

Landschaft als Wasserspeicher



Abschlussbericht
Verbessertes Wassermanagement auf Landschaftsebene
sowie in land- und forstwirtschaftlichen Betrieben
im Naturpark Südschwarzwald

Landschaft als Wasserspeicher

Abschlussbericht

Verbessertes Wassermanagement auf Landschaftsebene
sowie in land- und forstwirtschaftlichen Betrieben
im Naturpark Südschwarzwald

Fördermittelgeber

Das Projekt Landschaft als Wasserspeicher wird mit Mitteln des Landes Baden-Württemberg, Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz (MLR), gefördert.



Unterstützer

Schwarzwaldmilch Freiburg



NaturEnergie



aquavilla



Auftraggeber

Naturpark Südschwarzwald e.V., Roland Schöttle

Bearbeiter

unique land use GmbH und Fischer TeamPlan

Axel Weinreich, Amelie Hager, Catharina Hehn, Clarissa Schmelzle,

Suzanne van Dijk, Harald Wegner und Bernd Wippel

Datum
15.12.2022

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	IV
Abbildungsverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	VII
1. Vorwort	1
2. Kernanliegen des Projektes: Den Herausforderungen des Klimawandels begegnen	2
2.1. Zielsetzung	2
2.2. Hintergrund	2
2.2.1. Das Klima der Zukunft	3
2.2.2. Wasser im Naturpark Südschwarzwald	6
3. Vorgehen und Methoden	12
3.1. Ablauf des Projekts	13
3.2. Überblick über die verwendeten Methoden	14
3.3. Evaluierung der Maßnahmen	15
3.4. Kurzdarstellung der Betriebe	17
3.5. Das einfache Wasserbilanz-Modell	19
3.6. Modell zur Wirkung von Retentionsgehölzen	25
4. Ergebnisse	27
4.1. Maßnahmenkatalog	27
4.2. Maßnahmen des Wassermanagements in den Modellbetrieben	31
4.2.1. Kolbenhof Bolkart, Schonach	31
4.2.2. Hof Speicher, Ibach	33
4.2.3. Geflügelhof Kaiser, Stühlingen	36
4.2.4. Hof Baur, Bernau	39
4.2.5. Milchviehbetrieb Schwörer, Bräunlingen	42
4.2.6. Obsthof Drechsle, Grenzach-Wyhlen	44
4.3. Maßnahmenkatalog – Wirkung und Umsetzung	47
4.3.1. Grünland	47
4.3.2. Ackerbau	54

4.3.3.	Agroforstsysteme	57
4.3.4.	Waldwege	60
4.3.5.	Waldbau	64
4.3.6.	Waldböden	69
4.3.7.	Retentionsflächen	70
4.3.8.	Obstbau/Sonderkulturen	72
4.4.	Modellierungsergebnisse	78
4.4.1.	Modellierungsergebnisse Hof Baur	78
4.4.2.	Modellierungsergebnisse Kolbenhof Bolkart	82
4.4.3.	Modellierungsergebnisse Geflügelhof Kaiser	84
5.	Wirkung und Relevanz auf Naturparkebene	87
5.1.	Maßnahmen und deren Wirksamkeit auf Naturparkebene	87
5.2.	Umsetzung - Ergebnis der Praxisgespräche für Hof Baur und die Gemeinde Bernau	89
5.3.	Umsetzungshemmnisse	91
6.	Empfehlungen für umsetzungsorientierte Politikmaßnahmen	92
7.	Literaturverzeichnis	96
8.	Anhang	100
8.1.	Modellierungsergebnisse - Einzelmaßnahmen und Modellparameter	100
8.1.1.	Hof Baur	100
8.1.2.	Hof Bolkart	111
8.1.3.	Geflügelhof Kaiser	116
8.2.	Glossar	118

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Methode der Evaluierung von Maßnahmen – Bewertungsbeispiel aus dem Maßnahmenkatalog für Grünland	16
Tabelle 2: Übersicht Modellbetriebe und Bewirtschaftungszeigte	17
Tabelle 3: Überblick Maßnahmenkatalog	28
Tabelle 4: Vor- und Nachteile unterschiedlicher Zisternen	49
Tabelle 5: Übersichtstabelle Kosten Nachsaat und Zisterne mit Tränke	51
Tabelle 6: Übersichtstabelle Kosten der Regenwasseraufbereitung	52
Tabelle 7: Kosten Bodenbearbeitung mit und ohne Pflug/ Mulchsaatverfahren	55
Tabelle 8: Übersichtstabelle Kosten Agroforstbaumgruppen und Hecken	59
Tabelle 9: Übersichtstabelle Kosten Waldwegemaßnahmen	63
Tabelle 10: Übersichtstabelle Kosten Waldbauliche Maßnahmen	66
Tabelle 11: Übersichtstabelle Kosten Bewässerung im ersten Jahr nach Neupflanzung ...	67
Tabelle 12: Übersichtstabelle Kosten Retentionsgehölze und -mulden	72
Tabelle 13: Übersichtstabelle Kosten Maßnahmen Hof Drechsle	77
Tabelle 14: Maßnahmenflächen – Modellierung Hof Baur	79
Tabelle 15: Übersicht Modellierungsergebnisse Hof Baur auf Landschaftsebene	81
Tabelle 16: Übersicht Modellierungsergebnisse Kolbenhof Bolkart auf Landschaftsebene	83
Tabelle 17: Maßnahmenflächen – Modellierung Hof Kaiser	84
Tabelle 18: Übersicht Modellierungsergebnisse Geflügelhof Kaiser auf Landschaftsebene	85
Tabelle 19: Maßnahmenkatalog mit der Bewertung der Maßnahmenwirksamkeit auf Ebene des gesamten Naturparks (es bestehen rundungsbedingte Abweichungen bei einzelnen Werten)	88
Tabelle 20: Übersichtstabelle Trockenstresstage Mähwiese	104
Tabelle 21: Übersichtstabelle Anpassung Parameter Agroforstmaßnahmen	105

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Veränderung des Winterniederschlages (%)	4
Abbildung 2: Veränderung des Sommerniederschlages (%)	5
Abbildung 3: Der Naturpark Südschwarzwald und seine Landnutzungsformen	7
Abbildung 4: Schematische Darstellung des Grundwasserhaushalts	9
Abbildung 5: Grundwasserstand an der Messstelle Rohrbrunn im Jahresverlauf 2015	10
Abbildung 6: Entwicklung hin zu einem früheren Maximum der Quellschüttung an der Messstelle Meinheim in Mittelfranken (Bayern)	11
Abbildung 7: Grafische Darstellung hydrologischer Prozesse	13
Abbildung 8: Übersichtskarte der Modellbetriebe	18
Abbildung 9: Veranschaulichung des hydrologischen Modells	20
Abbildung 10: Funktionsweise des Wasserbilanzmodells dargestellt an den Summen von Niederschlag und potenzieller Evapotranspiration	21
Abbildung 11: Übersicht über die geplanten Maßnahmen für den Kolbenhof Bolkart, Schonach	32
Abbildung 12: Übersicht über die geplanten Maßnahmen für Hof Speicher, Ibach	35
Abbildung 13: Kartografische Übersicht über die geplanten Maßnahmen für den Geflügelhof Kaiser, Stühlingen	37
Abbildung 14: Allmendweide Hof Baur	39
Abbildung 15: Übersicht über die geplanten Maßnahmen für den Hof Baur, Bernau	40
Abbildung 16: Übersicht über die geplanten Maßnahmen für den Milchviehbetrieb Schwörer, Bräunlingen	43
Abbildung 17: Übersicht über die geplanten Maßnahmen für den Obsthof Drechsle, Grenzach-Wyhlen.....	46
Abbildung 18: Kartografische Darstellung Fallbeispiel Kolbenhof Bolkart: Wasserableitung in Bestände	61
Abbildung 19: Wegeabschnitt für Wasserableitungsmaßnahme (Hof Bolkart)	62
Abbildung 20: Hangrutsch unterhalb des betroffenen Wegeabschnitts (Blick vom Weg talabwärts; Hof Bolkart.....	62
Abbildung 21: Aktueller Zustand des Löschteichs; Hof Drechsle	74
Abbildung 22: Obsthof Drechsle - Wiese mit Blick auf natürlich vorhandene Retentionsmulde.....	75

Abbildung 23: Obsthof Drechsle – Angedachte Lage von Löschweiher und Retentionsflächen	76
Abbildung 24: Mögliche Dachflächen für Regenwassersammlung	76
Abbildung 25: Retentionsflächen mit Einzugsflächen auf Hof Baur	80
Abbildung 26: Präsentation und Diskussion der identifizierten Maßnahmen am 23.07.2021	90
Abbildung 27: Abschlussveranstaltung des Projekts Landschaft als Wasserspeicher am 23.05.2022	94
Abbildung 28: Wasserbilanz Mähwiese Baseline 2012, Hof Baur	102
Abbildung 29: Wasserbilanz Mähwiese Baseline 2018, Hof Baur	102
Abbildung 30: Wasserbilanz Mähwiese Baseline 2050, Hof Baur	102
Abbildung 31: Wasserbilanz Mähwiese angepasst 2012, Hof Baur	103
Abbildung 32: Wasserbilanz Mähwiese angepasst 2018, Hof Baur	103
Abbildung 33: Wasserbilanz Mähwiese angepasst 2050, Hof Baur	103
Abbildung 34: Wasserbilanz Weide Baseline 2012, Hof Baur	106
Abbildung 35: Wasserbilanz Weide Baseline 2018, Hof Baur	106
Abbildung 36: Wasserbilanz Weide Baseline 2050, Hof Baur	106
Abbildung 37: Wasserbilanz Agroforstmaßnahmen 2012, Hof Baur	108
Abbildung 38: Wasserbilanz Agroforstmaßnahmen 2018, Hof Baur	108
Abbildung 39: Wasserbilanz Agroforstmaßnahmen 2050, Hof Baur	108
Abbildung 40: Wasserbilanz der Weide nach Einbringung der Agroforstmaßnahmen 2012	110
Abbildung 41: Wasserbilanz der Weide nach Einbringung der Agroforstmaßnahmen 2018	110
Abbildung 42: Wasserbilanz der Weide nach Einbringung der Agroforstmaßnahmen 2050	110
Abbildung 43: Wasserbilanz Wald Baseline 2012, Hof Bolkart	113
Abbildung 44: Wasserbilanz Wald Baseline 2018, Hof Bolkart	113
Abbildung 45: Wasserbilanz Wald Baseline 2050, Hof Bolkart	113
Abbildung 46: Wasserbilanz Wald angepasst 2012, Hof Bolkart	115
Abbildung 47: Wasserbilanz Wald angepasst 2018, Hof Bolkart	115
Abbildung 48: Wasserbilanz Wald angepasst 2050, Hof Bolkart	115

Abkürzungsverzeichnis

DGM	Digitales Geländemodell
FBG	Forstbetriebsgemeinschaft
FFH	Flora-Fauna-Habitat-Gebiete, Teil der EU Natura 2000-Schutzgebietskulisse
GbR	Gesellschaft bürgerlichen Rechts
IBC	Intermediate Bulk Container
KUP	Kurzumtriebsplantage
NFK	Nutzbare Feldkapazität
NP	Naturpark (hier: Naturpark Südschwarzwald)
NSG	Naturschutzgebiet
NV	Naturverjüngung
lfm	Laufmeter

1. Vorwort

Die Landschaft des Naturparks Südschwarzwald ist geprägt durch einen für Mittelgebirge typischen Wechsel von Wald, Grün- und Ackerland sowie Siedlungsgebieten. Eine strukturreiche, extensive Bewirtschaftung schafft einen kleinräumigen Wechsel in der Landnutzung und kombiniert die Elemente Wirtschaften, Naturschutz, Lebens- und Erholungsraum in hohem Maße. In dieses Gefüge greift – neben anderen Faktoren - der Klimawandel spürbar und zunehmend drastisch ein. Die Erhöhung der Durchschnittstemperaturen, die Veränderung des Niederschlagsregimes oder die Zunahme von Extremereignissen verändern die Lebensbedingungen für Pflanzen und Tiere und damit die Bewirtschaftungsbedingungen für Landwirtschaft Betreibende und Waldbesitzende dramatisch. Mit den vorausgehenden Untersuchungen „Landschaft im Klimawandel“¹ hatte sich der Naturpark mit den Konsequenzen für Naturschutz sowie land- und forstwirtschaftliche Produktion auseinandergesetzt. Mit der vorliegenden Untersuchung „Landschaft als Wasserspeicher“ rücken die Möglichkeiten von kompensatorischen Maßnahmen und deren Nutzen in den Vordergrund.

Landschaft als Wasserspeicher greift in seinem Vorgehen auf die bewährte und bereits in den Vorgängerprojekten angewandte Methode zurück, anhand konkreter Betriebe die Herausforderungen und möglichen Lösungen zu untersuchen und die Praxis intensiv mit einzubinden. In dem vorliegenden Abschlussbericht werden anhand von sechs ausgewählten landwirtschaftlichen Betrieben im Südschwarzwald, verschiedene Maßnahmen im Grünland, im Wald, im Agroforstbereich sowie im Obstbau vorgestellt und die Wirkung von Anpassungen in der Bewirtschaftung sowie von gezielten Retentionsmaßnahmen diskutiert. Für die Lösungen wurde auf die Modellierung kleiner Wassereinzugsgebiete zurückgegriffen. Dieses Vorgehen war für ein besseres Verständnis der hydrologischen Prozesse notwendig.

Die Ergebnisse zeigen, dass – auch wenn wir den Klimawandel nicht werden aufhalten können – es Wege der Anpassung in der Bewirtschaftung und der Kompensation der Wirkungen auf den Wasserhaushalt der Region gibt. Dazu benötigen wir ein noch stärkeres Verständnis von Wasser als knappem Gut, von den Retentions- und den Speichermöglichkeiten der Landschaft im Zusammenhang mit der land- und forstwirtschaftlichen Bewirtschaftung. Es ist aber auch deutlich geworden, dass Interessenskonflikte zum Naturschutz und der Förderpolitik in der Landwirtschaft gelöst werden müssen, will man notwendige Anpassungsmaßnahmen umsetzen. Hier gibt es aktuell noch große Hindernisse im Selbstverständnis und Verwaltungshandeln. Letztlich braucht die Land- und Forstwirtschaft aber neben einer politischen Unterstützung in diesem Transformationsprozess auch eine finanzielle, da die Offenhaltungsleistungen der Landwirte im öffentlichen Interesse liegen.

Roland Schöttle, Geschäftsführer Naturpark Südschwarzwald e.V.

¹ Dokumente zu den Klimaanpassungsstrategien in der Land- und Forstwirtschaft unter: <https://www.naturpark-suedschwarzwald.de/eip/pages/klimopass.php>

2. Kernanliegen des Projektes: Den Herausforderungen des Klimawandels begegnen

2.1. Zielsetzung

Der Naturpark Süd-Schwarzwald ist vom globalen Klimawandel betroffen. Vor allem steigende Temperaturen und Sommertrockenheit führen zu beträchtlichen Veränderungen und Auswirkungen in Natur und Landschaft. Auch der in der Kulturlandschaft des Naturparks Südschwarzwald wirtschaftende Mensch muss sich diesen neuen Herausforderungen mit geeigneten Anpassungsmaßnahmen stellen.

Ziel dieser Machbarkeitsstudie ist es, Empfehlungen zur Umsetzung von konkreten Maßnahmen für ein verbessertes Wassermanagement in der Land- und Forstwirtschaft, als Antworten auf den Klimawandel aufzuzeigen. Diese Maßnahmen müssen dazu geeignet sein, die aufgrund des Klimawandels verstärkt im Winterhalbjahr anfallenden Niederschlagsmengen zurückzuhalten und in der Landschaft und den Böden zu speichern. Dieses Wasser soll dann zu einem späteren Zeitpunkt, insbesondere im Frühsommer und Sommer, für Menschen, Tiere und Pflanzen verfügbar sein. In besonderem Maße wird der Fokus in der Machbarkeitsstudie auf die Verbesserung des Wassermanagements in der Landwirtschaft und im Wald bei Einbeziehung der ökologischen Effekte gerichtet. Dem Humus als natürlichem Wasserspeicher kommt dabei eine herausragende Bedeutung zu.

2.2. Hintergrund

Mit den Projekten "Klimaanpassung für die Landschaft des Naturparks Südschwarzwald" (2014-2016) und dem Folgeprojekt „Neue Nutz- und Schutzkonzepte für den Naturpark Südschwarzwald“ (2017-2018) hat der Naturpark Südschwarzwald die Thematik schon früh aufgegriffen. Für sechs repräsentative Modellbetriebe mit land- und forstwirtschaftlichem Schwerpunkt wurden Klimarisiken analysiert. Anpassungsstrategien wurden bis auf die Ebene der einzelnen Waldbestände, Äcker, Wiesen und Weiden ausgearbeitet. Die Auswirkungen des Klimawandels auf besonders naturschutzrelevante Lebensräume im Naturpark wurden ebenfalls untersucht.

Die Ergebnisse der beiden Studien haben eindringlich gezeigt, dass die Eignung der Flächen für Land- und Forstwirtschaft einem drastischen Wandel unterliegt. Diese Änderungen haben starken Einfluss auf die Qualität der Naturschutzflächen. Neben einem Temperaturanstieg spielen zurückgehende Niederschläge in der Vegetationszeit, bei jährlich insgesamt gleichbleibender Niederschlagsmenge, eine herausragende Rolle.

An diesem Aspekt setzt die Machbarkeitsstudie an: Für das Gebiet des Naturparks Südschwarzwald wurden als Antwort auf den Klimawandel Maßnahmen für das Wassermanagement auf Betriebs- und Landschaftsebene entwickelt. Die erarbeiteten Maßnahmen wurden unter enger Einbeziehung von Praxispartnern (land- und forstwirtschaftliche Betriebe) identifiziert und im Hinblick auf deren Machbarkeit analysiert.

