allen Arbeitsgängen unbedingt berücksichtigt werden, um Schäden durch Bodenverdichtung zu vermeiden. Vor allem Tonböden sind angesichts der hohen Gesamtgewichte moderner landwirtschaftlicher Gespanne anfällig für Unterbodenverdichtungen.

Aufgrund der vielen verschiedenen Stellschrauben um eine möglichst ganzjährige Bodenbedeckung erfolgreich zu realisieren, zeigen wir den Landwirt:innen im Rahmen der boden:ständig Beratung betriebsindividuelle Möglichkeiten und Lösungsansätze auf. Besonderes Augenmerk wird auf den Wissenstransfer bezüglich innovativer Anbauverfahren mit möglichst geringer Bodenbearbeitung gelegt. Dazu gehört neben der Information bezüglich ackerbaulicher Vor- und Nachteile sowie verschiedener technischer Verfahren durch einzelbetriebliche Beratungsangebote, Bodenstammtische, Feldtage, oder Betriebsbesichtigungen auch eine wirtschaftliche Abwägung der Maßnahmen unter Einbezug der aktuellen Förderrahmenbedingungen. Durch das KULAP konnten bisher Bewirtschaftungsverfahren, wie zum Beispiel eine vielfältige Fruchtfolge, Mulchsaatenverfahren oder der Anbau winterharter Zwischenfrüchte, finanziell unterstützt werden. Allerdings ist aufgrund der Reform der gemeinsamen Agrarpolitik der EU (GAP) die KULAP-Förderkulisse ab dem Jahr 2023 noch unklar.

6.1.1.2 Bodenanalysen & Kalkung: Die Grundlagen für eine gute Bodenstruktur und damit Wasserinfiltration setzen

Eine regelmäßige Kalkung ist essentiell, um den standortspezifisch passenden pH-Wert einzustellen. Dies ist für eine ausgewogene Nährstoffverfügbarkeit und damit optimales Pflanzenwachstum entscheidend. Weiterhin ist der pH-Wert von großer Bedeutung, um gute Lebensbedingungen für Bakterien, Pilze, Regenwürmer & Co. zu schaffen. Ein reges Bodenleben wiederum ist ausschlaggebend für Humusaufbau und eine ausdauernde, biologische Stabilisierung der Bodenaggregate (AMELUNG et al. 2018; HOORMAN et al. 2011).

Neben dem direkten Effekt auf den pH-Wert ist die Kalkversorgung eine besonders wichtige Stellschraube hinsichtlich Bodenstruktur und Aggregatstabilität. Durch Kalkung (z.B. in Form von kohlensaurem Kalk, Dolomit, Branntkalk, Carbokalk oder Gips) werden dem Boden zweifach positiv geladene Kationen (Ca^{++} , Mg^{++}) zugeführt. Diese können durch ihre positiv geladenen „Arme“ als Kalkbrücken zwischen negativ geladenen Ton- und Humuspartikeln fungieren und damit die Bodenstruktur verbessern. Die Bildung von Ton-Humus-Komplexen ist für ein gutes Nährstoffhaltevermögen und für die langfristige Speicherung organischer Substanz im Boden von großer Bedeutung. Die Zufuhr von Kalk verschiebt zudem die Porenverteilung im Boden zugunsten der größeren Meso- und Grobporen und begünstigt damit einen besseren Luft-Wasser-Haushalt im Boden.

Dieser positive Effekt der Kalkung kann allerdings durch die jährliche Bodenbearbeitung stark beeinträchtigt werden. Ein zu intensiver mechanischer Eingriff kann Bodenaggregate und das gewachsene Porensystem wieder zerstören (FRANK et al. 2019).

Der Karbonattest mittels Salzsäure ist eine einfache Möglichkeit, um die grundlegende Verfügbarkeit von freiem Kalk zu bestimmen. Für genauere Informationen, die besonders für die auszubringende Kalkart und konkrete Düngeempfehlungen von großer Bedeutung sind, stehen neben der Standard-Bodenanalyse nach VDLUFA auch viele weitere Angebote bodenkundlicher Labore zur Auswahl, die in der Regel auf der Bodenuntersuchung nach Prof. William Albrecht basieren. Die Düngeempfehlungen nach diesem Verfahren orientiert sich in erster Linie daran, die Verhältnisse basisch wirkender Kationen (Ca, Mg, K, Na) am Sorptionskomplex zu optimieren.

Zwar wird ein Großteil der Ackerflächen im Projektgebiet als carbonatreich klassifiziert, um die tatsächliche Verfügbarkeit von freiem Kalk zu überprüfen, ist ein regelmäßiger Karbonattest jedoch empfehlenswert. Gerade auf schweren Böden ist auf eine ausreichende Kalkversorgung zu achten, um eine gute Bearbeitbarkeit zu gewährleisten und Dichtlagerung der Böden vorzubeugen. Eine ausreichende Durchlüftung der Böden ist für gesunde und ertragreiche Bestände von großer Bedeutung. Außerdem lohnt sich gegebenenfalls auch eine weiterführende Bodenuntersuchung, die die entsprechende Basensättigung am Sorptionskomplex analysiert. Auf Rendzina-Böden, die sich auf karbonathaltigem Gestein gebildet haben, scheint der pH-Wert oft in Ordnung. Bei genauerer Betrachtung der Basensättigung können allerdings Disbalancen (v.a. zwischen Ca und Mg) sichtbar werden. Wenn dies der Fall ist, sollte durch entsprechende Kalkung gegengesteuert werden. Neben einer ausgewogenen Bodenchemie muss bei schweren Böden jedoch unbedingt auf eine ausreichende biologische Aktivität im Boden geachtet werden, um Porosität zu erhalten und zu stabilisieren.

Im Rahmen der bodenständig Beratung werden Informationen rund um das Thema Kalk und Bodenstruktur vermittelt. In diesem Zusammenhang können auch die Vor- und Nachteile verschiedener Bodenanalysen dargelegt werden.

6.1.2 Strukturelle Maßnahmen in der Feldflur: Hanglängenverkürzung, Keyline-Systeme und Agroforst

Neben der Optimierung der Bewirtschaftung der landwirtschaftlichen Flächen sind auch strukturelle Maßnahmen sinnvolle Werkzeuge, um die Erosionsproblematik zu entschärfen und den Wasserabfluss zu reduzieren. Ein Problem in der Feldflur sind die teils sehr großen Schläge. Aus Sicht des Bewirtschafters ergeben sich durch weniger Zeit- und Organisationsaufwand bei größeren Schlägen letztlich geringere Kosten.

Aus einer multifunktionalen Perspektive auf die Feldflur, die auch Punkte wie Erosion, Wasserrückhalt und Biodiversität berücksichtigt, stellen die Schlaggrößen jedoch ein erhebliches Problem dar. Durch wenig verknüpfende Strukturen zwischen den einzelnen Biotopen ist die Ausräumung der Landschaft als einer der Hauptfaktoren für den Rückgang der Artenvielfalt zu sehen (TSCHARNTKE et al. 2005).