2.2.1. Das Klima der Zukunft

Die Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW) hat auf Basis des RCP 8.5² Prognosen für die zukünftige Entwicklung des Klimas in Baden-Württemberg entwickelt (LUBW 2021). Anhand von 10 Klimamodellen wurden die Bandbreiten der Klimaveränderungen der nahen Zukunft (Zeitraum 2021-2050) und der fernen Zukunft (2071 – 2100) im Vergleich zum Referenzzeitraum (1971– 2000) errechnet.

Temperatur

Seit 1971 stieg die Jahresmitteltemperatur in Baden-Württemberg um 0,8°C von 8,4 auf 9,2°C (LUBW 2021). Im Jahr 2018 war die Durchschnittstemperatur von 10,4°C sogar der höchste seit Beginn der Aufzeichnungen im Jahr 1881 ermittelte Wert (LUBW 2021).

Bis 2050 könnte die Durchschnittstemperatur auf 9,8°C ansteigen, bis 2100 kann die Durchschnittstemperatur im Mittel um 3,8 °C bis maximal sogar 4,5 °C zunehmen. Für die Hochlagen des Schwarzwalds bedeutet ein solcher Anstieg der Temperatur, dass sie bis Ende des Jahrhunderts den heutigen Temperaturen im Oberrheingraben entsprechen.

Laut den Vorhersagen werden die Sommer in Zukunft deutlich wärmer. Die Durchschnittstemperatur in den Monaten Juni bis August kann dabei im Extremfall bis auf 22 °C steigen (1971-2000 durchschnittlich 16,6 °C). Dabei kann der Sommer auch mehr Hitzetage (Tage an dem das Temperaturmaximum mindestens 30 °C erreicht) aufweisen. Konkret könnten es bis zum Ende des Jahrhunderts pro Jahr landesweit durchschnittlich 38 Hitzetage anstatt wie bisher 5 Hitzetage pro Jahr geben. Dies bedeutet auch, dass „Hitzejahre“ wie das Jahr 2018, in dem die Durchschnittswerte an 21 Tagen in Baden-Württemberg über 30 °C betragen, nur noch unterdurchschnittlich heiße Sommer wären.

Analog dazu, werden auch für den Winter wärmere Durchschnittstemperaturen prognostiziert. Die Anzahl der Frosttage wird sich bis 2050 im Schnitt um 26,6 Tage verringern; bis 2100 wird sogar mit einer Verringerung um 58,4 Frosttage gerechnet. Dies ist, im Vergleich zur heutigen Anzahl der Frosttage in Baden-Württemberg (im Durchschnitt 97 Tage im Jahr), eine Verringerung um mehr als 50%.

Eine Erhöhung der Durchschnittstemperatur und mildere Winter werden zu einem früheren Anfang und zu einer längeren Dauer der Vegetationsperiode führen. Im Referenzzeitraum beginnt die Vegetationsperiode im Durchschnitt 77 Tage nach Jahresbeginn, also Mitte März. In der nahen Zukunft könnte die Vegetationsperiode 12 Tage früher (also bereits Anfang März) und in der fernen Zukunft sogar 37 Tage früher anfangen.

² In seinem Sachstandsbericht im Jahr 2014 stellte der Weltklimarat (Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC) vier repräsentative Emissionsszenarien vor, die jeweils unterschiedliche Entwicklungen der Treibhausgasemission in der Atmosphäre und die damit verbundene zusätzliche „Energiezufuhr“ abbilden – sogenannte Konzentrationspfade (Representative Concentration Pathways; RCP). Das Szenario RCP 8.5 basiert auf einem kontinuierlichen Anstieg der Treibhausgasemissionen und ergab, dass ohne wirksamen Klimaschutz bis Ende des Jahrhunderts zusätzlich zur solaren Einstrahlung der vorindustriellen Zeit 8,5 W/m² mehr zur Erderwärmung beitragen werden. Das heutige Emissionsniveau befindet sich innerhalb dieses Szenarios.

Niederschlag

Der prognostizierte jährliche Niederschlag unterscheidet sich mit ca. 1.000 mm kaum von den aktuellen Werten. Entscheidend für die nahe und ferne Zukunft ist jedoch eine Änderung der Verteilung des Niederschlags innerhalb des Jahres. Im Winter wird der Niederschlag wahrscheinlich zunehmen, dafür wird der Niederschlag im Sommer eher abnehmen. Vorhergesagt wird im Winter für die nahe Zukunft eine Zunahme von im Schnitt um 5,7 % und für die fernere Zukunft um durchschnittlich 20 %. Im Vergleich zum Ist-Zustand kann der Niederschlag im Winter also von 226 mm auf 267,8 mm bis 2100 steigen (Abbildung 1).

Eine Abnahme der Sommerniederschläge führt zu zunehmenden Trockenphasen. Der Sommerniederschlag von aktuell 305 mm kann bis 2100 im Schnitt um knapp 15 % auf 260 mm sinken. Diese Trockenphasen weisen jedoch eine hohe räumliche Variabilität auf. Im südlichen Schwarzwald könnte es somit bis 2100 nur noch 60 % der ursprünglichen Regenmenge geben, auf der Schwäbischen Alb immerhin noch bis zu 80 % (Abbildung 2).

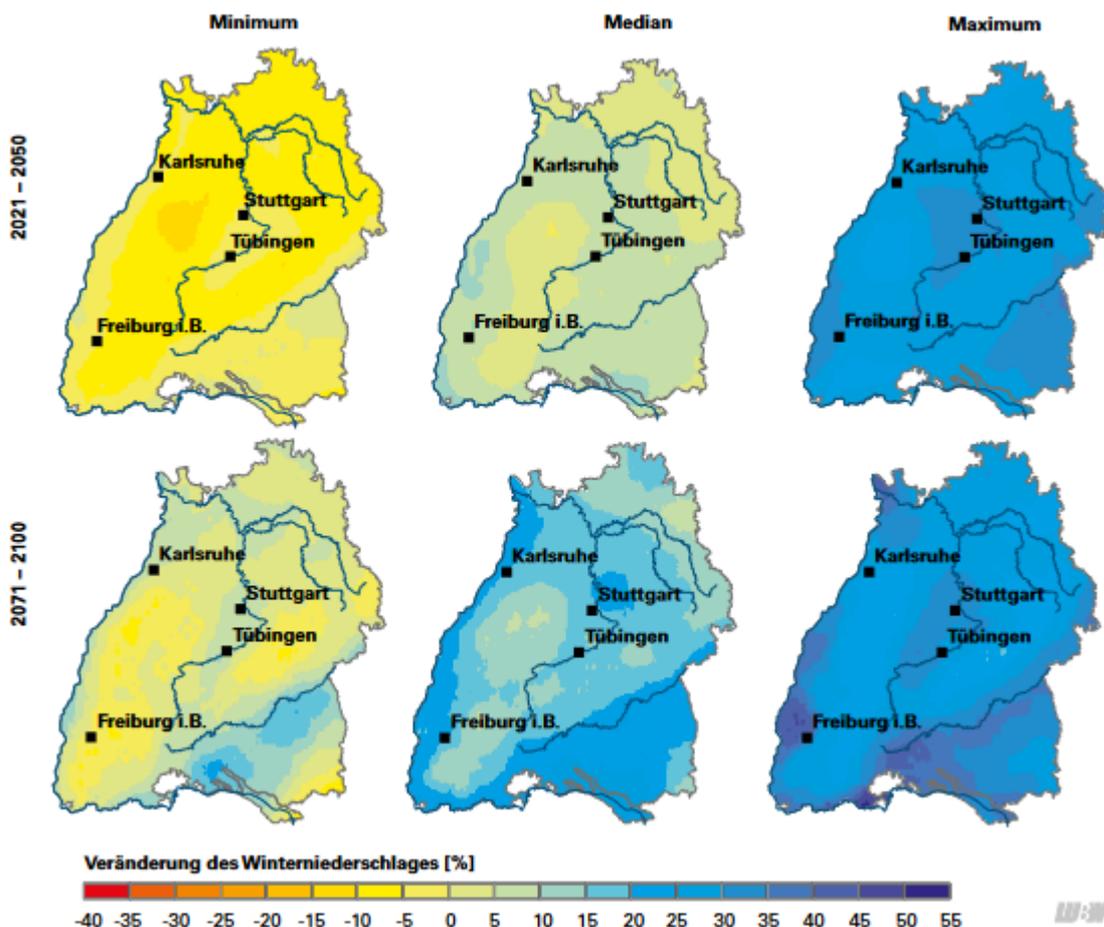


Abbildung 1: Veränderung des Winterniederschlages (%)

Quelle: LUBW (2021) Klimazukunft Baden-Württemberg – Was uns ohne effektiven Klimaschutz erwartet!
<https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/10200>

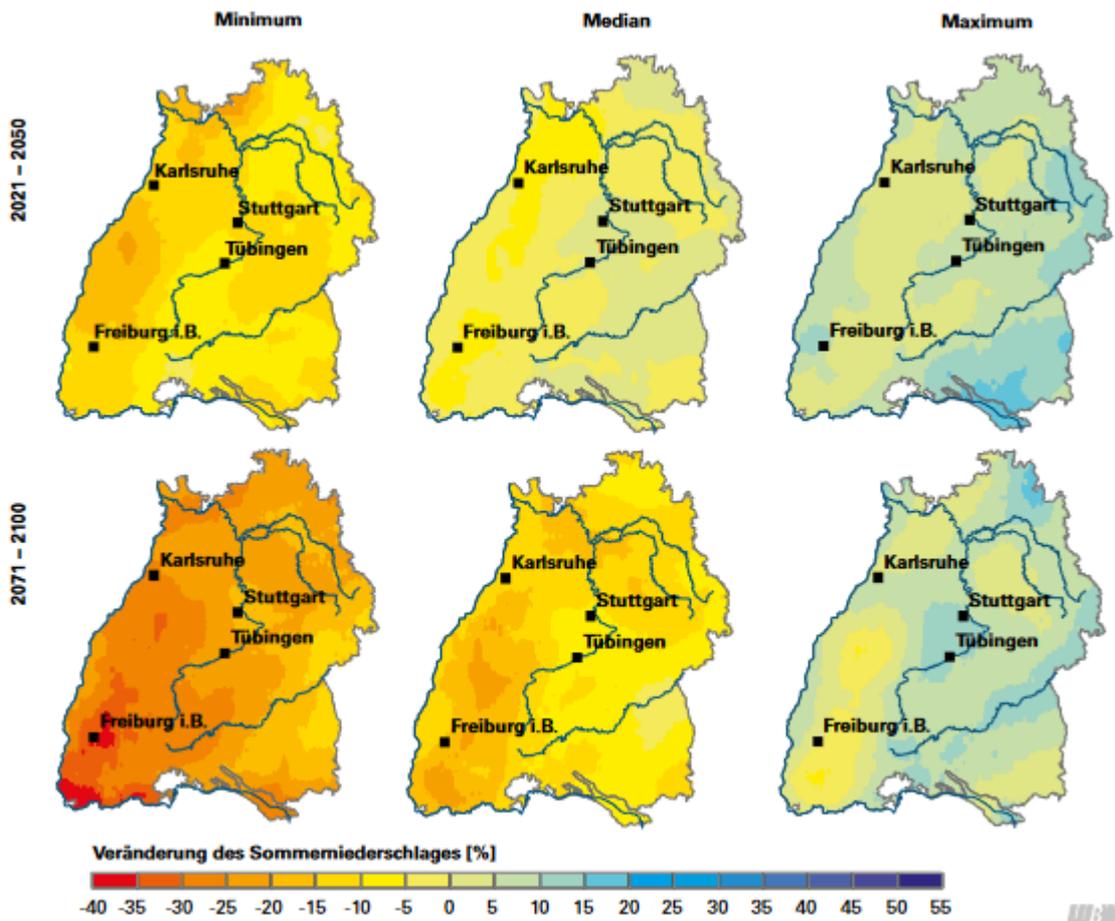


Abbildung 2: Veränderung des Sommerniederschlags (%)

Quelle: LUBW (2021) Klimazukunft Baden-Württemberg – Was uns ohne effektiven Klimaschutz erwartet!
<https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/10200>

Klimatische Extremereignisse

Prognosen gehen auch von einer Zunahme klimatischer Extreme, wie Starkregen, Hagel, Sturmböen oder Hitzeperioden, aus (Deutscher Wetterdienst [DWD] o. D. a; o. D. b). Hierbei ist ein „Extremwetterereignis/extremes Wetterereignis [...] ein Ereignis, das an einem bestimmten Ort und zu einer bestimmten Jahreszeit selten, d.h. außergewöhnlich, ist“ (DWD o. D. c)

Im Rahmen des Kooperationsvorhabens „KLIWA – Klimaveränderungen und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft“ beschäftigt sich die Arbeitsgruppe „Starkregen“ mit räumlich begrenzten, teilweise extrem konvektiven Starkregenereignissen in Deutschland. Laut Deutschem Wetterdienst (DWD o. D. d) [spricht man] von Starkregen [...] bei großen Niederschlagsmengen je Zeiteinheit. Dort heißt es weiter, der Regen „fällt meist aus konvektiver Bewölkung (z.B. Cumulonimbus-Wolken). Starkregen kann überall auftreten und zu schnell ansteigenden Wasserständen und (bzw. oder) zu Überschwemmungen führen. Häufig geht Starkregen auch mit Bodenerosion einher.“ Der DWD warnt ab Regenmengen von 15 bis 25 l/m² pro 1 Stunde oder 20 bis 35 l/m² in 6 Stunden vor Starkregen. Diese kurzen (1-6 h Dauer) Starkregenereignisse traten in den vergangenen Jahren vermehrt auf (KLIWA 2019).

Für die Zukunft wird mit intensiveren und häufigeren Niederschlägen gerechnet. Dies liegt daran, dass mit höherer Temperatur die Wasserdampfmenge zunimmt, die wiederum die Intensität für Niederschlagsereignisse bestimmt (Clausius-Clapeyron-Gleichung bzw. Super-Clausius-Clapeyron-Beziehung). Eine zeitlich oder räumlich hochaufgelöste Vorhersage bzw. eine differenzierte Quantifizierung der Veränderungen ist momentan (noch) nicht möglich. Messstationen messen bisher nur punktuell, oft werden lediglich Tagesniederschläge dokumentiert. Eine räumlich und zeitlich hochaufgelöste und flächendeckende Erfassung von Niederschlägen ist erst mittels Radars seit 2001 in Deutschland möglich. Daher ist die Datengrundlage bisher noch nicht ausreichend. Einige wenige Studien und Projektergebnisse liegen jedoch schon vor. Diese zeigen in Süddeutschland Zunahmen von Niederschlagsintensitäten für kurze Dauerstufen im Sommerhalbjahr und eine Zunahme der Anzahl und Intensität von Starkregenereignissen ganzjährig (KLIWA 2019). Somit ist davon auszugehen, dass auch im Naturpark Südschwarzwald die Starkregenereignisse hinsichtlich Anzahl und Intensität zunehmen werden.

Neben den Starkregenereignissen wird es häufigere und stärkere Hitzeperioden geben, auch Trocken- und Dürreperioden nehmen zu, Gewitter werden intensiver und mit häufigeren Blitzen auftreten. Infolgedessen sind auch im Naturpark Südschwarzwald vermehrter Hitzestress für alle Ökosysteme und Gefährdung für Land- und Forstwirtschaft sowie erhöhte Risiken durch Hagel und Sturmböen zu erwarten (DWD o. D. b).

2.2.2. Wasser im Naturpark Südschwarzwald

Der Naturpark – aus der Wasserfülle in die Knappheit

Der Südschwarzwald ist der topografisch höchste, am stärksten exponierte Teil des Schwarzwaldes. Die große naturräumliche Einheit (Naturraum 155) wird daher auch Hochschwarzwald genannt. Die Fläche des Naturparks Südschwarzwald erstreckt sich über die großräumige Kulturlandschaft des gleichnamigen Naturraums (Abbildung 3).

Der Naturpark Südschwarzwald umfasst rund 400.000 ha mit einer Vielzahl von bewirtschafteten Agrar- und Waldflächen und einem hohen Anteil an naturschutzfachlich wertvollen Flächen. Die Höhenlagen reichen von 220 m bis auf knapp 1.500 m und er beinhaltet verschiedenartige Naturräume, wie z.B. Rheintal, Vorbergzone, Schwarzwald und die Baar.

Trockene Sommer – Klimawandel im Südschwarzwald

Das Klima im Südschwarzwald kann, aus wissenschaftlicher Sicht und mit gesicherter Datengrundlage, sehr gut anhand der Ergebnisse der Länderkooperation KLIWA (Baden-Württemberg, Bayern, Rheinland-Pfalz) beschrieben werden. KLIWA ist ein Klimamonitoring für Süddeutschland, das verschiedene meteorologische und hydrologische Kenngrößen erhebt, zusammenfasst und auswertet. Die Daten reichen dabei bis in das Jahr 1931 zurück (KLIWA 2012, 2021).

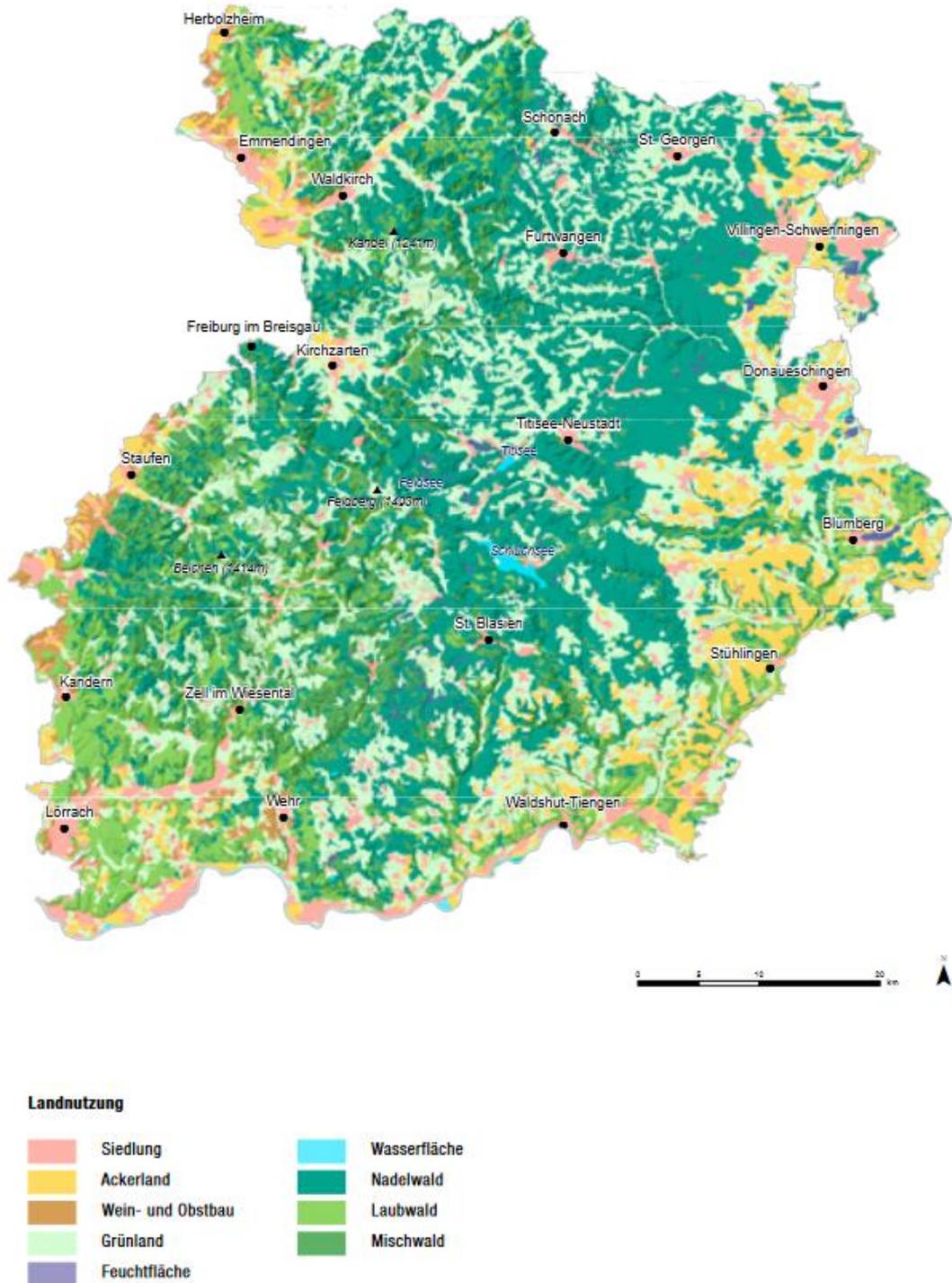


Abbildung 3: Der Naturpark Südschwarzwald und seine Landnutzungsformen

Quelle: Naturpark Südschwarzwald 2018: der Naturpark-Plan 2025

Die durchschnittliche Lufttemperatur ist in den Jahren 1931 bis 2010 gestiegen (KLIWA 2012). Dieser Trend hat sich im letzten Jahrzehnt fortgesetzt. Die durchschnittliche Erhöhung der Lufttemperatur liegt bei +1,4 bis +1,8 °C für den Zeitraum 1931 bis 2020 (KLIWA 2021). Die letzten fünf Jahre stechen hierbei heraus: im Mittel wurde hier ein deutlicher Anstieg der Lufttemperatur um +0,3 °C beobachtet und auch die überdurchschnittlich warmen Jahre, Hitzeperioden und Temperaturextreme konnten hier vermehrt verzeichnet werden.

Insgesamt ist der Temperaturanstieg für die Winterhalbjahre (+1,6 °C bis +2,1 °C/90 Jahre) höher, doch auch die Sommerhalbjahre (+1,1 bis +1,6 °C/90 Jahre) sind betroffen. Statistisch werden die beschriebenen Trends mit fortschreitender Zeit deutlicher, sie sind im Vergleich zum Vorbericht im Jahr 2021 nicht mehr nur signifikant, sondern hoch-signifikant (KLIWA 2012, 2021).

Auch das Niederschlagsregime hat sich in den letzten 90 Jahren verändert: die Trends der durchschnittlichen Gebietsniederschlagshöhen sind weniger stark und weniger signifikant. Im Winterhalbjahr können dabei überwiegend positive und öfter signifikante Trends (-6 % bis + 22 %) beobachtet werden, wohingegen im Sommerhalbjahr kaum signifikante Trends zu erkennen sind (KLIWA 2021). Im Gegensatz zu diesen Beobachtungen stehen die Trends der Starkniederschläge. Hier können mehr winterliche Hochwasserlagen beobachtet werden (+33 %). Im Sommerhalbjahr sind die Trends regional verschieden und konnten aufgrund fehlender Daten nicht detailliert analysiert werden (KLIWA 2021).

Auch die Abflüsse (sowohl Hochwasser- als auch Niedrigwasserabflüsse) zeigen, dass der Klimawandel auch in Süddeutschland bereits in den vergangenen Jahren einen deutlichen Einfluss auf die Wasserverfügbarkeit hatte. In Hinblick auf Hochwasserabflüsse zeigen die Daten der letzten 90 Jahre einen Trend hin zu steigenden Hochwasserabflüssen (55 % der Pegel). Vor allem bis 2005 nahm der Trend zu. Dies gilt sowohl für das Sommer- wie auch das Winterhalbjahr, wobei das Winterhalbjahr der Zeitraum mit der höchsten Hochwassergefährdung darstellt. Etwa die Hälfte der Trends ist signifikant (KLIWA 2021).

Ereignisse mit Niedrigwasser konnten als Folge extremer Trockenheit in den Jahren 2018 und 2019 festgestellt werden. Von 1951 bis 2020 zeigt sich eine ausgeglichene Verteilung positiver und negativer Trends in Bezug auf die jährlichen Niedrigstwasserabflüsse (Tageswerte). Insgesamt kann kein eindeutiger Trend festgestellt werden, die Veränderungen sind nicht signifikant. Für die jährlichen 7-Tages-Mittel-Niedrigstwasserabflüsse weisen die meisten Pegel eine abnehmende Tendenz auf. Bei der Analyse und Interpretation der Abflüsse muss beachtet werden, dass wasserwirtschaftliche Nutzungen die klimabedingten Veränderungen überlagern. Dies kann hier nicht ausgeschlossen werden (KLIWA 2021).

Hinsichtlich der mittleren Abflüsse lässt sich aus dem Monitoring ableiten, dass die Trends recht ausgeglichen sind. Im Sommerhalbjahr überwiegen abnehmende Pegel (76 % der Pegel), während im Winterhalbjahr Pegel mit steigenden Abflüssen dokumentiert werden (61% der Pegel). Durchschnittlich sind 40 bis 50 % der Veränderungen signifikant. Die Anzahl der Pegel mit zunehmenden Trends geht jedoch zurück (KLIWA 2021).

Zusammenfassend weisen die bereits beschriebenen Trends darauf hin, dass Wasser nicht mehr in der gewohnten Menge zur Verfügung stehen wird, wie noch vor einigen Jahrzehnten. Die Erwärmung der Lufttemperatur führt zu einer erhöhten potenziellen Verdunstung und somit zu einer engeren klimatischen Wasserbilanz mit zunehmenden Trockenperioden. Als Folge dessen nimmt auch die Grundwasserspende/ -neubildung ab. Vor allem in der jüngeren Vergangenheit haben sich diese Trends nochmals verschärft (Kopp et al. 2018).

Grundwasser – wertvolles und knappes Gut

In Süddeutschland wird ein Großteil des Trinkwassers aus Grundwasser gewonnen. Daher sind Kenntnisse über die Verhältnisse und Veränderungen bezüglich des Grundwassers, seiner Qualität und nachhaltigen Nutzung essenziell (KLIWA 2017). Das Grundwasser und vor allem seine Neubildung wird maßgeblich von den bereits beschriebenen klimatischen Veränderungen beeinflusst. Im Folgenden werden die Mechanismen und Trends der letzten Jahre des Bodenwasserhaushalts, der Grundwasserneubildung, der Grundwasserstände sowie der Quellschüttungen erläutert. Die Daten reichen hierbei meist von 1951 bis in die Gegenwart.

Bodenwasserhaushalt und Grundwasserneubildung aus Niederschlag

Der Bodenwasserhaushalt wird maßgeblich von der Grundwasserneubildung geprägt. Die Grundwasserneubildung ist, vereinfacht gesagt, die Bilanzgröße aus Niederschlag abzüglich Verdunstung und Oberflächenabfluss (Abbildung 4). Sie reagiert besonders empfindlich auf klimatische Veränderungen (KLIWA 2022a).

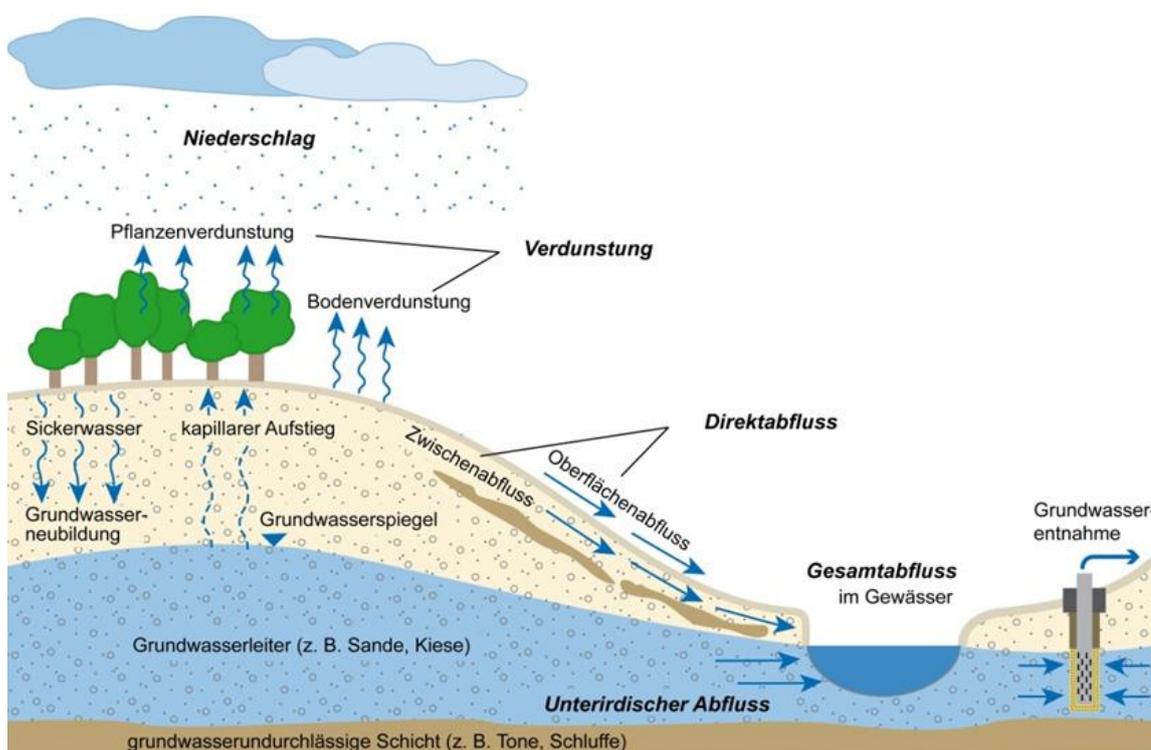


Abbildung 4: Schematische Darstellung des Grundwasserhaushalts

Quelle: KLIWA 2022a

Die Grundwasserneubildung findet vor allem im Winterhalbjahr statt. Langfristig zeigt sich ein Trend hin zu Abnahmen der Grundwasserneubildung – in den letzten 20 bis 30 Jahren jedoch ergibt sich ein uneinheitliches Gesamtbild der mittleren Grundwasserneubildung, das nicht erklärt werden kann. Aufgrund der jahreszeitlichen Schwankungen der Grundwasserneubildung werden sowohl Höchst- als auch Niedrigstwerte beobachtet (KLIWA 2011). Hinsichtlich der Höchstwerte weisen nur 30 % der Messstellen signifikante Veränderungen auf. Hier können vor allem Abnahmen, jedoch auch wenige Zunahmen

dokumentiert werden. Im letzten Trendsegment (also in der Betrachtung der aktuellen Situation) kann jedoch kein eindeutiger Trend festgestellt werden. In Bezug auf die niedrigsten Werte in Baden-Württemberg gibt es im letzten Trendsegment Hinweise auf ein Ausklingen der Abnahmen und häufigeres Auftreten von Zunahmen der Grundwasserneubildung (KLIWA 2011). Insgesamt wurden seit 2003 allerdings überwiegend unterdurchschnittliche Werte dokumentiert (Kopp et al. 2018). Die Saisonalität der Grundwasserneubildung wurde bereits erwähnt – sie ist jedoch auch Veränderungen unterworfen: es zeigt sich eine signifikante Tendenz hin zu einem immer früheren Auftreten des Maximums von 4 bis 6 Wochen seit 1950. Zudem ist eine verstärkte, statistisch signifikante, Amplitude zwischen Minima und Maxima an rund 40 % der Messstellen zu beobachten. Diese Verschiebung ist analog zu den Beobachtungen der Verschiebungen des Niederschlagsregimes (KLIWA 2011; KLIWA 2021).

Für die Zukunft ist vor allem die Saisonalität von Bedeutung: in Zeiten hohen Wasserbedarfs mit zunehmend niedrigen Grundwasserständen und Quellschüttungen, werden vor allem die nutzbaren Grundwasservorräte schnell beeinträchtigt. Die Verschiebung von Niederschlägen aus dem Sommer- ins Winterhalbjahr ist zwar einerseits positiv für eine höhere Grundwasserspense (da die Verdunstung im Winter geringer ist), dennoch kann dies auch zur Auswaschung von Stoffen und somit zu einer verminderten Qualität des Grundwassers führen (KLIWA 2011).

Grundwasserstände und Quellschüttungen

Über 80 % der Messstellen zeigen eine Tendenz hin zu niedrigeren mittleren Grundwasserständen (KLIWA 2021). Auch zeigt sich ein Trend hin zur Verringerung der Quellschüttungen (KLIWA 2022b). Wie auch die Grundwasserspense, unterliegen die Grundwasserstände und Quellschüttungen saisonalen Veränderungen (Abbildung 5). Auch hier wird beobachtet, dass die Maxima an 47 % der Messstellen zunehmend früher im Jahr gemessen werden (Abbildung 6) – dies führt dazu, dass die Niedrigwasserperioden länger werden. Dieses Phänomen kann mit dem ebenfalls veränderten Niederschlagsregime erklärt werden.

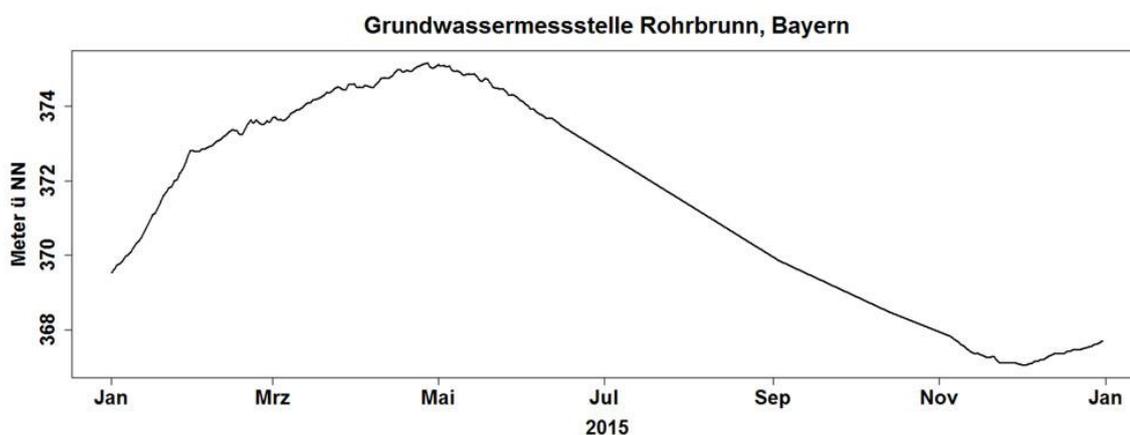


Abbildung 5: Grundwasserstand an der Messstelle Rohrbrunn im Jahresverlauf 2015

Quelle: KLIWA, 2022d

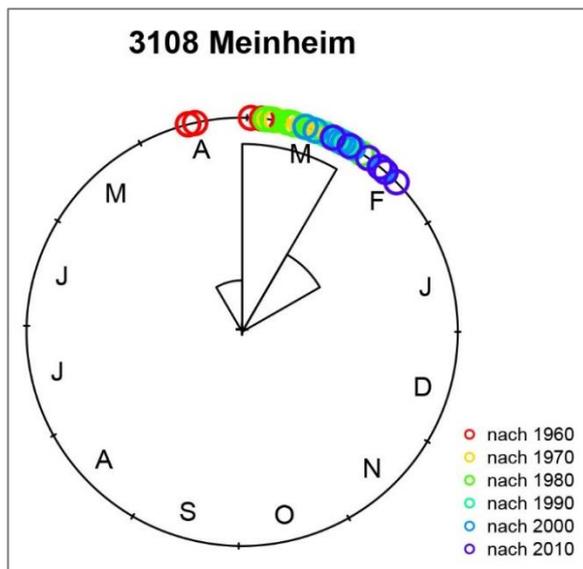


Abbildung 6: Entwicklung hin zu einem früheren Maximum der Quellschüttung an der Messstelle Meinheim in Mittelfranken (Bayern)

Quelle: KLIWA 2022b

Noch liegen keine länderübergreifenden Untersuchungen im Rahmen des Projekts KLIWA zur Prognose von Grundwasserständen und Quellschüttungen vor. Es können jedoch erste Abschätzungen gemacht werden. Mit Blick auf die bereits beleuchteten geringen Grundwasserneubildungsraten ist zu erwarten, dass auch die Grundwasserstände und Quellschüttungen im Süden moderat bis deutlich abnehmen werden. Auch in diesem Zusammenhang wird auf den Zeitraum in Sommer und Herbst hingewiesen, wo hohe Bedarfsmengen auf die geringsten Mengen der Schüttungen treffen und so konkurrierende Wassernutzungsinteressen langfristig moderiert und gemanagt werden müssen (KLIWA 2022c).