Verschiedene Ackerkulturen schaffen für unterschiedliche Zeiträume eine erosionsmindernde Bodenbedeckung. Während Raps fast für eine ganzjährige Bodenbedeckung sorgt, schützt zum Beispiel Sommergerste mit einer Vegetationszeit von ca. 120 Tagen den Boden nur für einen geringen Zeitraum. Bei einer vielfältigen, kleinstrukturierten Agrarlandschaft können weit entwickelte Winterungen als eine Art Pufferstreifen zwischen brachen Flächen oder frisch eingesäten Sommerungen dienen bevor das Wasser Fahrt aufnimmt.

Schläge wurden im Zuge der Flurbereinigung zwar oft hangparallel angelegt, durch deren Größen ergeben sich aber trotzdem große Hanglängen und somit Erosionsgefahr. Besonders die verdichteten Fahrgassen am Vorgewende dienen oft als „Autobahnen“ für gebündelten Wasserabfluss.

6.1.2.1 Anlage von Erosionsschutzstreifen

Um das Problem des gebündelten und schnellen Oberflächenabflusses zu entschärfen gibt es neben bodenverbessernden Bewirtschaftungsmaßnahmen auch verschiedene strukturelle Ansätze. Zum Einen kann die gezielte Anlage von Erosionsschutzstreifen in Form von bspw. Graseinsaaten auf Flächen mit hoher Erosionsneigung Abhilfe schaffen. Erosionsschutzstreifen sind vor allem an den oberen Hanglagen effektiv, indem sie das Wasser bereits am Beginn des Gefälles abbremsen. Bei der Etablierung (Steigung, Breite etc.) ist auf eine möglichst bewirtschaftungsfreundliche Anlage entsprechend der betriebseigenen Arbeitsbreiten zu achten. Der Grasaufwuchs kann in der Tierhaltung oder Biogasanlagen veredelt werden. Gezielte Kooperationsvereinbarungen mit entsprechenden Betrieben können eine optimale Nutzung des Aufwuchses unterstützen. Aufgrund der relativ geringen Dichte von (Milch-)viehhaltenden Betrieben und Biogasanlagen müssen Kooperationsmöglichkeiten für die Verwendung etwaiger Erosionsschutzstreifen noch ausgelotet werden. Des Weiteren konnte die Anlage von Erosionsschutzstreifen bisher im Rahmen des KULAP gefördert werden. Derzeit ist jedoch unklar, mit welchen Möglichkeiten das KULAP für die kommende Förderperiode ausgestattet sein wird. Eine leistungsgerechte Förderung von Erosions- und Gewässerschutzstreifen ist wünschenswert.

6.1.2.2 Agroforst

Bei Agroforstsystemen werden Gehölze und der Anbau landwirtschaftlicher Kulturen bzw. Nutztierhaltung kombiniert. Agroforst ist eine multifunktionale Landnutzungsform, die positive Effekte auf Ökologie, aber auch Produktivität mit sich bringen kann. Durch die Etablierung von Gehölzen wird die Gefahr von Bodenerosion durch Wind und Wasser reduziert. Zudem sind Agroforstsysteme ein wichtiger Baustein für Humusaufbau auf landwirtschaftlich genutzten Flächen. Weiterhin können tiefwurzelnde Gehölze Nährstoffe aus tieferen Bodenschichten mobilisieren und durch ihr Laub in den oberflächennahen Nährstoffkreislauf pumpen. Staatliche Förderprogramme und Initiativen zur monetären Entlohnung von Kohlenstoff-Fixierung können die wirtschaftliche Attraktivität von Agroforstsystemen zusätzlich steigern.

Aufgrund der genannten Vorteile sind Agroforstsysteme derzeit in aller Munde. Allerdings gibt es auch Nachteile und Herausforderungen, die die gezielte Kombination von Gehölzen und Ackerflächen erschweren. Daher gilt es verschiedene Aspekte, zum Beispiel hohe Etablierungskosten bei mittel- bis langfristigem „Return on Investment“, höherer Aufwand für die Flächenbewirtschaftung, langfristige Flächenbindung und das Konkurrenzverhältnis um Licht, Wasser und Nährstoffe zu berücksichtigen (DEFAF 2022).

Um die Vorteile von Agroforstsystemen optimal auszunutzen und gleichzeitig mögliche Einschränkungen und Probleme zu minimieren, bietet die GeoTeam GmbH bei Interesse im Rahmen von bodenständig Beratungsleistungen an. So können die betriebsabhängigen Gegebenheiten vor Ort evaluiert und ein entsprechendes Konzept erarbeitet werden.

6.1.2.3 Flächengestaltung nach Keyline – Design

Während Erosionsschutzstreifen wirksame Einzelmaßnahmen sind, um die Erosionsproblematik an Brennpunkten zu entschärfen, ist die Anwendung von Keyline-Design ein systemischer Ansatz. Zentrales Anliegen ist hierbei die Optimierung des Wasserhaushalts in der Landschaft unter Berücksichtigung der topographischen Verhältnisse vor Ort (Yeomans 1958). In hängigem Gelände werden Flächenstrukturen basierend auf der Geländekontur angelegt. Anhand von digitalen Geländemodellen und der jahrelangen Erfahrungswerte der Praktiker vor Ort, werden quer zum Hang sogenannte Key-Lines festgelegt. Diese dienen als Orientierung für die landwirtschaftliche Bewirtschaftung. Entlang der Key-Lines werden Ackerkulturen, Grünlandstreifen, Grabenmulden oder auch Agroforstsysteme etabliert.

Bei Starkregenereignissen läuft das Wasser nicht oberflächlich ab und sammelt sich in der Talsohle, sondern wird abgebremst, entlang der angelegten Konturen flächig über den Hang verteilt und kann gleichmäßig infiltrieren. Das Wasser wird so auf der landwirtschaftlich genutzten Fläche gehalten und steht den Kulturpflanzen zur Verfügung.

Wertvoller Oberboden und somit Nährstoffe bleiben auf der Fläche, anstatt in Gräben und Gewässern Probleme zu verursachen. Außerdem wird durch die Anlage von Strukturen das Mikroklima in der Landschaft vor allem hinsichtlich Taubildung und Verdunstung günstig beeinflusst. Nicht zuletzt können auch eine Steigerung der Biodiversität und viele weitere (in)direkte positive Effekte erreicht werden.

Um ein praxistaugliches Konzept zu entwerfen, müssen sowohl Bodenart und topographische Gegebenheiten, als auch die Bearbeitungspraxis und betriebliche Gegebenheiten (Maschinenbreiten, Verwertungs- und Vermarktungsmöglichkeiten des Aufwuchses etc.) berücksichtigt werden.