3. Vorgehen und Methoden

Ziel dieser Machbarkeitsstudie ist es, Empfehlungen für ein verbessertes Management von Wasser in der Land- und Forstwirtschaft anhand konkreter Maßnahmen auf Betriebs- und Landschaftsebene aufzuzeigen (vgl. Kapitel 2).

Im Fokus stehen dabei folgende Maßnahmentypen, die betrieblich wie auch auf Landschaftsebene bedeutsam sind.

- Raschen Oberflächenabfluss vermeiden: Dieser Teil des Niederschlags geht unproduktiv für Land- Forstwirtschaft und die Wasserversorgung verloren oder trägt zur Erosion des wichtigen humosen Oberbodens bei.
- Gewässerabfluss verlangsamen, Infiltration in Gewässernähe verbessern: Dadurch soll einfallender Niederschlag bevorzugt direkt am Ort im „Landschaftsschwamm“ gespeichert werden.
- Wasserspeicher in der Landschaft erhöhen, durch eine Verbesserung der Speichergroßen Boden und Humus. Der Humusgehalt kann insbesondere durch Maßnahmen im Ackerbau, aber auch bei der Grünlandbewirtschaftung beeinflusst werden.
- Spezifischen Wasserverbrauch in der Land- und Forstwirtschaft verringern.
- Retentionsräume weit oben in der Landschaft schaffen: Dies wird durch Sammeln von Wasser und eine Infiltration über einen längeren Zeitraum erreicht.

Betriebliche und landschaftsbezogene Maßnahmen, die hierzu einen Beitrag leisten, sollten somit identifiziert und im Hinblick auf ihre Wirksamkeit und Umsetzbarkeit im Raum des Naturparks analysiert werden. Es wird der Hypothese nachgegangen, dass durch die Anwendung der Maßnahmen und ihre günstige Kombination trockenheitsbedingte Schäden für Land- und Forstwirtschaft und die Wasserversorgung vermieden oder gemildert werden.

Die topografisch vielfältige Landschaft des Südschwarzwalds spielt beim Wassermanagement eine entscheidende Rolle und soll in der Entwicklung der Maßnahmen entsprechend berücksichtigt werden. Hervorzuheben sind Prozesse wie der deutlich höhere Oberflächenabfluss auf Hängen oder der in Bachtälchen wieder austretende Interflow an Hängen, die den Wasserfluss im Mittelgebirge, von dem in flacher Landschaft unterscheiden. Grundsätzliche hydrologische Prozesse, die den Landschaftswasserhaushalt beeinflussen, sind in Abbildung 7 dargestellt. Deutlich erkennbar ist die bedeutende Rolle der Vegetation bzw. Bewirtschaftung der Flächen, die die Infiltrationskapazität des Bodens erhöhen kann, wodurch der Oberflächenabfluss sinkt und das Wasservolumen im Bodenspeicher steigt.

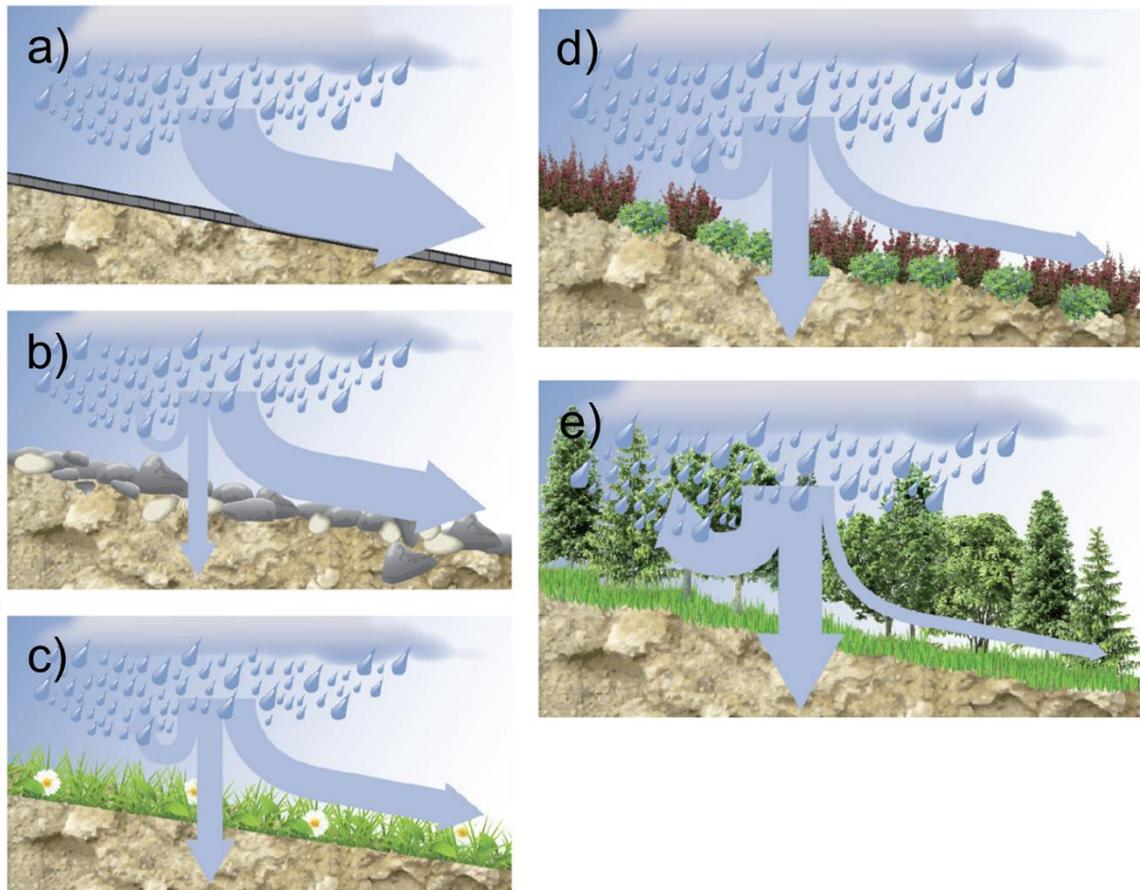


Abbildung 7: Grafische Darstellung hydrologischer Prozesse

Grafische Darstellung der hydrologischen Prozesse Oberflächenabfluss, Retention und In-filtration beeinflusst durch Hanglage und Vegetation: a) versiegelte Oberfläche, 100% Oberflächenabfluss; b) nicht versiegelte, aber verdichtete Oberfläche ohne Vegetation; c) Grasvegetation; d) Gras und buschige Vegetation und e) vielschichtige Vegetation.
Quelle: Kosanin et al. 2016

3.1. Ablauf des Projekts

Schritt 1: Zieldefinition und Bildung eines Projektbeirats

In einem ersten Schritt erfolgte eine genaue Zieldefinition des Projekts, und es wurde ein Projektbeirat gegründet. Der Projektbeirat setzte sich aus Landwirten, Wissenschaftlern, Fachbehörden und Verbänden zusammen.

Schritt 2: Identifikation von Modellbetrieben und Erfassung der Ist-Situation

Für die Machbarkeitsstudie wurden Modellbetriebe verschiedener Betriebszweige und mit unterschiedlichen Landnutzungsformen als Praxispartner ausgewählt. In den ausgewählten Betrieben wurde zunächst die Ist-Situation in Bezug auf Standort, Wasser, Klima und Landnutzung erfasst.

Schritt 3: Evaluierung von Maßnahmen für ein verbessertes Wassermanagement

Im nächsten Schritt wurden mögliche Maßnahmen im Rahmen von Experteninterviews und Literaturrecherchen gesammelt. Zusammen mit den Praxispartnern wurden diese Maßnahmen für die jeweiligen Landnutzungsformen selektiert und priorisiert. Die ausgewählten Maßnahmen wurden anschließend hinsichtlich ihrer Wirksamkeit für ein verbessertes Wassermanagement in der land- und forstwirtschaftlichen Bewirtschaftung, ihre Auswirkungen auf den Ertrag, die technischen Umsetzbarkeit, den anfallenden Investitionen und Veränderungen der Kosten, Einfluss auf die Biodiversität, die Kohlenstoffspeicherung, sowie hinsichtlich der juristischen Rahmenbedingungen und Fördermöglichkeiten bewertet.

Schritt 4: Umsetzungskonzept

Im Schritt vier wurden alle erarbeiteten Maßnahmen näher erläutert, ihre Wirkung dargestellt sowie an ausgewählten Fallbeispielen näher beschrieben. Für alle sechs Modellbetriebe wurde die konkrete Umsetzung auf der Fläche erarbeitet, eine Kosten-Wirksamkeitsanalyse erstellt, sowie rechtliche Grundlagen und eventuelle Umsetzungshemmnisse detailliert beschrieben (s. Kapitel 4.3).

Schritt 5: Modellierung von Maßnahmen

Im fünften Schritt wurden verschiedene Szenarien mit Hilfe eines einheitlichen Wasserbilanzmodells modelliert, um die qualitative Arbeit aus Schritt 2 zu quantifizieren. Für die Modellierung wurde im Rahmen des Projekts ein einfaches Wasserbilanz-Modell unter Einbeziehung des hydrologischen Fachbüros Fischer TeamPlan, erstellt. Mithilfe dieses Modells wurde die Umsetzung unterschiedlicher Maßnahmen auf den Höfen Baur, Bolkart und Kaiser analysiert und ausgewertet (s. Kapitel 4.4).

Schritt 6: Ableitung von Empfehlungen

Am Ende wurden aus den Modellierungsergebnissen, Praxiserfahrungen und Ergebnissen der Diskussion vor Ort Empfehlungen für konkrete Maßnahmenausgestaltung sowie für die Politik abgeleitet.

3.2. Überblick über die verwendeten Methoden

Folgende Methoden kamen im Rahmen der Machbarkeitsstudie zum Einsatz:

1. **Einbezug von Praxispartnern (Schritt 2):** Wie in den Vorläuferprojekten erfolgreich praktiziert, lag ein Schlüsselement darin, land- und forstwirtschaftliche Betriebe als Praxispartner miteinzubeziehen. Für jeden Betrieb wurden die wichtigsten Herausforderungen in Bezug auf die Auswirkungen des Klimawandels (z.B. Starkregen, Trockenheit) identifiziert, und konkrete praktische Maßnahmen aufgezeigt.

2. **Literaturrecherche (Schritt 3):** Eine Literaturrecherche verschafft einen Überblick über mögliche Maßnahmen in Bezug auf das Wassermanagement in der Land- und Forstwirtschaft. Ergebnisse aus relevanten Projekten (z.B. aus KliStaR Kempf et al. 2015) innerhalb Deutschlands und Europas wurden berücksichtigt. Informationen über die Machbarkeit der Maßnahmen (technisch; ökonomisch, rechtlich unter Einbeziehung von Risiken) wurde zusammengefasst.
3. **Interviews (Schritt 3):** Verschiedene Maßnahmen in Bezug auf das Wassermanagement in der Land- und Forstwirtschaft und deren Relevanz für den Naturpark Südschwarzwald wurden in Interviews mit Wissenschaft und Praxis im Kreis des Beirats diskutiert.
4. **Zusammenarbeit mit einer Partnerregion (Schritt 3):** Mit dem Projekt „Boden:Ständig“ in Bayern wurden Fachkenntnisse und (Projekt)Erfahrungen ausgetauscht.
5. **Kosten-Wirksamkeitsanalysen (Schritt 4):** Für die vorgeschlagenen Maßnahmen wurden grobe Kostenschätzungen vorgenommen und Kosten-Wirksamkeitsbewertungen durchgeführt.
6. **Rechtliche Einschätzungen (Schritt 4):** Genehmigungsverfahren und Fördermöglichkeiten für land- und forstwirtschaftliche Betriebe wurden mit den Fachbehörden diskutiert und als Ergebnis rechtliche Einschätzungen entwickelt.
7. **GIS-Analysen und Modellierung (Schritt 5):** Die Ergebnisse einer GIS-Analyse und eines Niederschlagsabfluss-Modells wurden unter Einbeziehung von Standortdaten und neuen Klimadaten zur Einschätzung der technischen Machbarkeit und flächenmäßigen Relevanz von Maßnahmen eingesetzt.

3.3. Evaluierung der Maßnahmen

Der dritte Arbeitsschritt im Projekt sah die Sammlung von geeigneten Maßnahmen sowie deren Evaluierung vor. Diese Bewertung umfasst die Einschätzung der Wirksamkeit und des Wirkmechanismus durch die Expertenkreise des Projekts. Jede Maßnahme wird zunächst unter dem Stichwort Definition vorgestellt und deren Wirkungsweise erläutert. Außerdem wurden ein Ausgangs- und Zielzustand als Bewertungsgrundlage festgelegt.

Die Bewertung der Maßnahmen wurde anhand von Indikatoren vorgenommen, die sich in die Kategorien Wasserhaushalt/Erosion, Bodengesundheit, Ertrag/Wirtschaftlichkeit, Flächenrelevanz, sekundäre Effekte und Wechselwirkungen aufgliedern. Die folgende Tabelle 1 zeigt einen Ausschnitt aus der Bewertungsmatrix für eine Maßnahme für die Landnutzungsart „Grünland“, hier angepasstes „Wiesenmanagement“.

Tabelle 1: Methode der Evaluierung von Maßnahmen – Bewertungsbeispiel aus dem Maßnahmenkatalog für Grünland

Grünland-2: Wiesenmanagement, angepasste Agronomie												
Ist:		Normale Grünlandbewirtschaftung, mit tiefer(er) Schnitthöhe.										
Soll:		Grünlandbestand mit mehr und höheren Bewuchs.										
Kategorie	Indikator	Einschätzung der Wirksamkeit / Wirkung	Experten-Bewertung (-5 bis + 5)					Flächenrelevanz				
			Wirksamkeit	Kosten	Ertrag	Produktqualität	Biodiversität	Kohlenstoff	Fläche im NP	anwendbar auf % Fläche	anwendbar auf Fläche	
Wasserhaushalt / Erosion	Infiltration	Verbesserte Bodenstruktur/Wurzelwachstum durch angepasste Düngung.	2,3									
	Reduktion der Direktabflüsse	Späte Mahd/höhere Schnitthöhe ergeben einen höheren Bewuchs und reduzieren damit Direktabflüsse.	3,0									
	Erhöhung des Speichers	Bessere Wasserhaltekapazität des Bodens durch bessere Durchwurzelung und lückenlosen Bewuchs	1,7									
	Reduktion der Erosion	Mehr Bewuchs, weniger Lücken, weniger Erosion.	2,3									
	Interzeption	Durch höhere Schnitthöhe, mehr Blattmasse daher erhöhte Interzeption.	-1,0									
	Transpiration	Mehr Bewuchs/Pflanzendecke, daher leicht erhöhte Transpiration.	-2,0									
	Evaporation	Mehr Bewuchs/Pflanzendecke haben eine positive Auswirkung auf das Mikroklima (u.a. durch Schatten), daher reduzierte Evaporation.	2,0									
	Bodenfeuchte	Verbesserte Bodenstruktur/Wurzelwachstum, höhere Infiltration und reduzierte Evaporation führen zur erhöhter Bodenfeuchte	2,7									
	Hangwasserfluss	Keine klaren Effekte	0									
Bodengesundheit	Humus- und Stickstoffgehalt	Angepasste Düngung, verbessertes Bodenmanagement wirken sich positiv auf den Humus- und Stickstoffgehalt aus.	2,0									
	Bodentemperatur	Niedriger wegen Pflanzendecke.	2,0									
	Bodenstruktur	Verbesserte Bodenstruktur durch angepasste Düngung (mehr Bodenleben, verbessertes Wurzelwachstum)	2,7									
	Bodenleben	Durch angepasste Düngung Nährstoffe im Boden für das Bodenleben, bessere Durchwurzelung	2,3									
Ertrag (Wirtschaftlichkeit)	Ertrag (Zuwachs) pro Hektar	Bessere Widerstandsfähigkeit der Grünlandpflanzen gegenüber Trockenheit, mehr Blattmasse, leicht positiver Effekt auf Ertrag. Jedoch durch höhere Schnitthöhe +angepasstem Mahdzeitpunkt, reduzierter Ertrag. Insgesamt daher Effekt ausgeglichen.			0,7							
	Produktqualität	Mahdzeitpunkt je nach Klimabedingungen angepasst; möglicherweise dadurch Einbußen in der Futterqualität (z.B. bei später Ernte)				0,3						
	Kosten	Es sind keine Investitionen notwendig. Anpassung der normalen Bewirtschaftung.		1,3								
Fläche der Landnutzungsform	Anteil (%)											
	Hektar							≈105.000	100%	≈105.000		
Sekundäre Effekte	Biodiversität	Keine klaren Effekte					0,7					
	Kohlenstoffspeicherung	Geringer positiver Effekt durch erhöhten Humusgehalt, verbesserte Bodenstruktur, vollständigere Pflanzendecke						0,5				
Zusammenfassung der Bewertungen			1,5	1,3	0,7	0,3	0,7	0,5				≈105.000

Die Indikatoren wurden in einem Glossar erläutert (siehe Anhang, Kap.8.2). Für jeden Indikator wurde eingeschätzt, ob die Wirkung positiv oder negativ und wie stark die Anwendung der Maßnahme den Indikator verändert. Für diese Expertenbewertung wurde eine Skala von -5 bis +5 Punkten verwendet. Die Argumente für die Bewertung wurden knapp beschrieben. Unter Flächenrelevanz wurde die Fläche eingeschätzt, auf der die jeweilige Maßnahme im Gebiet des Naturparks umgesetzt werden könnte. Im Beispiel sind dies 105.052 ha, da dies der Fläche der Landnutzung Mähwiesen nach derzeitiger Landnutzungsstatistik entspricht. Je positiver die Wirkung und je größer die Flächenrelevanz ist, desto wirksamer ist die Umsetzung, um die Ziele des Projektes zu erreichen.