Die Gestaltung landwirtschaftlicher Flächen nach Keyline-Prinzipien birgt großes Potenzial. Erschwerend wirkt jedoch, dass die relativ aufwändige Anlage solcher Konzepte in Kombination mit Agroforst in der Regel erst mittel- bis langfristig ihr ganzes Potenzial entfaltet. Dies kann bei Landwirt:innen ein mögliches Hemmnis bezüglich der Umsetzung bedeuten. Daher sind Netzwerkarbeit, Information und Beratung von großer Bedeutung. Wenn Flächenbesitzstrukturen und –zuschnitte ein Problem bei der Umsetzung von Keyline-Design sind, kann ein Flurneuordnungsverfahren passende Voraussetzungen schaffen.

Wenn es gelingt, alle relevanten Aspekte sinnvoll miteinander zu verbinden, können besonders in Kombination mit Agroforst-Systemen zahlreiche Synergien genutzt und somit ein Mehrwert generiert werden. So kann beispielsweise durch den Anbau von wirtschaftlich attraktiven Dauerkulturen ein zusätzlicher Einkommenszweig entstehen.

Abgesehen von Erosionsschutzstreifen, Agroforstsystemen und Keyline-Design kann auch bereits der Anbau von streifenweise wechselnden Kulturen positive ackerbauliche Effekte, wie zum Beispiel Reduktion von Bodenerosion, Schädlings- und Krankheitsdruck, bewirken. Gerade durch die GPS-gestützte Landwirtschaft ergeben sich neue Möglichkeiten, um auch im großen Stil die Vorteile der Bewirtschaftung nach Key-Line Prinzipien zu nutzen.

6.1.2.4 Hotspots für die Anlage von Strukturen und Grünland in der Feldflur

Im Teilprojektgebiet Weipoltshausen liegt westlich von Weipoltshausen ein großes Gewanne, das fast ausschließlich aus Ackerflächen besteht. Laut ABAG ist die Erosionsgefährdung an mehreren Stellen als sehr hoch einzustufen. Daher ist an besonders problematischen Schlägen mit großen Hanglängen eine Flächenunterteilung, bzw. die Anlage von Erosionsschutzstreifen sinnvoll, um den Wasserabfluss bei Starkregenereignissen frühzeitig zu bremsen und Sediment abzufangen (vgl. Anlage 11a M19). Südöstlich von Weipoltshausen besteht der untere Hangbereich fast ausschließlich aus Grünland.

Hier kann versucht werden durch einfache Modellierung am Gelände (vgl. Anlage 11a M20) den Wasserabfluss breitflächiger über den Hang zu verteilen und somit den Wasserabfluss zu verzögern und die Infiltration zu erhöhen. Gleichzeitig wird die Bewirtschaftbarkeit der Fläche nicht beeinträchtigt. Auch eine hangparallele Tiefenlockerung mit Schmalscharen kann eine Maßnahme sein, die die Infiltrationskapazität des Grünlands optimiert.

In Hoppachshof sollte der direkt an den Hoppachshofer See grenzende Acker unbedingt in Grünland umgewandelt werden (vgl. Anlage 11b M30). Durch die Ackernutzung bis in das unmittelbare Randgebiet des Sees kommt es bei stärkeren Niederschlägen zum Eintrag von Sediment. Folglich werden auch große Mengen Nährstoffe (v.a. N, P) in den Hoppachshofer See gespült und tragen zu einer Verschlechterung der Wasserqualität bei. Die dauerhafte Bodenbedeckung und das Ausbleiben von Bodenbearbeitung durch die Ansaat von Grünland würde dieses Problem entschärfen. Zusätzlich sollte zwischen den darüber liegenden Feldstücken durch die Anlage von Erosionsschutzstreifen ein weiterer Pufferbereich geschaffen werden (vgl. Anlage 11b M31).

Im Teilprojektgebiet Üchtelhausen liegen im Wildbachtal mehrere stark erosionsgefährdete Äcker. Bei Ortsbegehungen konnten hier auch bereits mehrere eindrucksvolle Erosionsspuren festgestellt werden (vgl. Kapitel 5.4.1). Daher ist auch hier die Anlage von Erosionsschutzstreifen geboten, um die Hanglängen zu verkürzen (vgl. Anlage 11b M35). Weiterhin ist auf einem Ackerschlag im Grund des Wildbachtals eine Umwandlung in Grünland anzuraten (vgl. Anlage 11b M36). Bei einem Starkregenereignis Anfang des Jahres 2022 kam es hier zu massiver Erosion. An der naheliegenden Wegüberfahrt stauen sich die Wassermengen, das Wasser tritt über das Ufer und überschwemmt den Acker. Eine (Rück-)Umwandlung des Ackers in Grünland würde der Lage des Feldstücks entsprechen und das Grünlandband entlang des Wildbachgrunds komplettieren. Zudem würde es bei einem Einstau von Wasser am Durchlass der Wegüberfahrt nicht zu Schäden für Boden und Ackerkultur kommen.

Im Einzugsbereich des Höllenbach liegen mehrere Flächen, die aufgrund ihres Gefälles und gleichzeitig enormer Hanglängen von bis zu 200 Meter laut ABAG sehr stark erosionsgefährdet sind. Daher sollte hier eine Flächenunterteilung in mindestens drei gut bewirtschaftbare Teilschläge erfolgen. Zusätzlich können auch Erosionsschutzstreifen angelegt werden, um eine bessere Wirkung gegen Bodenerosion und Oberflächenabfluss zu erzielen (vgl. Anlage 11b M27). Andernfalls ist davon auszugehen, dass bei jedem Starkregenereignis weiterhin erhebliche Mengen an wertvollem Oberboden erodiert werden. Eine Übersicht der Maßnahmen gibt folgende Tabelle 7.

Tabelle 7: Maßnahmenvorschläge *Landwirtschaft*

Maßnahmen Nr.	Maßnahme	Beabsichtigte Wirkung	Maßnahmentyp nach Planungshandbuch boden:ständig
-	Ganzjährige Bodenbedeckung durch Anbau von Zwischenfrüchten und Untersaaten	Reduzierung der Erosionsgefährdung; Verbesserung Bodenstruktur, Infiltration und Wasserspeicherung	C1.1 Produktionstechnische Maßnahmen und Anlage von Strukturen zum Erosionsschutz auf den Wirtschaftsflächen
-	Beisatverfahren und Mischkulturen		
-	Konservierende Bodenbearbeitung, nachhaltige Humuswirtschaft, Direktsaat		
-	Lockerungsmaßnahmen bei infiltrationshemmenden Bodenverdichtungen		
-	Optimierung von Kalkstatus		
M19, M27, M31, M35	Anlage von hangparallelen, erosionsmindernden Strukturen: Feldraine, Wiesenstreifen, Agroforst/Baumreihen, Hecken	Verkürzung der erosionswirksamen Hanglänge, Verbesserung Bodenstruktur, Abflussverzögerung, Sedimentation, Erhöhung der Versickerungsrate	
M15, M30, M36	Umwandlung Acker in Grünland / Extensivierung der Fläche z.B. Blühfläche, KUP etc.	Reduzierung von Sedimenteintrag in offene Gewässer	

6.1.3 Beispielberechnung zur Wirkung von Bewirtschaftungs- und Strukturmaßnahmen anhand ABAG

Im Projektgebiet liegen einige Flächen, die als erosionsgefährdet einzustufen sind. Besonders an den Hängen von Wildbach und Höllenbach in Üchtelhausen sowie südwestlich von Weipoltshausen liegen großflächige Schläge, die nach ABAG einen Bodenabtrag von mehr als 10 t pro ha pro Jahr aufweisen. Der tolerierbare Bodenabtrag liegt je nach Bodenzahl bei ca. 5 – 6 t pro ha pro Jahr (vgl. Kapitel 5.2). Es besteht also akuter Handlungsbedarf. Die allgemeine Bodenabtragsgleichung (ABAG) ist eine gängige Methode, um die Erosionsgefahr auf landwirtschaftlichen Flächen einzuschätzen. Die Berechnung des zu erwartenden mittleren Bodenabtrags mittels ABAG basiert auf Faktoren wie beispielsweise Regenerosivität, Bodeneigenschaften, Topografie und Bewirtschaftung.

Für einzelne Ackerblöcke und Brennpunkte im Projektgebiet wurde der zu erwartende, langjährige mittlere Bodenabtrag zusätzlich mittels dem von der LfL Bayern bereitgestellten Rechner „ABAG interaktiv“ (BRANDHUBER et al. 2018) berechnet. Hierzu wurde entsprechend der Gegebenheiten vor Ort für die Bewirtschaftung eine marktfruchtorientierte Fruchtfolge, bei der Raps und Gerste einen Anteil von 33 – 50 Prozent einnehmen, angenommen. Die Bewirtschaftung erfolgt hangparallel. Bodenart und Bodenzahl wurden den Daten der Bodenschätzung entnommen.

Tabelle 8: Bodenabtrag beispielhaft an kritischem Schlag in Üchtelhausen, Toleranzgrenze Bodenabtrag = 5,6t/ha/a

Hanglänge [m]	Hangneigung [%]	Pflug-einsatz	Mulchdecke nach Saat [%]	Fruchtfolgeanteil Gerste & Raps [%]	Boden-abtrag [t/ha/a]
202	13	Ja	< 5	33 – 50	9,1
202	13	Nein	> 10	33 – 50	3,6
67	13	Ja	< 5	33 – 50	4,7
67	13	Nein	> 10	33 – 50	1,4

Die Modellierung durch „ABAG interaktiv“ unterstreicht die Bedeutung der beiden Faktoren Hanglänge und Bodenbearbeitung. Durch eine Verkürzung der Hanglänge von 202 m auf 67 m kann der Bodenabtrag bereits um 4,4 t/ha/a reduziert werden. Einen noch größeren Effekt hat allerdings die Bodenbearbeitung. Durch pfluglose Bodenbearbeitung, durch die nach der Saat eine Mulchdecke mit mehr als 10 % Bodenbedeckung bleibt, kann der Bodenabtrag bei gleicher Hanglänge um 5,5 t/ha/a reduziert werden. Die

Kombination von Hanglängenverkürzung und konservierender Bodenbearbeitung verringert den Bodenabtrag von 9,1 t/ha/a auf 1,4 t/ha/a. Dieses Ergebnis deckt sich mit vielen Studien, die das erosionsmindernde Potenzial der konservierenden Bodenbearbeitung herausstellen (KORNMANN 2006; SEITZ et al. 2019). Diese einfache beispielhafte Modellierung macht deutlich, dass an den Brennpunkten im Projektgebiet durch die Anlage von Erosionsschutzstreifen, Verkleinerung der Einzelflächen (Hanglängenverkürzung) und konservierende Bodenbearbeitung ein sehr großer Beitrag geleistet werden kann, um Oberflächenabfluss zu reduzieren und letztlich Bodenfruchtbarkeit zu bewahren.

6.1.4 Vermittlung von Verfahren zur Evaluation der getroffenen Maßnahmen

Ein weiterer wichtiger Baustein der landwirtschaftlichen boden:ständig Beratung ist auch die Vermittlung von Verfahren zur Evaluation getroffener Maßnahmen. Die regelmäßige Kontrolle des Bodenzustandes ist essentiell, um die eigene Bewirtschaftung zu bewerten und gegebenenfalls Korrekturbedarf festzustellen. Durch Handwerkzeuge wie Spaten und Bodensonde wird die Bodenstruktur untersucht und somit das Wasserinfiltrationsvermögen sichergestellt. Einfache Aggregatstabilitätstests lassen Rückschlüsse auf die Verschlammungsneigung der Böden zu. Durch Karbonattests mit Salzsäure kann die Verfügbarkeit von freiem Kalk untersucht werden.

Im Rahmen von boden:ständig werden diese Verfahren an Bodentagen demonstriert. Gegebenenfalls können einschlägige Untersuchungen auch bei Einzel- und Gruppenberatungen vertieft werden.

Zusammenfassend ist das Hauptziel von boden:ständig Landwirt:innen für die zahlreichen Aspekte ihres wichtigsten Kapitals – den Boden – zu begeistern. Durch gut geführte Böden, die ihre zahlreichen Ökosystemfunktionen erfüllen, kann ein großer Beitrag für Erosions-, Grundwasser- und Klimaschutz geleistet werden.

6.2 Ingenieurökologische Maßnahmen

6.2.1 Teilprojektgebiet „b:s Weipoltshausener Dorfgraben“

Neben den landwirtschaftlichen Maßnahmen stellen die ingenieurökologischen Vorschläge eine weitere wichtige Stellschraube für ein ganzheitliches Schutzkonzept dar. In folgender Tabelle 9 werden die Maßnahmenvorschläge für das Teilprojektgebiet „b:s Weipoltshausener Dorfgraben“ dargestellt:

Tabelle 9: Übersicht der Maßnahmenvorschläge für das Teilprojektgebiet "b:s Weipoltshausener Dorfgraben"