Der Maßnahmenkatalog und die dargestellte Evaluierung wurden in MS Excel aufbereitet und sind als separates Dokument Ergebnis des Projekts (siehe Anhang, Kap. 8.3).

3.4. Kurzdarstellung der Betriebe

Tabelle 2 und Abbildung 8 geben einen Überblick über die Hauptbewirtschaftungszeige und zeigen die Lage der sechs ausgewählten Modellbetriebe.

Tabelle 2: Übersicht Modellbetriebe und Bewirtschaftungszeige

Hof	Ort	Bewirtschaftungszeige
Hof Bolkart „Kolbenhof“	Schonach	Forstwirtschaft, Grünland, Christbäume, Mutterkuhhaltung
Hof Speicher	Ibach	Grünland, Forstwirtschaft, Mutterkuhhaltung
Hof Kaiser „Geflügelhof Kaiser“	Stühlingen	Geflügel, Grünland, Ackerbau
Hof Schwörer	Bräunlingen	Grünland, Ackerbau, Milchvieh
Hof Baur	Bernau	Grünland, Mutterkuhhaltung
Hof Drechsle „Obsthof Drechsle“	Grenzach-Wyhlen	Obstbau



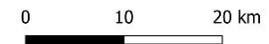
Übersichtskarte

Modellbetriebe



Legende

- Naturparkgranze
- Modellbetriebe



1:420.000

Datengrundlage:
Map data ©2015 Google

bearbeitet:
unique land use GmbH
09.11.2022



Abbildung 8: Übersichtskarte der Modellbetriebe

3.5. Das einfache Wasserbilanz-Modell

Das eingesetzte hydrologische Modell ist ein einfaches Wasserbilanz-Modell und basiert auf standortspezifischen Daten. Das Modell wird zur Einschätzung der Effekte von identifizierten land- und forstwirtschaftlichen Maßnahmen für ein verbessertes Wassermanagement herangezogen, die sich auf eine Änderung der Landnutzung oder Bewirtschaftung auf größeren Flächen beziehen (wie Waldumbau oder das Wiesenmanagement). Die Ergebnisse des Modells bewerten, ob die folgenden Ziele mit den vorgeschlagenen Maßnahmen erreicht werden können:

- Erhöhung des für Pflanzen verfügbaren und damit produktiven Wassers in der Vegetationsdecke, im Boden,
- Verringerung von Schäden durch Trockenheit,
- Reduktion von Wasserverlusten durch raschen Oberflächenabfluss und Erosion.

Hierzu werden Klimaszenarien aus heutigen Witterungsdaten abgeleitet und ebenso für zukünftig wahrscheinliche Witterungsverläufe aus den regionalen Klimaprognosen der LUBW (LUBW 2021) definiert. Für drei Landschaftsausschnitte aus drei Modellbetrieben wurde eine Simulation der Wasserbilanz für die verschiedenen Klimaszenarien modelliert.

Aufgrund der Zielsetzung des Projekts Maßnahmen in ihrer Wirkung zu beurteilen, wurde ein Wasserbilanz-Modell auf Excelbasis erstellt. Es ist kein flächendifferenziert arbeitendes Modell zur Betrachtung eines Wassereinzugsgebietes (wie z.B. WaSiM-ETH)³, sondern simuliert die Maßnahmenwirkungen auf einer einheitlichen Fläche. Unterschiedliche Flächennutzungen oder Bodencharakteristika lassen sich über die flächengewichtete Mittelung der Ergebnisse auf der Einheitsfläche beurteilen. Für jede Landnutzungsart (z.B. Wiese, Wald, Agroforst, Hecken) wurde somit jeweils eine Simulation erstellt und die Ergebnisse flächengewichtet aggregiert. Die folgende Abbildung 9 zeigt das Prinzip der Modellierung.

³ Wasserhaushalts-Simulations-Modell WaSiM-ETH (online verfügbar)

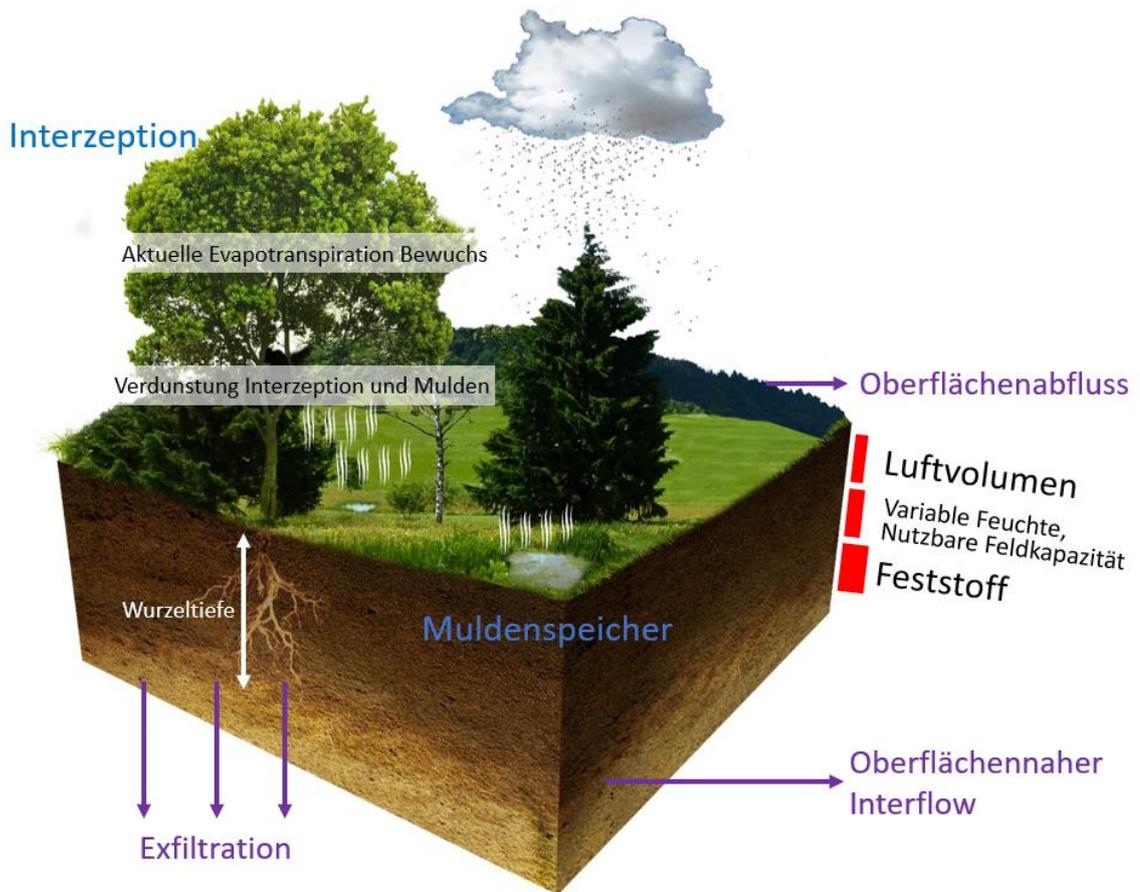


Abbildung 9: Veranschaulichung des hydrologischen Modells

Quelle: eigene Darstellung

Funktionsweise des Modells und dessen Output

Um die Wasserbilanz zu quantifizieren, werden folgende Elemente berücksichtigt:

- Für Temperatur, Niederschlag und relative Luftfeuchtigkeit werden für die Jahre 2011 bis 2020 standortspezifische Daten des Deutschen Wetterdienstes verwendet. Die Temperaturdaten sind mit der barometrischen Höhenformel an die Lage der Höfe angepasst.
- Berechnung der potenziellen Verdunstung aus den Daten von Temperatur und Luftfeuchte nach Haude.
- Die Interzeption an der Vegetationsoberfläche samt jahreszeitlicher Effekte wird durch vegetationspezifische oder baumartenspezifische Blattflächenindizes ermittelt.
- Der Rückhalt des Niederschlags an der Oberfläche des Bodens wird als Muldenspeicher berücksichtigt.
- Zur Bestimmung der Infiltrations- und Exfiltrationswerte sowie des Speichervermögens des Bodens für pflanzenverfügbares Wasser wird die nutzbare Feldkapazität (NFK) aus Bodendaten (GeoLa 2014) herangezogen. Die Infiltrationsrate wird darüber hinaus durch die Vegetationsdecke und die Nutzung beeinflusst (Pflugsohle unter Acker, Verdichtung durch Viehtritt auf Weiden).
- Übersteigt die Niederschlagsintensität die Infiltrationsleistung an der Bodenoberfläche oder des Oberbodens, kommt es zum Oberflächenabfluss.

- Die Versickerung unterhalb des durchwurzelbaren und damit für die Pflanzen nutzbaren Bodens in den tieferliegenden Untergrund fließt abhängig von der Geländeneigung in Anteilen dem oberflächennahen Interflow und der vertikalen Exfiltration zu.

Abbildung 10 stellt die Funktionsweise des Modells dar. Einflussgrößen sind die bereits genannten Faktoren: Interzeption der Vegetation, Muldenspeicher der Bodenoberfläche, Oberflächenabfluss bei Stau der Infiltration und Infiltration in Abhängigkeit von der Landnutzung der entsprechenden Vegetationsdecke und der Bodentextur. Diese werden im Folgenden näher beschrieben.

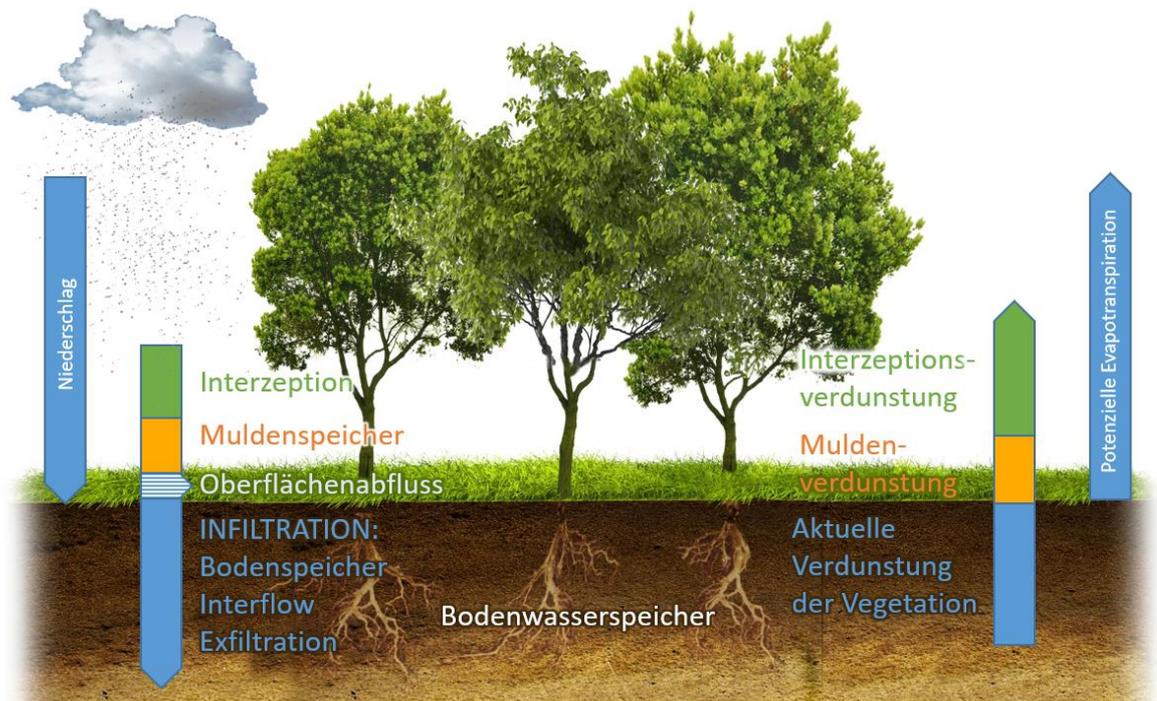


Abbildung 10: Funktionsweise des Wasserbilanzmodells dargestellt an den Summen von Niederschlag und potenzieller Evapotranspiration

Quelle: eigene Darstellung

Die Modellkomponenten

Die Modellierung des Bodenspeichers erfolgt für die durch die Wurzeltiefe der Vegetationsdecke bestimmte, nutzbare Bodenzone. Zunächst wird der Anteil des Niederschlags ermittelt, der in den Boden infiltrieren kann und den Bodenwasserspeicher füllt. Entleert wird der Bodenwasserspeicher durch die Verdunstung der Pflanzen und des Bodens. Die eingehenden Größen und Berechnungsschritte im Modell werden im Folgenden dargestellt:

Potenzielle Evapotranspiration

Die Potenzielle Evapotranspiration [mm] wird nach Haude (1955) auf Grundlage des Sättigungsdefizits der Luft und einem jahreszeitabhängigen Faktor berechnet. Sie dient als Bezugswert für die Evaporation aus Interzeptionsspeicher, Muldenspeicher und Boden sowie der Transpiration der Vegetation.

Blattflächenindex

Der einheitslose Blattflächenindex (BFI) gibt die Blattoberfläche je Bodenfläche an und ist abhängig von Bewuchsform und Jahreszeit. Die verwendeten Werte sind aus Natkin (2010) entnommen und adaptiert.

Interzeption

Interzeption beschreibt das vorübergehende Speichern von Niederschlag auf Pflanzenoberflächen. Der Interzeptionsspeicher [mm] ist bestimmt durch den BFI und die pflanzen-spezifische maximale Interzeptionskapazität. Der Interzeptionsspeicher wird aus dem Niederschlag befüllt und durch die standortspezifische potenzielle Evapotranspiration entleert.

Muldenspeicher

Aus dem Restniederschlag nach der Interzeption wird im nächsten Schritt des Modells der Muldenspeicher [mm] gefüllt. Auch dieser entleert sich wieder durch Verdunstung. Die Kapazität des Muldenspeichers ist durch die Rauigkeit der Bodenoberfläche definiert. Auf diese Weise können auch Änderungen in der Oberflächenstruktur generalisiert im Modell berücksichtigt werden.

Infiltration

Die Infiltration [mm] in den Boden erfolgt aus dem Restniederschlag nach Interzeption und Muldenspeicher und wird durch die bodenspezifische maximale Infiltrationsrate [mm/d] begrenzt.

Schnee

Infiltration aus schmelzendem Schnee wird durch Schneehöhe und Wassergehalt des Schnees modelliert. Es wird das vereinfachte „Snow Compaction“-Verfahren genutzt. Schneeniederschlag fällt mit einer Dichte von 0,1 und bildet damit die Schneehöhe. Tauvorgänge nach einer festzulegenden Schmelztemperatur erzeugen in einem ersten Schritt eine Minderung der Schneehöhe bis zu einer Dichte von 0,4 (Snow Compaction). Erst nach Überschreiten des kritischen Wassergehalts wird Wasser für die Infiltration bereitgestellt. Gleiches gilt für Regenniederschlag bei erhöhten Temperaturen auf eine Schneedecke.

Oberflächenabfluss

Wenn die tägliche maximale Infiltrationskapazität des Bodens überschritten wird, entsteht der Oberflächenabfluss [mm]. Das Modell basiert aufgrund der Verfügbarkeit der Daten auf einer zeitlichen Diskreditierung von Tageswerten. Niederschlag ist zwar i.d.R. in Stundenwerten verfügbar, die weiteren Daten zu Temperatur und Luftfeuchte jedoch nicht. Oberflächenabfluss kann deshalb durch die Mittelung der intensiven Kurzzeitniederschläge nicht komplett realitätsnah, sondern nur im Vergleich der Landnutzungsvarianten bewertet werden.

Nutzbare Feldkapazität

Die NFK [mm/m] beschreibt den Wassergehalt des Bodens, der pflanzenverfügbar gespeichert werden kann und der Vegetation somit zur Verfügung steht. Im Modell wird die NFK durch die Gründigkeit, die von der Vegetation (z.B. Weizen versus Baum) abhängige Durchwurzelungstiefe und die maximale NFK [mm / 1m] des Bodens bestimmt.

Aktuelle Evapotranspiration

In der aktuellen Evapotranspiration [mm] sind die Transpiration der Vegetation und die Evaporation des Bodens zusammengefasst. Die aktuelle Verdunstung ist abhängig von der potenziellen Evapotranspiration, der NFK und den Eigenschaften der Vegetation. Die Modellierung erfolgt mit Hilfe des Kalibrierungsfaktors Verdunstung (Kali V), welcher je nach Eigenschaften des Bewuchses eingestellt wird. Außerdem wird ein linearer Zusammenhang zwischen dem prozentualen Füllungsgrad der NFK und der aktuellen Evapotranspiration angenommen. Ein Kali V-Wert von 1,0 entspricht bei 100 Prozent der NFK der potenziellen Verdunstung. Fällt der Füllungsgrad der NFK unter 20 %, wird im Modell angenommen, dass die Pflanzen ihre Stomata schließen und somit keine weitere Verdunstung stattfindet.