Maßnahmen Nr.	Maßnahme	Beabsichtigte Wirkung	Maßnahmentyp nach Planungshandbuch boden:ständig
M1	Anhebung Feldweg am Kirschgraben	Rückhaltung von Wasser und Sediment bei Starkregenereignissen	C3.2 Abflussregulierende Maßnahmen im Rahmen des ländlichen Wegebaus
M2	Anhebung Feldweg im Längental	Rückhaltung von Wasser und Sediment bei Starkregenereignissen	C3.2 Abflussregulierende Maßnahmen im Rahmen des ländlichen Wegebaus
M3	Anlage Wall im Längental	Sediment- und Wasserrückhalt	C4.3 Erd- und Steinwälle zum Wasserrückhalt, zur Abflusslenkung und zur Versickerung
M4	Weganhebung am Weipoltshausener Dorfgraben	Rückhaltung von Wasser und Sediment bei Starkregenereignissen	C3.2 Abflussregulierende Maßnahmen im Rahmen des ländlichen Wegebaus
M5	Weganhebung am Weipoltshausener Dorfgraben	Rückhaltung von Wasser und Sediment bei Starkregenereignissen	C3.2 Abflussregulierende Maßnahmen im Rahmen des ländlichen Wegebaus
M6	Anhebung Feldweg am Kirschgraben	Rückhaltung von Wasser und Sediment bei Starkregenereignissen	C3.2 Abflussregulierende Maßnahmen im Rahmen des ländlichen Wegebaus
M7a	Anlage Wall auf Ackerfläche im Jeusinggrabenf	Rückhaltung von Wasser und Sediment bei Starkregenereignissen	C4.3 Erd- und Steinwälle zum Wasserrückhalt, zur Abflusslenkung und zur Versickerung

Maßnahmen Nr.	Maßnahme	Beabsichtigte Wirkung	Maßnahmentyp nach Planungshandbuch boden:ständig
M7b	Anlage Wall auf Ackerfläche im Jeusinggraben	Rückhaltung von Wasser und Sediment bei Starkregenereignissen	C4.3 Erd- und Steinwälle zum Wasserrückhalt, zur Abflusslenkung und zur Versickerung
M8	Anlage Wall auf Unland am Alten Kaiser	Rückhaltung von Wasser und Sediment bei Starkregenereignissen	C4.1 Erdbecken zur Schaffung von Rückhaltevolumen mit Nutzung als Wiese
M9	Wegoptimierung am Alten Kaiser	Abflussverzögerung durch begrünte Mulde als Weg, kontrollierte Ableitung von Wasser	C3.2 Abflussregulierende Maßnahmen im Rahmen des ländlichen Wegebaus
M10	Wegoptimierung am Alten Kaiser	gezielte Entwässerung auf Weg, Vermeidung von Wegerosion	C3.2 Abflussregulierende Maßnahmen im Rahmen des ländlichen Wegebaus
M11	Wegoptimierung im Längental	gezielte Entwässerung durch Profilneigung Richtung Grünland	C3.2 Abflussregulierende Maßnahmen im Rahmen des ländlichen Wegebaus
M12	Begrünte Abflussmulde	Abflussverzögerung, Sedimentation, Erhöhung Versickerungsrate	C1.1 Produktionstechnische Maßnahmen und Anlage von Strukturen zum Erosionsschutz auf den Wirtschaftsflächen
M13a	Grabenoptimierung am Kirschgraben	Abflussverzögerung durch erhöhte Rauigkeit, Reduzierung der Verklausungsgefahr	C2.4 Aufweitung mit Verkrautung von Gräben und Quellbächen
M13b	Grabenoptimierung am Jeusinggraben	Abflussverzögerung durch erhöhte Rauigkeit, Reduzierung der Verklausungsgefahr	C2.4 Aufweitung mit Verkrautung von Gräben und Quellbächen
M14	Renaturierung des Weipolthausener Dorfgrabens	Abflussverzögerung, Erhöhung Wasserführung, Erhöhung Selbstreinigungskraft, Rückhalt von Sediment	C2.1 Maßnahmen zur Förderung der eigendynamischen Gewässerentwicklung

Maßnahmen Nr.	Maßnahme	Beabsichtigte Wirkung	Maßnahmentyp nach Planungshandbuch boden:ständig
M16a	Grabenoptimierung am Bollerhügel	Abflussverzögerung durch erhöhte Rauigkeit, Reduzierung der Verklausungsgefahr	C2.4 Aufweitung mit Verkrautung von Gräben und Quellbächen
M16b	Grabenoptimierung am Schindgraben	Abflussverzögerung durch erhöhte Rauigkeit, Reduzierung der Verklausungsgefahr	C2.4 Aufweitung mit Verkrautung von Gräben und Quellbächen
M17	Anlage Sedimentationsbecken bei Überlauf des Schindgrabens	Rückhaltung von Wasser und Sediment bei Starkereignissen	C4.1 Erdbecken zur Schaffung von Rückhaltevolumen mit Nutzung als Wiese
M18	Wegoptimierung am Bollerhügel	gezielte Entwässerung durch Profilneigung Richtung Grünland	C3.2 Abflussregulierende Maßnahmen im Rahmen des ländlichen Wegebaus
M20	Wallstrukturen für Abflussverteilung	Verteilung des Oberflächenabflusses in die Fläche, Abflussverzögerung	4.3 Erd- und Steinwälle zum Wasserrückhalt, zur Abflusslenkung und zur Versickerung

Detaillierte Informationen zu den jeweiligen Maßnahmen lassen sich der Anlage 11a entnehmen.

Zum Rückhalt von Wasser und Sediment im Teilprojektgebiet werden unter anderem Sedimentationsbecken vorgeschlagen. Über die Anlage der Becken soll verhindert werden, dass ein Weitertransport von Boden in Ortschaften, auf anschließende Grünländer oder in Gewässer stattfindet. Durch die Wälle wird zudem das Wasser abgebremst und durch teilweise breitflächigen Übertritt wieder stärker in die Fläche verteilt. Hierfür werden bevorzugt gegebene Strukturen in der Flur eingebunden, um sowohl eine kosteneffiziente Umsetzung als auch eine erhöhte Wirksamkeit von Maßnahmen sicherzustellen. Das Einzugsgebiet des Weipoltshausener Dorfgrabens lässt sich in verschiedene Teileinzugsgebiete unterteilen. Die in den einzelnen Teileinzugsgebieten jeweils geplanten Maßnahmen stellen funktional eine Speicherkaskade dar und sollten gemeinsam betrachtet werden. Eine eingehende Simulation des Zusammenspiels der einzelnen Rückhalte geht jedoch über den Rahmen des boden:ständig-Projekts hinaus.

Eine Auswahl prioritär umzusetzender Maßnahmen hängt von der Verfügbarkeit der betroffenen Flächen, der Wirksamkeit der Maßnahme und der ggf. auftretenden Redundanz mit anderen Maßnahmenvorschlägen ab.