Exfiltration und Interflow

Wenn der Bodenwassergehalt die NFK nach Abzug der aktuellen Evapotranspiration übersteigt, wird die überschüssige Wassermenge als Exfiltration [mm] und Interflow [mm] betrachtet. Dabei werden im Modell 50 % der vertikalen Exfiltration und 50 % dem horizontalen Interflow zugerechnet. Die maximale Exfiltrationsrate wird je nach Standortbedingungen angepasst.

Bodenwasserspeicher

Der Bodenwasserspeicher [mm] wird durch die Infiltration befüllt und entleert sich durch die Verdunstung. Im Modell entspricht der Bodenwasserspeicher der NFK des für die jeweilige Vegetationsdecke verfügbaren Wurzelraums und ist folglich auch durch die Gründigkeit des Bodens beschränkt.

Auswahl von Modelljahren für die Szenarien der Wasserbilanzmodellierung

Für das Modell wurden die Jahre 2012 und 2018 ausgewählt sowie ein Zukunftsjahr konstruiert (Trockenjahr-Zukunft 2050). Die Jahre 2012 und 2018 wurden ausgewählt, um einen Vergleich zwischen zwei realen Jahren zu ermöglichen, die sich besonders in ihren Niederschlagsmengen unterscheiden.

Normaljahr 2012: Das Jahr 2012 war von regelmäßigen Niederschlägen, besonders in der Vegetationsperiode geprägt. Dieses Jahr steht damit exemplarisch für ein „Normaljahr“ ohne klimawandelbedingte Veränderungen.

Trockenjahr-Ist 2018: Im Jahr 2018 fiel in der Vegetationsperiode deutlich weniger Niederschlag als üblich. Besonders im Juni und Juli litten die Pflanzen unter der Trockenheit (stellvertretend für ein „Klimawandeljahr“). Dies lässt Aussagen über die Wirksamkeit der Anpassungsmaßnahmen unter starken Trockenheitsbedingungen im Vergleich zu Normaljahren

zu. So kann analysiert werden, ob und ab welcher Intensität von Trockenstress und Dauer sich die Maßnahmen für die jeweiligen Flächen anbieten.

Trockenjahr-Zukunft 2050: Das Zukunftsjahr wurde auf Basis des Jahres 2018 konstruiert. Dazu wurde die Schneemenge sowie der Niederschlag im Mai und im Juli halbiert, um die sich zukünftig verstärkende Sommertrockenheit darzustellen. Das Zukunftsjahr 2050 ist damit ein Referenzjahr, das die Folgen des Klimawandels verschärft darstellt; gleichzeitig aber auch in dem Wirkungsbereich heute oder in naher Zukunft umgesetzter Maßnahmen liegt. Es dient als Referenz für die Wirksamkeit der jeweiligen Anpassungsmaßnahmen in Bezug auf Trockenheit und Bodenwasserspeicher.

Für jedes der drei Jahre wurde zunächst die Wasserbilanz für den Ist-Zustand also die der derzeitige Landnutzung modelliert (Baseline). Demgegenüber wurde für jedes der Jahre die Veränderung der Landnutzung durch einer oder eine für den Modellbetrieb passende Kombination von Maßnahmen für ein verbessertes Wassermanagement modelliert, um Aussagen, über die Wirksamkeit der identifizierten Maßnahmen treffen zu können.

Parametrisierung

Eine Abbildung der Maßnahmen ist im Modell durch die Anpassung der folgenden Parameter möglich:

- Blattflächenindex und Bedeckungsgrad der Vegetation
- Maximaler Interzeptionsspeicher der Vegetation
- Wurzeltiefe (inkl. Berücksichtigung der Gründigkeit des Bodens)
- Muldenspeicher
- Kalibrierungsfaktor („Kali V“) für die potenzielle Verdunstung einer bestimmten Vegetationsdecke
- Korrekturfaktor für die Infiltration je nach Landnutzung

Für die Parametrisierung der einzelnen Szenarien und Maßnahmen (Beschreibung der Maßnahmen und Ergebnisse der Modellierung Kapitel 4.4) werden Daten aus der Literatur und Experteneinschätzungen herangezogen.

Ergebnisdarstellung

Die Ergebnisse der Wasserbilanzberechnungen lassen sich auf zwei Arten darstellen. Über Gangliniendarstellungen aller berechneten Elemente im Modell können die zeitlichen Verläufe in Jahres- oder Detailabbildungen dargestellt werden. Um die Wasserbilanzen verschiedener Szenarien (also der Kombination aus Jahr und Maßnahme) zu vergleichen, werden Summen oder Teilsummen der einzelnen Elemente herangezogen.

Bewertung des Modellansatzes

Im einfach gehaltenen Wasserbilanz-Modell lassen sich die Auswirkungen der Maßnahmen in ihrer Tendenz abbilden. Im Rahmen der verfügbaren Daten ist es somit möglich, die Szenarien zu quantifizieren und zu bewerten. Sowohl die Prozesse an der Oberfläche wie Verluste durch Interzeption und Muldenspeicher, als auch wichtige Teile des Bodenwasserhaushalt (ohne Grundwasser) werden realitätsnah erfasst. Das Wasserhaushaltssegment des Bodens ist über die Durchwurzelungstiefe definiert. Um die Effekte der angepassten Vegetation der verschiedenen Maßnahmen beurteilen zu können, wird im Modell zwischen der potenziellen und der aktuellen Verdunstung unterschieden. Außerdem werden jahreszeitliche Veränderungen über den monatsweisen BFI dargestellt. Trotz der Limitierung eines 2-D Modells wurde versucht die mittlere Hangneigung durch eine angepasste Infiltrationsrate und Interflow Rate abzubilden. Die Handhabung des Modells setzt zwar Erfahrungen mit den Parametern voraus, die Beziehungen der Parameter untereinander sind jedoch für die Nutzenden nachvollziehbar.

Die Einfachheit des Modells und die verfügbaren Daten begrenzen die Aussagekraft in einigen Aspekten. Der Oberflächenabfluss wird im Modell unterschätzt, da dieser während zeitlich eng begrenzten Spitzen mit extremer Intensität des Niederschlags (Starkregen) auftritt. Aufgrund der Betrachtung des Niederschlags über den Tag, ist die Entstehung von Oberflächenabfluss im Modell nahezu ausgeschlossen. Eine Abbildung von Starkniederschlagsereignissen und der Retentionswirkung der verschiedenen Maßnahmen ist somit im Modell nur in sehr eingeschränktem Umfang möglich.

Das einschichtige Bodenmodell und die Beschränkung des Bodenwasserspeichers auf die Gründigkeit und die Vegetationsdecken-spezifische Durchwurzelungstiefe sind weitere Limitationen des Modells, da die Prozesse in der Bodenschicht unterhalb der Wurzeltiefe nicht berücksichtigt werden. Zudem sind die Mittelwerte aus der Bodenkarte des Landes zu grob für die exakte Erfassung auf der Skalenebene der Modellbetriebe.

In der Abwägung der Vorteile, aber auch der Begrenzungen des Modells scheint es in Summe für das Anliegen des Projekts, das keine primär wissenschaftliche Zielsetzung hat, geeignet. Die Wirkungstendenz der Maßnahmen kann in grob quantifizierter Form ausreichend genau dargestellt werden.

3.6. Modell zur Wirkung von Retentionsgehölzen

Dies Modell wurde für die Einschätzung der Retentionswirkung bei Anlage von bachbegleitenden Retentionsgehölzen entwickelt und in einem der Modellbetriebe angewendet (vgl. Kap. 4.4.1). Anhand einer Analyse über das digitale Geländemodell (DGM) wurden Fließwege im betrachteten Landschaftsausschnitt und dem Umfeld ermittelt. In diesen Fließrinnen tritt der oberflächennahe Interflow auf bzw. tritt offen zutage.

Den um und an den Fließrinnen (Gerinne/Bächen) angelegten Retentionsgehölzflächen fließen nach DGM-Auswertung bestimmte Anteile an oberflächennahem Interflow zu. Innerhalb der Retentionsflächen ist ein moderater Einstau im Mittel über die ganze Fläche von 20 mm angenommen worden. Die „Einstau“-Wirkung resultiert aus einer erhöhten Reliefruheheit und dem Gehölzbewuchs innerhalb der Retentionsflächen. Dies können Kaskaden im Fließweg, Mulden oder weitere abflussbremsende Elemente sein. Als „Einstauhöhe“ wurden diese Wirkungen im Modell rechnerisch umgesetzt. Das zugehörige Retentionsvolumen lässt sich daraus ableiten und ging in die Wasserbilanz der Modellierung auf der Landschaftsebene ein.

4. Ergebnisse

4.1. Maßnahmenkatalog

Im Folgenden werden zunächst alle Maßnahmen und ihre Wirkung auf den Bodenwasserhaushalt diskutiert, die im Zuge des vorliegenden Projekts ausgewählt worden sind.

Im Anschluss erfolgt eine Vorstellung der einzelnen Betriebe anhand eines Betriebsprofils, der Lage sowie der vorgesehenen Maßnahmen. Der Hauptteil wird durch eine detaillierte Beschreibung der Maßnahmen geprägt, deren Umsetzung anhand der verschiedenen Fallstudien/Höfe dargestellt wird. Um die rein qualitative Einschätzung zu den Wirkungen der Maßnahmen zu ergänzen, werden in Kapitel 4.4 die Umsetzung der Modellierung und die Ergebnisse der Modellierung für jede Maßnahme vorgestellt.

Übersicht über die Maßnahmen zur Verbesserung des Bodenwasserhaushalts

Die Anpassungsmaßnahmen sind das Ergebnis aus Literaturstudium, Experteninterviews sowie Priorisierungs- und Selektionsprozess dar. Sie werden vor dem Hintergrund ihrer Wirkungen für die Landschaft als Wasserspeicher beschrieben. Die Differenzierung erfolgte anhand der Wirkungen auf den Bodenwasserspeicher, die Bodengesundheit und den Ertrag. Maßnahmen können in Bezug auf verschiedene Parameter sowohl verbessernd als auch verschlechternd wirken. Zentral ist die Frage, ob die Verschlechterung durch eine verbessernde Wirkung überkompensiert wird. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn durch Gehölzstreifen zwar eine erhöhte Verdunstung eintritt, gleichzeitig aber ein Rückgang der Austrocknung (Evaporation) und Erosion im Bereich zwischen zwei Gehölzstreifen eintritt.

Zur Einordnung der Maßnahmen werden folgende Landnutzungsformen bzw. Ansatzpunkte unterschieden:

- Grünland
- Ackerbau
- Agroforst
- Retention
- Wald (Waldwegebau, Waldbau, Waldboden)
- Obstbau/Sonderkulturen.

Diese finden sich auch in Tabelle 3 wieder. Innerhalb dieser Ansatzpunkte werden die Maßnahmen laufend nummeriert und benannt. Zudem werden ihre Definition und ihre Wirkung knapp beschrieben.

Tabelle 3: Überblick Maßnahmenkatalog

Maßnahme	Definition	Wirkung
Grünland-1: Arten- und Sortenwahl	Mischung aus trockenresistenten, winterharten Kulturen mit gutem Futterwert, Verdaulichkeit und Eignung für Beweidung und Mahd.	<ul style="list-style-type: none"> ▸ Tiefere Durchwurzelung – Vergrößerung pflanzenverfügbare Bodenwasserspeicher
Grünland-2: Wiesenmanagement, angepasste Agronomie	Anpassung der Schnitthöhe (8-10 cm) und -Zeitpunkt, Anpassung der Düngung (u. A. gute Versorgung mit Kalium im Frühsommer), achten auf Bewuchs und Schließen von Lücken.	<ul style="list-style-type: none"> ▸ Erhöhte Infiltrationsrate ▸ Stärkere Beschattung – Verringerung der Verdunstung
Grünland-3: Weidemanagement	Rotationsbeweidung Anpassung der Besatzdichte	<ul style="list-style-type: none"> ▸ Stärkere und intensivere Wurzelbildung – erhöhte Infiltration ▸ Erhöhung des Humusgehalts der Böden ▸ Stärkerer Bewuchs – Reduktion Direktabflüsse
Grünland-4: Trinkwasserversorgung	Anlage neuer sowie Erweiterung bestehender Zisternen, um eine sichere Wasserversorgung auf der Weidefläche zu ermöglichen.	<ul style="list-style-type: none"> ▸ Konstante Trinkwasserversorgung auf der Weidefläche
Ackerbau-1: Konservierende Landwirtschaft (Mulch/Direktsaat)	Bodenkonservierende Bearbeitung durch Mulchsaatverfahren, im Idealfall mit Direktsaat oder nur oberflächlicher Bearbeitung.	<ul style="list-style-type: none"> ▸ Verbesserte Bodenstruktur – erhöhte Infiltrationskapazität ▸ Erhöhung des Humusgehalts der Böden ▸ Verringerte Evaporation durch Pflanzendecke
Ackerbau-2: Trockenresistente Kulturen	Anbau von hitze- und trockenresistenten Kulturen mit einer verbesserten Wassernutzungseffizienz sowie einer besseren Hitzetoleranz.	<ul style="list-style-type: none"> ▸ Intensivere Durchwurzelung – erhöhte Infiltrationskapazität ▸ Verbesserter Humus- und Stickstoffgehalt
Agroforstsysteme-1: Heckeneinsatz in landwirtschaftlichen Flächen	Einbringung von hangparallelen Heckenstreifen auf den Weideflächen.	<ul style="list-style-type: none"> ▸ Verringerung von Oberflächenabfluss einhergehend mit erhöhter Infiltration ▸ Schutz vor Wind- und Wassererosion
Agroforstsysteme-2: Agroforstsysteme auf ganzer Fläche	Kombination von Baumreihen, Feldgehölzen und/oder Sträuchern mit Weide oder Ackerland.	<ul style="list-style-type: none"> ▸ Verringerung von Oberflächenabfluss einhergehend mit erhöhter Infiltration ▸ Schutz vor Wind- und Wassererosion

Maßnahme	Definition	Wirkung
Retentionsflächen-1: Retentionsgehölze	Anlage eines Gewässerrand/Pufferstreifens von Gehölzen entlang von Gewässern.	<ul style="list-style-type: none"> ▸ Intensives Wurzelsystem – Erhöhte Infiltrationskapazität ▸ Erhöhte Oberflächenrauigkeit – Verringerung von Direktabflüssen und Erosion
Retentionsflächen-2: Abflusssteuerung (Bremsung) von Gewässern	Gewässer mit Hindernissen wie Steinschüttungen oder auch Verkräutung (Pflanzen am Rand des Gewässers) ausstatten.	<ul style="list-style-type: none"> ▸ Verlangsamung des Abflusses – erhöhte Infiltrationskapazität in Gewässernähe ▸ Erhöhte Oberflächenrauigkeit – Verringerung von Direktabflüssen und Erosion
Retentionsflächen-3: Retentionsmulden	Anlage von Flächen mit Vertiefungen in der Landschaft.	<ul style="list-style-type: none"> ▸ Verlangsamung des Abflusses – erhöhte Infiltrationskapazität ▸ Zwischenspeicherung von Wasser bei Starkniederschlagsereignissen – Reduktion von Direktabflüssen und Erosion
Retentionsflächen-4: Management des Wasserhaushalts von Mooren	Moore renaturiert und/oder mit Einrichtung ausbauen, um den Wasserzulauf und damit den Moorwasserpegel zu regulieren.	<ul style="list-style-type: none"> ▸ Erhöhung des Wasserspeichers ▸ Reduktion von Direktabflüssen
Waldwege-1: Berücksichtigung der optimalen Wege-lage bei Wegneubauten (Wegführung)	Optimiertes Wegenetz, das sich aus der Anlage neuer Wege sowie durch Veränderungen und Korrekturen am existierenden Wegenetz zusammensetzt.	<ul style="list-style-type: none"> ▸ Erhöhung der Infiltration und Wasserspeicher ▸ Verringerung der Bündelungswirkung für oberflächennahen schnellen Abfluss - Reduktion Erosion
Waldwege-2: Wegerückbau	Optimiertes Netz an befestigten Forst- und unbefestigten Maschinenwegen, welche die Fläche zur Bewirtschaftung gerade noch ausreichend erschließen. Bei Rückbau werden Überlegungen zur Minimierung von Störungen am Boden/Terrain miteinbezogen.	<ul style="list-style-type: none"> ▸ Erhöhung der Infiltration und Wasserspeicher ▸ Verringerung der Bündelungswirkung für oberflächennahen schnellen Abfluss - Reduktion Erosion
Waldwege-3: Veränderte Wasserableitung und Wassereinleitung in Bestände	Wegenetz mit Maßnahmen ergänzen, welche die Unterbrechung und Bündelung des Hangwassers und Oberflächenabflusses auf der Wegfläche deutlich reduziert und so mehr Wasser in die umliegenden Bestände gelangt.	<ul style="list-style-type: none"> ▸ Erhöhung der Infiltration und Wasserspeicher ▸ Verringerung der Bündelungswirkung für oberflächennahen schnellen Abfluss - Reduktion Erosion ▸ Erhöhung der Wassermenge, die in Waldbestand geleitet wird