Durch die Größe der jeweiligen Teileinzugsgebiete des Weipoltshausener Dorfgrabens haben die einzelnen vorgeschlagenen Maßnahmen zum Wasser- und Sedimentrückhalt eine jeweils nur geringe Wirksamkeit bei lang andauernden Ereignissen mit hoher Jährlichkeit. So wird die Beckenvolumenkapazität im Worst Case bei jedem Becken deutlich überschritten. Die Aufnahmefähigkeit der Becken am maximal zurückzuhaltenden Wellenvolumen liegt bei einem 100-jährlichem Niederschlagsereignis im Bereich zwischen 1 und 22 %. Soll ein nennenswerter Rückhalt von Sediment und Wasser auch für Ereignisse, die seltener als alle 10 Jahre auftreten, ermöglicht werden, so sind möglichst viele der Maßnahmenvorschläge umzusetzen. Empfohlene kombinierte Umsetzungen der Maßnahmen in den einzelnen Teileinzugsgebieten sind in folgender Tabelle 10 aufgeführt:

Tabelle 10: Maßnahmenkombinationen für die Teileinzugsgebiete für das Teilprojektgebiet "b:s Weipoltshausener Dorfgraben"

Teileinzugsgebiet	Einzugsgebietsgröße	Maßnahmenkombination	Spezifische Speichervolumen der Becken
Kirschgraben	ca. 24,8 ha	M1, M6, M12, M13a	ca. 6,9 mm
Jeusinggraben	ca. 10,3 ha	M7a, M7b, M13b	ca. 2,3 mm
Längental/Alter Kaiser	ca. 129,3 ha	M2, M3, M8, M9, M10, M11	ca. 2,7 mm
Bollerhügel	ca. 7,9 ha	M16a, M18	-
Schindgraben	ca. 7,6 ha	M16b, M17	ca. 1 mm
Weipoltshausener Dorfgraben	ca. 361 ha	M4, M5, M14, M15	ca. 0,5 mm

Ein wesentlicher Kennwert für die Dimensionierung von Rückhaltungen stellt das spezifische Speichervolumen dar. Der spezifische Speicherraum sollte größer als 2 mm sein (BGS Wasser 2020). Aufgrund der topographischen Verhältnisse im Projektgebiet ist es dringend zu empfehlen neben den vorgeschlagenen Becken zum Wasser und Sedimentrückhalt zusätzlich die weiteren Maßnahmen gemeinsam umzusetzen. Der Wirkungsgrad der in Tabelle 9 dargestellten Maßnahmen (M9-M16b & M18-M20) kann im Rahmen des boden:ständig-Projekts zwar nicht quantifiziert werden, jedoch zeigen Erfahrungswerte eine positive Auswirkung in der Gesamtheit der Schutzfunktion.

So wird ein Schutz vor Verklauungsgefahr der Verrohrungen an den ausgewiesenen Brennpunkten durch die Grabenoptimierungen (M13a, M13b, M16a und M16b) angestrebt. Ferner soll durch die Optimierung der vorhandenen Wege (M10, M11, M18) gezieltes und verzögertes Ableiten des Oberflächenabflusses erreicht und die derzeitige Wegerosion verhindert werden. Die Maßnahme M20 ist in drei, bis zu 50 cm hohe Erdwälle gegliedert, die den Oberflächenabfluss aus der Tiefenlinie in die Fläche leiten und somit zu einer Verzögerung und Verteilung des Abflusses führen sollen. Letztlich ist die Renaturierung des Weipoltshausener Dorfgrabens eine große und voraussichtlich hoch wirksame Maßnahme, um den Abfluss durch Laufverlängerung und erhöhte Rauigkeit zu verzögern und die Selbstreinigungskraft des Gewässers zu erhöhen.

6.2.2 Teilprojektgebiet „b:s Höllenbach“

In folgender Tabelle 11 werden die Maßnahmenvorschläge für das Teilprojektgebiet „b:s Höllenbach“ dargestellt:

Tabelle 11: Übersicht der Maßnahmenvorschläge für das Teilprojektgebiet "b:s Höllenbach"

Maßnahmen Nr.	Maßnahme	Beabsichtigte Wirkung	Maßnahmentyp nach Planungshandbuch boden:ständig
M21	Anhebung Feldweg am Höllenbach	Rückhaltung von Wasser und Sediment bei Starkregenereignissen	C3.2 Abflussregulierende Maßnahmen im Rahmen des ländlichen Wegebaus
M22	Anhebung Feldweg am Höllenbach	Rückhaltung von Wasser und Sediment bei Starkregenereignissen	C3.2 Abflussregulierende Maßnahmen im Rahmen des ländlichen Wegebaus
M23	Anhebung Feldweg am Höllenbach	Rückhaltung von Wasser und Sediment bei Starkregenereignissen	C3.2 Abflussregulierende Maßnahmen im Rahmen des ländlichen Wegebaus
M24	Anhebung Feldweg im Wildbachtal	Rückhaltung von Wasser und Sediment bei Starkregenereignissen	C3.2 Abflussregulierende Maßnahmen im Rahmen des ländlichen Wegebaus
M25	Anhebung Feldweg im Wildbachtal	Rückhaltung von Wasser und Sediment bei Starkregenereignissen	C3.2 Abflussregulierende Maßnahmen im Rahmen des ländlichen Wegebaus
M26	Begrünte Abflussmulde	Abflussverzögerung, Sedimentation, Erhöhung Versickerungsrate	C1.1 Produktionstechnische Maßnahmen und Anlage von Strukturen zum Erosionsschutz auf den Wirtschaftsflächen

Maßnahmen Nr.	Maßnahme	Beabsichtigte Wirkung	Maßnahmentyp nach Planungshandbuch boden:ständig
M28	Wegoptimierung bei Thomashof	gezielte Entwässerung durch Profilneigung Richtung Grünland	C3.2 Abflussregulierende Maßnahmen im Rahmen des ländlichen Wegebbaus
M29	Renaturierung des Höllenbachs	Abflussverzögerung, Erhöhung Wasserführung, Erhöhung Selbstreinigungskraft, Rückhalt von Sediment	C2.1 Maßnahmen zur Förderung der eigendynamischen Gewässerentwicklung
M30 alt.	Anlage Wall und Umwandlung A in GL	Rückhaltung von Wasser und Sediment, Reduzierung von direkten Sediementeintrag in den Hoppachshofer See	C4.1 Erdbecken zur Schaffung von Rückhaltevolumen mit Nutzung als Wiese C1.1 Produktionstechnische Maßnahmen und Anlage von Strukturen zum Erosionsschutz auf den Wirtschaftsflächen
M32	Begrünte Abflussmulde, teilweise befahrbar	Abflussverzögerung, Sedimentation, Erhöhung Versickerungsrate	C1.1 Produktionstechnische Maßnahmen und Anlage von Strukturen zum Erosionsschutz auf den Wirtschaftsflächen
M33	Grabenoptimierung	Abflussverzögerung durch erhöhte Rauigkeit, Reduzierung der Tiefenerosion	C2.4 Aufweitung mit Verkrautung von Gräben und Quellbächen
M34	Grabenoptimierung	Abflussverzögerung durch erhöhte Rauigkeit, Reduzierung der Tiefenerosion, gezieltes Ausleiten des Abflusses in Auenfläche, Aufweitung des Grabens	C2.4 Aufweitung mit Verkrautung von Gräben und Quellbächen
M35	Hanglängenteilung durch Erosionsschutzstreifen	Abflussverzögerung, Sedimentation, Erhöhung der Versickerungsrate	C1.1 Produktionstechnische Maßnahmen und Anlage von Strukturen zum Erosionsschutz auf den Wirtschaftsflächen