Maßnahme	Definition	Wirkung
Waldbau-1: Optimierung der Baumarten-zusammensetzung	Laub-Nadel-Mischbestände in intensiver einzel- bis gruppenweiser Mischung. Baumarten an Standortbedingungen angepasst.	<ul style="list-style-type: none"> ▸ Sicherung / Erhaltung der Humusschicht sowie ggfs. Verbesserung der Humusform (in Bezug auf die standörtlichen Bedingungen) – Erhöhung Infiltrationskapazität und damit Bodenwasserspeicher ▸ Senkung des oberflächennahen Interflows.
Waldbau-2: Optimierung der Bestockungsdichte und des vertikalen Aufbaus	Ein lockerer mehrschichtiger Bestand mit unterschiedlichen Altersklassen sowie einzel- und gruppenweisen Beimischungen von standortangepassten Baumarten.	<ul style="list-style-type: none"> ▸ Sicherung und Erhaltung der Humusschicht sowie ggfs. Verbesserung der Humusform – Erhöhung Infiltrationskapazität und damit Bodenwasserspeicher ▸ Intensivere Nutzung des Wurzelraums und damit bessere Ausnutzung des Bodenwasserspeichers, – geringere Speisung von Vorflutern
Waldbau-3: Optimierung von Verjüngungsverfahren	Kleinflächige Verjüngung in Bestandeslücken von Gruppen- bis Horstgröße.	<ul style="list-style-type: none"> ▸ kleinflächige Natürliche Verjüngung sorgt für verbesserte Durchwurzelung ▸ Erhöhte Infiltrationskapazität - Zunahme des Bodenwasserspeichers
Waldböden-1: Erhaltung der Bodenstruktur	Möglichst Optimierung der Faktoren Befahrungshäufigkeit und Rückegassenabstand. Keine Befahrung abseits der Feinerschließung; bodenschonende Holzernnteverfahren unter Wahrung von Arbeitssicherheit (zeitliche Entkopplung von Mensch-Maschine-Einsatz).	<ul style="list-style-type: none"> ▸ Reduktion der Erosion ▸ Verbesserte Bodenstruktur
Obstbau/Sonderkulturen-1: Bewässerung	Obstbau mit optimierter Bewässerung.	<ul style="list-style-type: none"> ▸ Konstante Wasserversorgung der Bäume – Erhöhtes Wachstum
Obstbau/Sonderkulturen-2: Trockenresistente Kulturen	Anbau von hitze- und trockenresistenten Obstsorten mit einer verbesserten Wassernutzungseffizienz sowie einer besseren Hitzetoleranz.	<ul style="list-style-type: none"> ▸ Intensivere Durchwurzelung – Erhöhte Infiltration ▸ Reduktion von Erosion
Obstbau/Sonderkulturen-3: Anlegen von Teichen, Regen auffangen in Rückhaltebecken	Obstbau mit optimierter Bewässerung und ausreichender Wasserverfügbarkeit.	<ul style="list-style-type: none"> ▸ Konstante Wasserversorgung der Bäume – Erhöhtes Wachstum
Obstbau/Sonderkulturen-4: Humus/Kompost	Obstbau mit Zugabe von Humus (im Pflanzloch, eingearbeitet oder als Bodenbedeckung).	<ul style="list-style-type: none"> ▸ Verbesserung Bodenfruchtbarkeit und -struktur – Erhöhte Infiltrationskapazität ▸ Erhöhte Auflagebedeckung – Reduktion von Erosion

4.2. Maßnahmen des Wassermanagements in den Modellbetrieben

Im Folgenden werden für jeden Hof das Betriebsprofil sowie die angedachten und umzusetzenden Maßnahmen auf einer Karte dargestellt und kurz beschreiben. Eine detailliertere Beschreibung der jeweiligen Maßnahmen erfolgt im Kapitel 4.3, in dem alle Maßnahmen allgemein erläutert und anhand eines ausgewählten Fallbeispiels näher beschrieben werden.

4.2.1. Kolbenhof Bolkart, Schonach

Betriebsprofil

Der Kolbenhof befindet sich in Schonach im Südschwarzwald auf rund 700-900 Metern ü.NN. Neben der Mutterkuhhaltung stellen Forstwirtschaft und der Anbau von Christbäumen die zwei anderen Betriebszweige dar. Die Bewirtschaftung der 87 Hektar großen Fläche erfolgt nach EG-Öko-Verordnung. In Zukunft sollen vor allem Forstwirtschaft sowie der Christbaumanbau intensiviert werden. Die Vermarktung der Produkte verläuft bei den Schlachttieren über den Handel, das Holz wird über eine Forstbetriebsgemeinschaft (FBG) und die Christbäume über die Direktvermarktung vertrieben. Über 2,3 Hektar der Fläche besteht ein Landschaftspflegerichtlinienvertrag (LPR)-Vertrag. Die Waldflächen liegen in nordwestlicher, aber auch südöstlicher Exposition auf mittel bis mäßig tief entwickelten, podsoligen Braunerden, in mittelsteilen bis steilen Hanglagen. Im überwiegenden Teil wurde der Wald bisher in Form eines Altersklassenwaldes bewirtschaftet.

Übersicht Maßnahmen

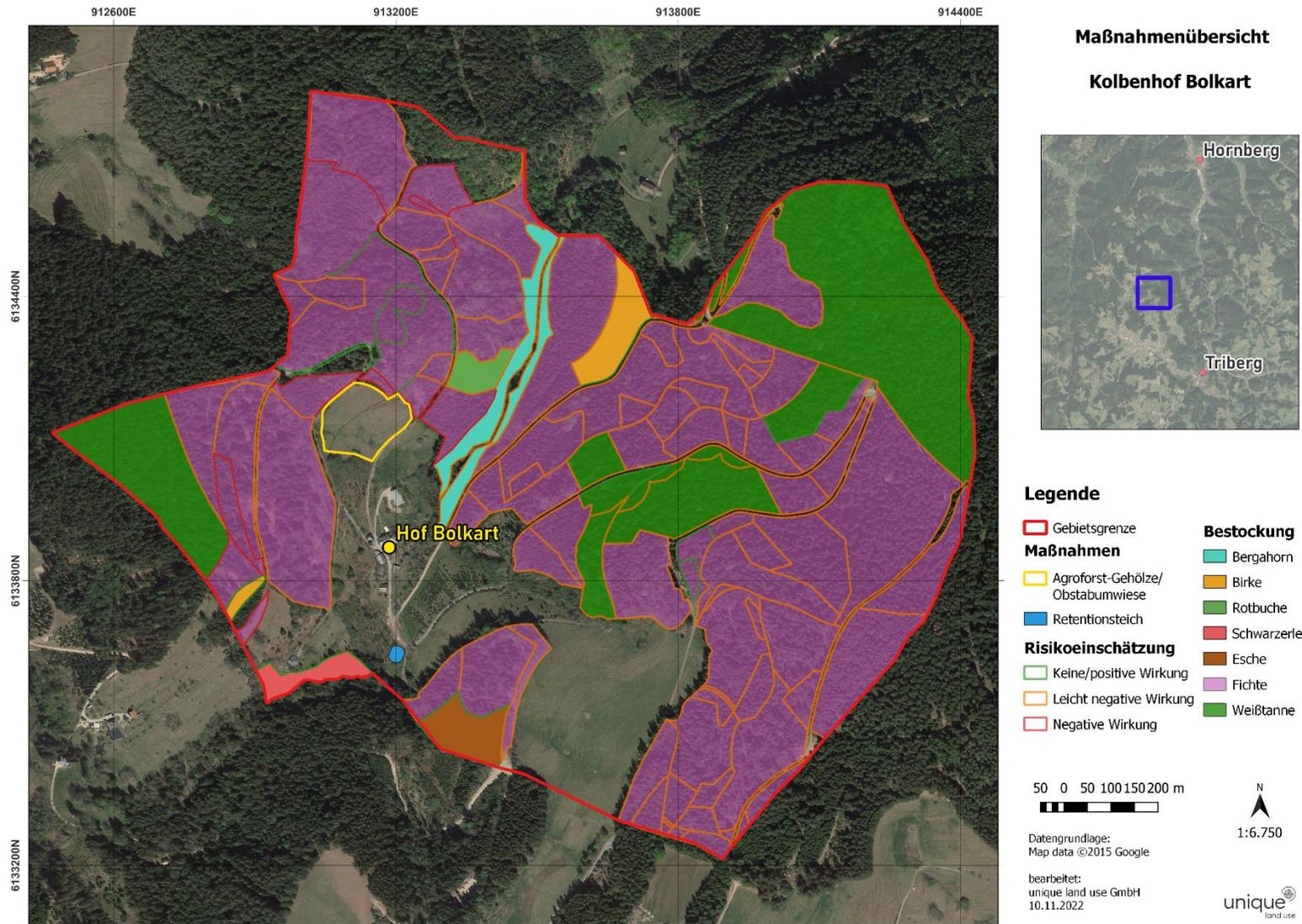


Abbildung 11: Übersicht über die geplanten Maßnahmen für den Kolbenhof Bolkart, Schonach

Abbildung 11 zeigt eine kartografische Übersicht über die geplanten Maßnahmen auf dem Hof Bolkart in Schonach. Zusätzlich bildet die Karte eine Risikoeinschätzung ab, die in einem der vorhergehenden Projekte „Landschaft im Klimawandel - Anpassungsstrategien für den Naturpark Südschwarzwald“⁴ erarbeitet worden waren. Für die Risikoeinschätzung der Waldbestände hinsichtlich des Klimawandels und sich verändernder Temperaturen sowie Niederschlagsintensitäten wurde in einem Experten-gestützten Verfahren welches den Boden, den Klima-Ist-Zustand und das Klima in der Zukunft (2050, 2100) einbezog, bewertet, wie die Auswirkungen des Klimawandels für den aufstockenden Bestand sind. Je weniger die Bestockung an die zukünftigen Standortsbedingungen angepasst ist, desto negativer wurde die Wirkung des Klimawandels eingeschätzt. Anhand dieser Risikoeinschätzung konnten nun die Waldbestände ausgewählt werden, in denen ein Waldumbau besonders drängt und besonders effektiv ist. Zu den Maßnahmen gehören sowohl waldbauliche Veränderungen als auch das Anlegen neuer Durchlässe auf den Waldwegen für eine bessere Wasser(ab)leitung innerhalb der Bestände sowie die Erweiterung von Retentionsflächen und die Bepflanzung von Wiesenflächen mit Obstbäumen.

- **Retentionsflächen-3:** Retentionsmulden
 - Erweiterung von Retentionsfläche/Brandschutz (alter Löschteich)
- **Agroforstsysteme-2:** Agroforstsysteme auf ganzer Fläche
 - Bepflanzung von Wiesen mit Obstbäumen
- **Waldbau-1:** Optimierung der Baumartenzusammensetzung:
 - Bestandesumbau über Laubholzpflanzungen in Bestandeslücken; schon bestehende Plenterstrukturen erhalten und ausbauen.
- **Waldbau-2:** Optimierung der Bestockungsdichte und des vertikalen Aufbaus, bodenschonende Holzernteverfahren.
- **Waldwege-3:** Veränderte Wasserableitung und Wassereinleitung in Bestände
 - Durchlässe oder Furten bauen

Als Fallbeispiele werden im Kapitel 4.3 die waldbaulichen Maßnahmen sowie die Waldwegemaßnahme näher beschrieben. Zusätzlich werden die waldbaulichen Maßnahmen modelliert und im Kapitel 4.4.2 näher beschrieben.

4.2.2. Hof Speicher, Ibach

Betriebsprofil

Der Hof Speicher befindet sich in Oberibach auf etwa 1000 Metern Höhe. Die beiden Betriebszweige des Hofes sind Forstwirtschaft und ökologische Mutterkuhhaltung, die seit 2010 zusammen mit einem GbR Partner erfolgen. Aus eigener und gepachteter Fläche ergibt sich eine Bewirtschaftungsfläche von rund 114 Hektar, diese soll in Zukunft vergrößert

⁴ Landschaft im Klimawandel - Anpassungsstrategien für den Naturpark Südschwarzwald (2016), finanziert mit Mitteln des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (UM), Förderprogramm: KLIMOPASS - Klimawandel und modellhafte Anpassung in Baden-Württemberg.

werden. Die Bewirtschaftung erfolgt bereits seit 22 Jahren nach der EG-Öko-Verordnung. Zur Vermarktung gehen die Schlachttiere an die „Erzeugergemeinschaft Schwarzwald Bio-Weiderind“⁵, das Holz wird über die örtliche Forstbetriebsgemeinschaft (FBG) verkauft. Ein hoher Anteil der wald- sowie der landwirtschaftlich genutzten Flächen sind als FFH-Flächen (Flora-Fauna-Habitat-Flächen) oder Naturschutzgebiet (NSG) ausgewiesen. Dominierende Bodenarten sind Rendzina und Pararendzina aus Fließerde sowie Muschelkalk-Hangschutt.

Die Waldflächen liegen in 1000 bis 1100 m Höhe überwiegend in sehr unterschiedlicher Exposition und Geländelage auf zumeist mittel bis tief entwickelten, podsoligen Braunerden, in mittelsteilen Hanglagen. Auf kleiner Fläche kommen Gleye und Hochmoore vor. Die Waldflächen werden größtenteils als Altersklassenwald in Kombination mit einem Femelwald bewirtschaftet. In Femelwäldern wird in unregelmäßigen Abständen der Schirm in "Gruppengröße" von 0,1 bis 0,3 ha aufgelockert, um eine Ansamung und das Aufwachsen von Naturverjüngung in den Gruppen zu ermöglichen.

Hitzestress verursacht vor allem auf den steilen Hängen mit Südexpositionen starke Probleme. Um die Bewässerung von Neupflanzungen zu verbessern und konstant zu gewährleisten, ist auf dem Hof Speicher daher die Konstruktion eines Wasserbehälters inklusive Verteilsystems angedacht. Zusätzlich sind waldbauliche Maßnahmen bezüglich der Baumartenzusammensetzung sowie der Bestockungsdichte und des vertikalen Aufbaus angedacht sowie eine Verbesserung der Trinkwasserversorgung durch den Neubau von Zisternen.

- **Grünland-4:** Trinkwasserversorgung
 - Quelle auf Borstgrasrasen Fläche neufassen – Zisterne
- **Waldbau-1:** Optimierung der Baumartenzusammensetzung
- **Waldbau-2:** Optimierung der Bestockungsdichte und des vertikalen Aufbaus
 - Behandlung Schadflächen (Sturm, Käfer) – Flächenräumung und Wiederbewaldung
- **Waldbau-3:** Optimierung von Verjüngungsverfahren
 - Wasserbehälter plus Verteilsystem für Bewässerung von (Douglasie) Neupflanzungen/Aufforstungsfläche

Als Fallbeispiel wird in Kapitel 4.3.5 näher auf die Bewässerung von Neupflanzungen und Aufforstungsflächen eingegangen.

⁵ https://www.schwarzwald-bio-weiderind.de/18/weiderindfleisch.php?DOC_INST=1

Übersicht Maßnahmen

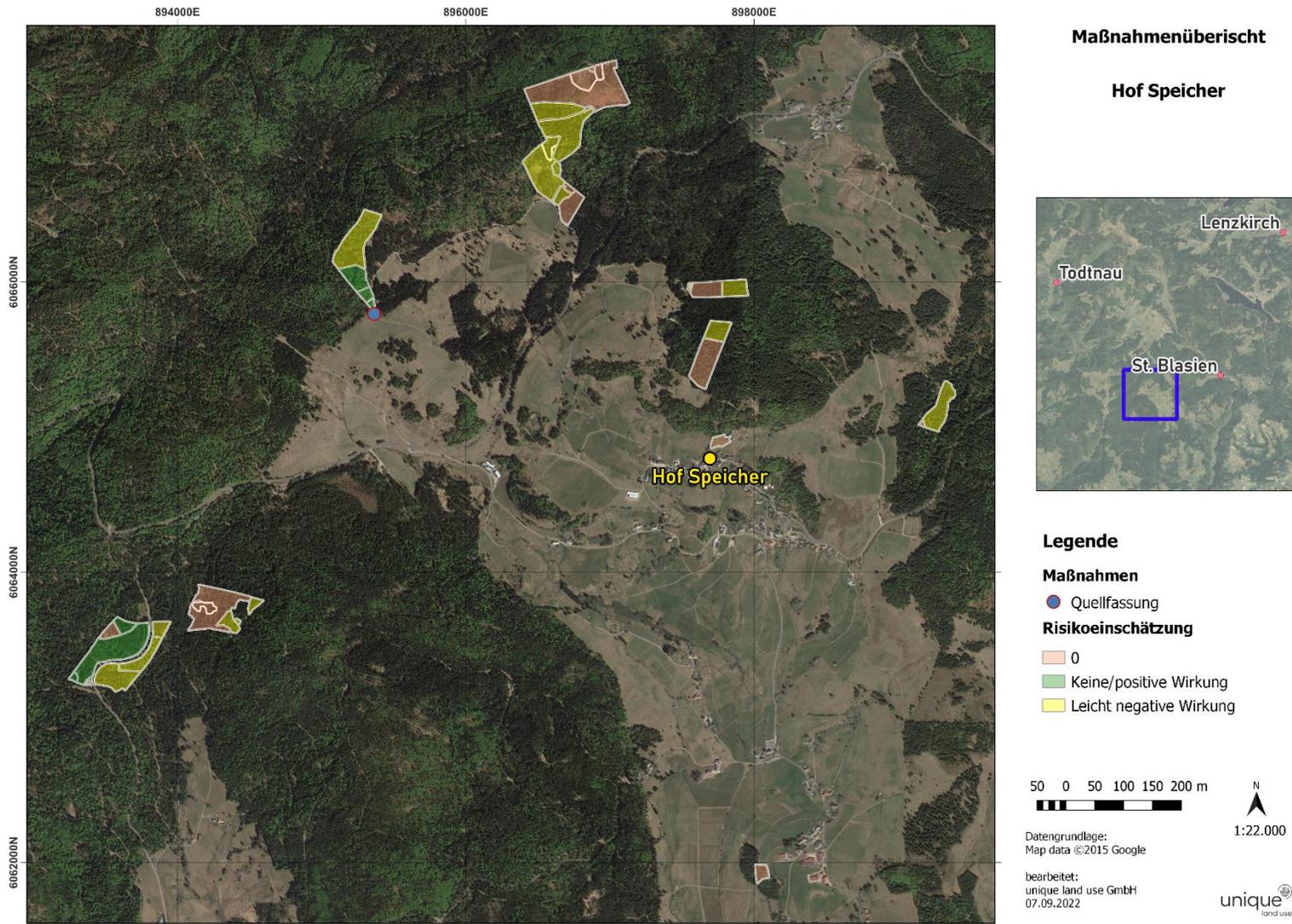


Abbildung 12: Übersicht über die geplanten Maßnahmen für Hof Speicher, Ibach

4.2.3. Geflügelhof Kaiser, Stühlingen

Betriebsprofil

Der Geflügelhof Kaiser liegt in Stühlingen auf etwa 500 Metern Höhe. Neben der Geflügelzucht wird Ackerbau, Grünlandwirtschaft sowie ein eigener Hofladen mit Direktvermarktung betrieben. Der Geflügelhof Kaiser besteht aus einem konventionellen, einem biologischen Betrieb sowie einem eigenen Vertrieb. Zu den Produkten gehören:

- Eier: ca. 20.000 Legehennen, Produktion von ca. 17.900 Eiern pro Tag
- Hühner: Suppenhuhn, Wurst, Brühe
- Teigwaren: Nudeln, Brot
- Öle
- Linsen
- Likör.