Maßnahmen Nr.	Maßnahme	Beabsichtigte Wirkung	Maßnahmentyp nach Planungshandbuch boden:ständig
M37	Grabenoptimierung	Abflussverzögerung durch erhöhte Rauigkeit, Reduzierung der Tiefenerosion	C2.4 Aufweitung mit Verkrautung von Gräben und Quellbächen
M38	Grabenoptimierung	Abflussverzögerung durch erhöhte Rauigkeit, Reduzierung der Tiefenerosion	C2.4 Aufweitung mit Verkrautung von Gräben und Quellbächen
M39	Begrünte Abflussmulde	Abflussverzögerung, Sedimentation, Erhöhung Versickerungsrate	C1.1 Produktionstechnische Maßnahmen und Anlage von Strukturen zum Erosionsschutz auf den Wirtschaftsflächen
M40	Grabenoptimierung	Abflussverzögerung durch erhöhte Rauigkeit, Reduzierung der Tiefenerosion	C2.4 Aufweitung mit Verkrautung von Gräben und Quellbächen
M41	Grabenoptimierung	Abflussverzögerung durch erhöhte Rauigkeit, Reduzierung der Fließgeschwindigkeit, Reduzierung der Verkläusungsgefahr	C2.4 Aufweitung mit Verkrautung von Gräben und Quellbächen

Ein detaillierter Überblick über die einzelnen Maßnahmen wird in Anlage 11b gegeben.

Für die Planung der Rückhalte im Teilprojektgebiet Höllenbach gelten die Anmerkungen für die Maßnahmenvorschläge für das Projektgebiet Weipoltshausener Dorfgraben. Um den Sediment- und Wasserrückhalt zu verbessern, werden Sedimentationsbecken entlang des Höllenbachs und Wildbachtals vorgeschlagen. Über Weganhebungen soll hierfür mehr Retentionsfläche geschaffen werden, durch die ein Weitertransport von Boden in Ortschaften oder auf anschließende Grünländer reduziert werden soll. Zusätzlich wird durch das Anlegen der Wälle und die Drosselung des Abflusses das Wasser abgebremst und temporär in der Fläche gehalten. Durch die Einbindung der gegebenen Strukturen in der Flur wird eine kosteneffiziente Umsetzung gewährleistet. Analog zum Projektgebiet Weipoltshausener Dorfgraben ist auch hier die Umsetzung der vorgeschlagenen Maßnahmen uneingeschränkt sinnvoll. Im Einzugsgebiet des Höllenbachs sollten demnach neben der Anlage der Sedimentationsbecken am Höllenbach zusätzlich die Maßnahmen M21-M23, M26-M32 und M37-M41 umgesetzt werden.

Denn die Aufnahmefähigkeit der einzelnen Becken am maximal zurückzuhaltenden Wellenvolumen liegt bei einem 100-jährlichem Niederschlagsereignis im Bereich zwischen 2 und 3 %. Soll auch in diesem Projektgebiet ein nennenswerter Rückhalt von Sediment und Wasser für Ereignisse, die seltener als alle 10 Jahre auftreten, ermöglicht werden, so sind möglichst viele der Maßnahmenvorschläge umzusetzen. Das Wildbachtal weist ein separates Einzugsgebiet auf, in dem die Maßnahmenvorschläge M24 und M25 sowie M33-M36 liegen. Auch hier liegen die Aufnahmefähigkeiten der Becken am maximal zurückzuhaltenden Wellenvolumen bei einem 100-jährlichem Ereignis lediglich zwischen 1 und 3 %. Die Kombination der genannten Maßnahmen ist daher ebenfalls sinnvoll. Die empfohlene gemeinsame Umsetzung der jeweiligen Maßnahmen in den beiden Einzugsgebieten ist in folgender Tabelle 12 aufgeführt:

Tabelle 12: Maßnahmenkombinationen für die Einzugsgebiete für das Teilprojektgebiet "b:s Höllenbach"

Einzugsgebiet	Einzugsgebietsgröße	Maßnahmenkombination
Höllenschbach	ca. 371,1 ha	M21-M23, M26-M32, M37-M41
Wildbach	ca. 348,4 ha	M24, M25, M33-M36

7. Ausblick

Zur Herstellung eines wirksamen Schutzes der Böden in beiden Projektgebieten vor Erosion und des Wasserrückhalts in der Landschaft, auch im Sinne der Resilienz und Resistenz gegenüber Dürreperioden, ist ein multidimensionaler Ansatz vonnöten. Die Umsetzung der hier vorgeschlagenen ingenieurbiologischen Maßnahmen kann einen wichtigen Beitrag dazu leisten. Eine langfristige Nachhaltigkeit der Landnutzung im boden:ständig Projekt Üchtelhausen bedingt jedoch einen wirksamen Bodenschutz auf der Fläche, der nach aktuellem Wissensstand nur durch eine durchdachte Kombination von produktionstechnischen Maßnahmen mit sinnvoll angeordneten Landschaftsstrukturen hergestellt werden kann.

In der auf die Erstellung des Bestands- und Bewertungsplans folgende Umsetzungsplanung und -begleitung kann die Realisierung sowohl der ingenieurökologischen als auch der flächenbezogenen, produktionstechnischen Maßnahmen unterstützen.

Die im Rahmen dieses boden:ständig-Projekts vorgeschlagenen Maßnahmen leisten einen wertvollen Beitrag zur Verzögerung des Wasserablaufs in der Landschaft und haben daher das Potenzial, Hochwasserwellen zu entzerren und daher die Gefahr für Infrastruktur, Gebäude und landwirtschaftliche Kulturen zu reduzieren. Die Gewährleistung eines ausreichend dimensionierten Hochwasserschutzes entsprechend der Standards der Wasserwirtschaftsverwaltung für die unterliegenden Ortslagen kann hiermit allerdings nicht realisiert werden. Dieses Vorhaben erfordert eine detaillierte Berechnung der hydrologischen Verhältnisse im Einzugsgebiet inklusive der Wirkungen und Interaktionen von existierenden und geplanten Rückhalten unter Verwendung eines Niederschlags-Abfluss-Modells.

8. Literaturverzeichnis

- ALE UNTERFRANKEN (2013): Projektbeschreibung. Nr. LD-B/B3 – A 7514. Gleichzeitig Entwurf der Neugestaltungsgrundsätze gemäß § 38 FlurbG, unveröffentlich.
- AMELUNG W., BLUME H.P., FLEIGE H., HORN R., KANDELER E., KÖGEL-KNABNER I., KRETZSCHMAR R., STAHR K., WILKE B.M. (2018): Scheffer/Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde. Springer Spektrum, Berlin, Deutschland.
- ARGE, L., KARLSTETTER, KNOGLER (2006): Sanierung des landschaftlichen Stoffhaushalts durch Ländliche Entwicklung, unveröffentlich, 2006 und 2010.
- AUERSWALD, K. (1998): Bodenerosion durch Wasser. In: RICHTER, G. (Hrsg.): Bodenerosion: Analyse und Bilanz eines Umweltproblems. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 264.
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (HRSG.) (LFL 2013): Wirksamkeit von Erosionsschutzmaßnahmen, http://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/schriftenreihe/051476_erosionsschutzmassnahmen.pdf
- BGS WASSER (2020): Integrales Hochwasserschutz- und Rückhaltekonzept für Gewässer 3. Ordnung. Erläuterungsbericht. Heft 1, Darmstadt.
- BORELLI, P., PANAGOS, P., LANGHAMMER, J., APOSTOL, B., SCHÜTT, B. (2016): Assessment of the cover changes and the soil loss potential in European forestland: First approach to derive indicators to capture the ecological impacts on soil-related forest ecosystems. *Ecological Indicators*, 60, 1208–1220.
- BRANDHUBER R., Auerswald, K., Lang, R., Müller, A., Treisch, M. (2018): ABAG interaktiv, Version 2.0 Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising.
- CHRISTOFFELS, E. (2013): Bedeutung der Bodenerosion für Fließgewässer, in *Korrespondenz Wasserwirtschaft* 10/13.
- DEFAF (2022): Fachinformationen zur Agroforstwirtschaft [fhttps://agroforst-info.de/fachinformationen/](https://agroforst-info.de/fachinformationen/) (aufgerufen am 16.05.2022)
- ECKELMANN, W. (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. Ad-Hoc-Arbeitsgruppe Boden der Staatlichen Geologischen Dienste und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe; Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (5. verbesserte und erweiterte Auflage). Stuttgart: Schweizerbart science publishers.
- FRANK, T., ZIMMERMANN, I., & HORN, R. (2019): The need for lime in dependence on clay content in arable crop production in Germany. *Soil and Tillage Research*, 191, 11-17.
- HAIDER, J. (2013): Ursachen und Mechanismen des erosionsbedingten Stoffeintrags in Fließgewässer, in *Korrespondenz Wasserwirtschaft* 10/13.

- HENKE KATJA (2007): Infiltrationspotential der Böden im Einzugsgebiet der Schweinitz (Mittleres Erzgebirge) in Abhängigkeit von der Landnutzung, wiss. Examensarbeit, 2007.
- HOORMAN, J. J., SÁ, J. C. M., & REEDER, R. (2011): The biology of soil compaction. *Soil Tillage Res.* 68, 49-57.
- IHRINGER, J. & HELMS, M. (2016): KOSTRA-DWD-2010 - Bewertung im Hinblick auf die wasserwirtschaftliche Bemessungspraxis. Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe.
- IQBAL, R., RAZA, M. A. S., VALIPOUR, M., SALEEM, M. F., ZAHEER, M. S., AHMAD, S., ... & NAZAR, M. A. (2020): Potential agricultural and environmental benefits of mulches—a review. *Bulletin of the National Research Centre*, 44(1), 1-16.
- JONES, C. E. (2008): Liquid carbon pathway unrecognised. *Australian Farm Journal*, 8(5), 15-17.
- JUNGHÄNEL, T., ERTEL, H. & DEUTSCHLÄNDER, T. (2017): KOSTRA-DWD-2010R – Bericht zur Revision der koordinierten Starkregenregionalisierung und –auswertung des Deutschen Wetterdienstes in der Version 2010. Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main.
- KAYE, J.P., QUEMADA, M. (2017): Using cover crops to mitigate and adapt to climate change. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 37, 4, <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0410-x>
- KIM, N., ZABALOY, M. C., GUAN, K., & VILLAMIL, M. B. (2020): Do cover crops benefit soil microbiome? A meta-analysis of current research. *Soil Biology and Biochemistry*, 142, 107701.
- KORNMANN, M. (2006): Hochwasserschutz durch konservierende Bodenbearbeitung. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, 16/2006, Leipzig.
- LEHMAN R., CAMBARDELLA C., STOTT, D., ACOSTA-MARTINEZ V., MANTER D., BUYER J., MAUL J., SMITH J., COLLINS H., HALVORSON J., KREMER R., LUNDGREN J., DUCEY T., JIN V., KARLEN D. (2015): Understanding and Enhancing Soil Biological Health: The Solution for Reversing Soil Degradation. *Sustainability*. 7(1):988-1027. <https://doi.org/10.3390/su7010988>
- LOZÁN, J. L., *et al.* (2018): *Warnsignal Klima: Extremereignisse-wissenschaftliche Fakten*. Wissenschaftliche Auswertungen.
- LUTZ, W. (1984): Berechnung von Hochwasserabflüssen unter Anwendung von Gebietskenngrößen. Mitt. Inst. f. Hydrol. u. Wasserwirtschaft Bd. 24., Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen, Universität Karlsruhe (TH).

- MICHAEL, A., SCHMIDT, J. & SCHMIDT, W.A. (1996): EROSION 2D/3D - ein Computermodell zur Simulation der Bodenerosion durch Wasser. Parameterkatalog Sachsen – Anwendungen. Freiberg.
- NRCS (2004): Estimation of direct runoff from storm rainfall. In: National Engineering Handbook. Part 630 Hydrology, chapter 10. Natural Resources Conservation Service (NRCS), United States Department of Agriculture, p 79.
- SCHÖTZ, R. & WAGENSONNER, I. (2008): Gewässerentwicklungskonzept Gewässer III. Ordnung. Erläuterungsbericht, Furth, unveröffentlicht.
- SCHWARZMEIER, J. (1982): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1 : 25.000, Blatt Nr. 5927 Schweinfurt, Bayerisches Geologisches Landesamt.
- SEIBERT, S. P., & AUERSWALD, K. (2020): Hochwasserminderung im ländlichen Raum: Ein Handbuch zur quantitativen Planung. Springer Nature.
- SEITZ, S., GOEBES, P., PUERTA, V. L., PEREIRA, E. I. P., WITTEW, R., SIX, J., & SCHOLTEN, T. (2019): Conservation tillage and organic farming reduce soil erosion. *Agronomy for Sustainable Development*, 39(1), 1-10.
- SINGH, P. K., SINGH, M., & TRIPATHI, B. N. (2013): Glomalin: an arbuscular mycorrhizal fungal soil protein. *Protoplasma*, 250(3), 663-669.
- SPECHT, S (2018): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1 : 25.000, Blatt Nr. 5827 Maßbach, Bayerisches Landesamt für Umwelt.
- TSCHARNTKE, T., KLEIN, A. M., KRUESS, A., STEFFAN-DEWENTER, I., & THIES, C. (2005): Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity–ecosystem service management. *Ecology letters*, 8(8), 857-874.
- YEOMANS, P. A. (1958): *The challenge of landscape: the development and practice of Keyline*. Keyline Pub. Pty..