Der konventionelle Betrieb produziert Eier aus Bodenhaltung, zusätzlich steht den Hühnern ein Auslaufbereich zur Verfügung. Der Bio-Betrieb produziert Eier von Hühnern in Freilandhaltung mit mobilen Ställen, die durch Solaranlagen weitestgehend energieautark sind. Zusätzlich wird eine Grünlandfläche von rund 150 Hektar landwirtschaftlich bewirtschaftet sowie Ackerbau betrieben. Dabei werden folgende Feldfrüchte angebaut: Mais, Linsen, Raps und Leindotter.

Der Betrieb liegt standörtlich im Osten und damit im Regenschatten des Hochschwarzwaldes. Die Geologie des Muschelkalkes bestimmt die Böden, die verkarstet sind und insbesondere in den ebenen Hochlagen flach- bis mittelgründig.

Der Klimawandel hat sich in diesem Karstgebiet mit häufigeren Frühjahrstrockenheiten bemerkbar gemacht und mit dem Rückgang der Erträge gewohnter Feldfrüchte. Zusammen mit dem auf den Muschelkalkböden hohe Auswaschungsraten war dies in der Vergangenheit bereits Anlass auf eine pfluglose Bewirtschaftung und Mulchsaat umzusteigen, die sich in den letzten Trockenjahren und im nassen, starkregenreichen Jahr 2021 wiederholt bewährt hat. Auf den Grünlandflächen wurde die Mahd auf 3 Mähzeitpunkte reduziert.

Übersicht Maßnahmen

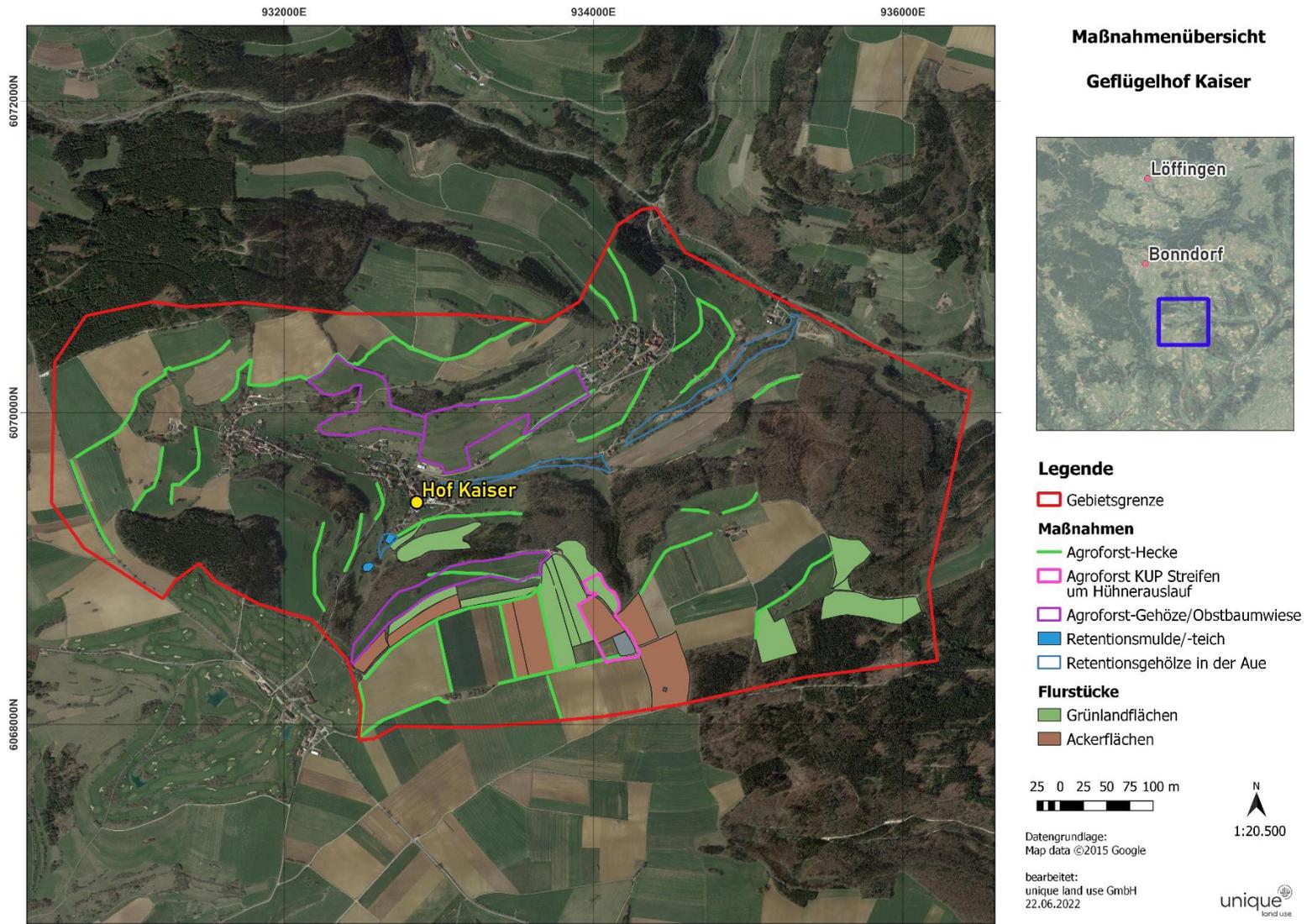


Abbildung 13: Kartografische Übersicht über die geplanten Maßnahmen für den Geflügelhof Kaiser, Stühlingen

Abbildung 13 zeigt eine Übersicht über die Flächen des Betriebs um den Hof und die weitere Umgebung auf denen im Gespräch mit dem Betrieb verschiedenen Maßnahmen zur Wasserspeicherung in der Landschaft umgesetzt werden könnten. Dieser Landschaftsausschnitt ist auch für die Modellierung der Maßnahmenwirkung verwendet worden (Kap. 4.4.3). Es sind Maßnahmen im Grünland, im Agroforstbereich sowie im Ackerbau angedacht. Im Grünland soll durch eine extensivere Bewirtschaftung und angepasste Mahdhäufigkeit und -zeitpunkte, der pflanzenverfügbare Bodenwasserspeicher erhöht werden. Es sollen Obstbäume im Grünland eingebracht werden sowie Hecken in Konturlinien sowohl im Grünland als auch im Ackerland gepflanzt werden. Zudem sollen weitere Hühnerställe auch im Ackerland installiert werden und durch Kurzumtriebsplantagen aus Pappeln und Weiden umgrenzt werden. Im Ackerbau ist die konventionelle Bewirtschaftung bereits durch eine pfluglose Bearbeitung mit Mulchsaatverfahren ersetzt werden. Folgende Maßnahmen sind konkret geplant:

- **Grünland-1:** Arten- und Sortenwahl
 - Hitze- und trockenresistente Sorten
- **Grünland-2:** Wiesenmanagement, angepasste Agronomie
 - Extensive Weidebewirtschaftung – 3 Schnitte, längerer Rhythmus, wenig Pflege/Eingriffe
- **Ackerbau-1:** Konservierende Landwirtschaft (Mulch/Direktsaat)
 - Bodenkonservierende Bearbeitung durch Mulchsaatverfahren, im Idealfall mit Direktsaat oder nur oberflächlicher Bearbeitung.
- **Ackerbau-2:** Trockenresistente Kulturen
 - Anbau von hitze- und trockenresistenten Kulturen mit einer verbesserten Wassernutzungseffizienz sowie einer besseren Hitzetoleranz.
- **Agroforstsysteme-1:** Heckeneinsatz in landwirtschaftlichen Flächen
 - Hecken auf Grünlandflächen für Geflügel
- **Agroforstsysteme-2:** Agroforstsysteme auf ganzer Fläche
 - Installation eines neuen Hühnerstalls in Verbindung mit KUP aus Weide und Pappeln
 - Anbau von Obstbäumen auf Acker- und Grünlandflächen
- **Retentionsflächen-1:** Retentionsgehölze
 - Anlage und Erweiterung von Retentionsgehölzen entlang der Bäche im Grünland
- **Retentionsflächen-3:** Retentionsmulden
 - Anlage und Vertiefung von Retentionsmulden am Oberlauf kleiner Bäche sowie Reaktivierung von Lösschteichen.

Ein Teil der oben angeführten flächenwirksamen Maßnahmen fanden Eingang in die Modellierung und werden dort näher beschrieben.

4.2.4. Hof Baur, Bernau

Betriebsprofil

Bernau ist ein Hochtal im Südschwarzwald. Der Hof Baur liegt in Bernau im Schwarzwald, Ortsteil Kaiserhaus, auf rund 900 m Höhe. Der 126 ha große Betrieb lebt von Mutterkuhhaltung und der Bewirtschaftung von Grünland. Rund 46 ha werden als Mähwiesen und etwa 80 ha als Weiden genutzt. Es leben rund 50 Mutterkühe und ein Bulle auf dem Hof. Die Flächen der Familie Baur wurden früher als gemeindeeigene Allmendweiden genutzt. Das Foto in Abbildung 14 verhilft zu einem Eindruck der Landschaft und des Naturraums, in dem dieser Betrieb liegt. Die Weideflächen sind zumeist süd-exponiert. Die Böden sind humose Braunerden mit einer Gründigkeit von ca. 80 cm, einer max. Infiltrationsrate von 400 mm/d und einer nutzbaren Feldkapazität (NFK) von 100 mm/m.



Abbildung 14: Allmendweide Hof Baur

Übersicht Maßnahmen

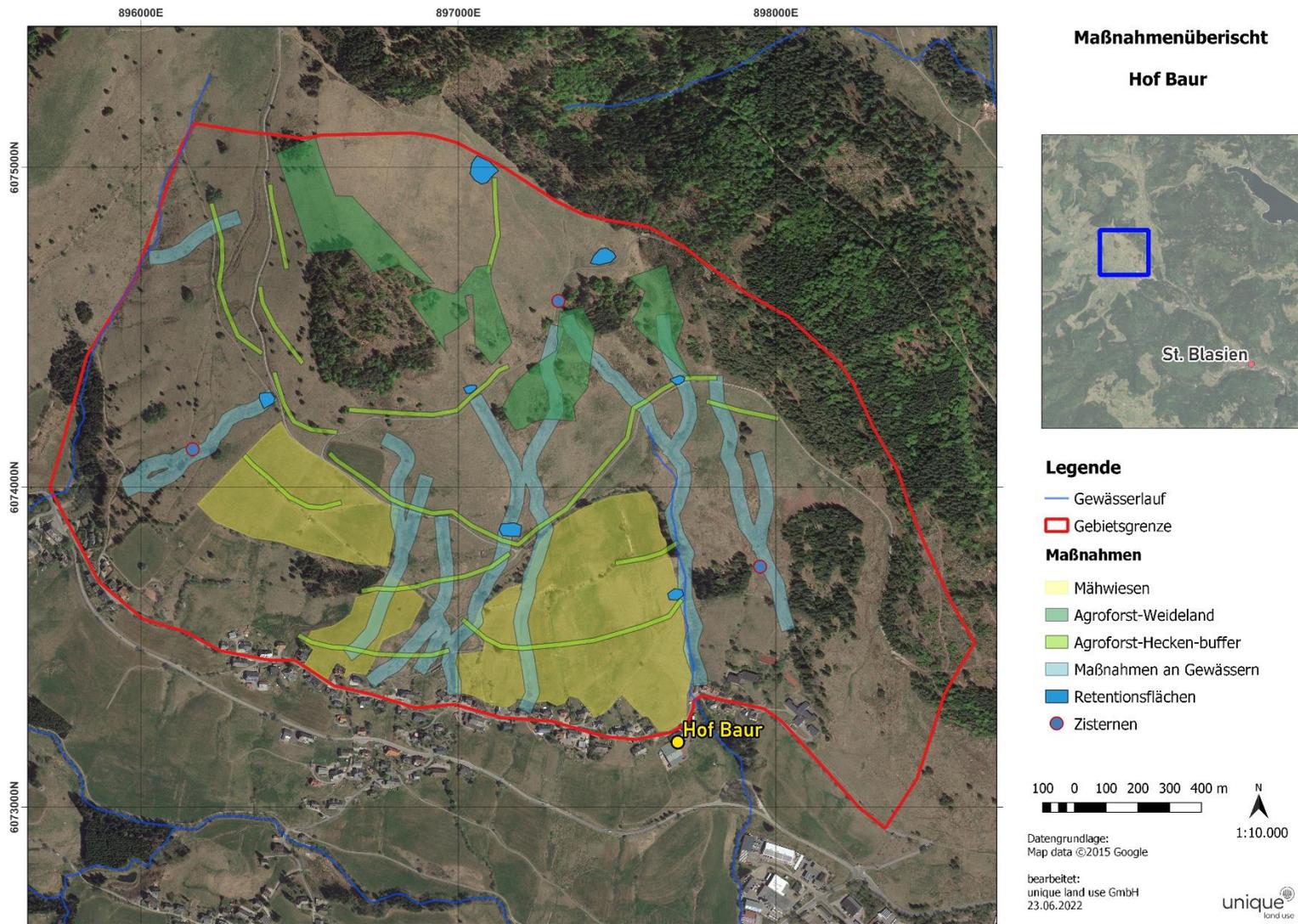


Abbildung 15: Übersicht über die geplanten Maßnahmen für den Hof Baur, Bernau

Abbildung 15 zeigt eine kartografische Übersicht über die geplanten Maßnahmen und ihrer räumlichen Verteilung auf den Flächen von Hof Baur. Für den Hof Baur wurden Maßnahmen sowohl im Grünland als auch im Agroforstbereich ausgewählt. Zudem kommen Maßnahmen der Retention. In der Darstellung wird idealtypisch, erstens nach Verbesserungen in der Grünlandbewirtschaftung (ohne Veränderung der Grünlandstrukturen), zweitens im Einbringen von Gehölzbereichen im Grünland (Agroforst) und drittens in der Veränderung und Anlage von Retentionsflächen unterschieden.

- **Grünland-1:** Arten- und Sortenwahl
 - Trockenresistente Sortenmischung
- **Grünland-2:** Wiesenmanagement, angepasste Agronomie
 - Veränderte Mahdhäufigkeit und Schnitthöhe
 - Angepasste Düngung
- **Grünland-4:** Trinkwasserversorgung
 - Erweiterung/Neubau Zisternen auf der Weidefläche
- **Agroforstsysteme-1:** Heckeneinsatz in landwirtschaftlichen Flächen
 - Hangparallele Heckenstreifen
- **Agroforstsysteme-2:** Agroforstsysteme auf ganzer Fläche
 - Agroforstbaumgruppen
- **Retentionsflächen-1:** Retentionsgehölze
 - Anlage und Erweiterung von Retentionsgehölzen entlang der Gerinne und Bäche
- **Retentionsflächen-3:** Retentionsmulden
 - Anlage und Vertiefung von Retentionsmulden möglichst weit oben in den Weiden, wo es sich topografisch anbietet oder ein kontrollierter Stau am Wegenetz möglich ist.

Die einzelnen Maßnahmen werden in Kapitel 4.3 systematisch näher beschrieben. Für den oben in der Karte gezeigten Landschaftsausschnitt um den Hof Baur wurde eine Kombination der flächenwirksamen Maßnahmen modelliert, die Ergebnisse werden in Kapitel 4.4.1 dargestellt.

4.2.5. Milchviehbetrieb Schwörer, Bräunlingen

Betriebsprofil

Hof Schwörer ist ein Milchviehbetrieb auf 800 m Höhe auf der Baar. Aktuell sind 75 Milchkühe im Betrieb; früher rein Friesian-Holstein; seit sechs Jahren eingekreuzt mit Fleckvieh. 15 Hektar Weide liegen direkt am Stall. Durch den Einsatz eines Melkroboters sind die Tiere eigenständig und können sich von Mai bis Oktober zwischen Weide und Stall frei bewegen. Wasser für die Tiere kommt aus dem öffentlichen Wassernetz.

Auf flachgründigen Muschelkalkboden werden auf 170 Hektar Mais, Klee und Luzerne angebaut. Der Großteil (ca. 2/3) ist arrondiert. Die Gefahr der Austrocknung ist hoch – bei einer Regopause im Sommer kann es dazu kommen, dass der Boden austrocknet.

Abbildung 16 zeigt eine kartografische Übersicht über die Hofflächen und ihre jeweilige Nutzung auf dem Milchviehbetrieb. Wasserversorgung ist für den Milchviehbetrieb essenziell, weshalb hier eine Aufbereitung von Regenwasser zur Versorgung der Tiere geplant ist. Für die Untersuchung lag der Fokus auf der Trinkwasserversorgung. Darüber hinaus sind auch Anpassungsmaßnahmen bei der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung im Ackerbau und Grünland vorgesehen.

- **Grünland-4:** Trinkwasserversorgung
 - Aufbereitung von Regenwasser

Als Fallbeispiel wird die Regenwasseraufbereitung in Kapitel 4.3.8 näher beschrieben.

Übersicht Maßnahmen

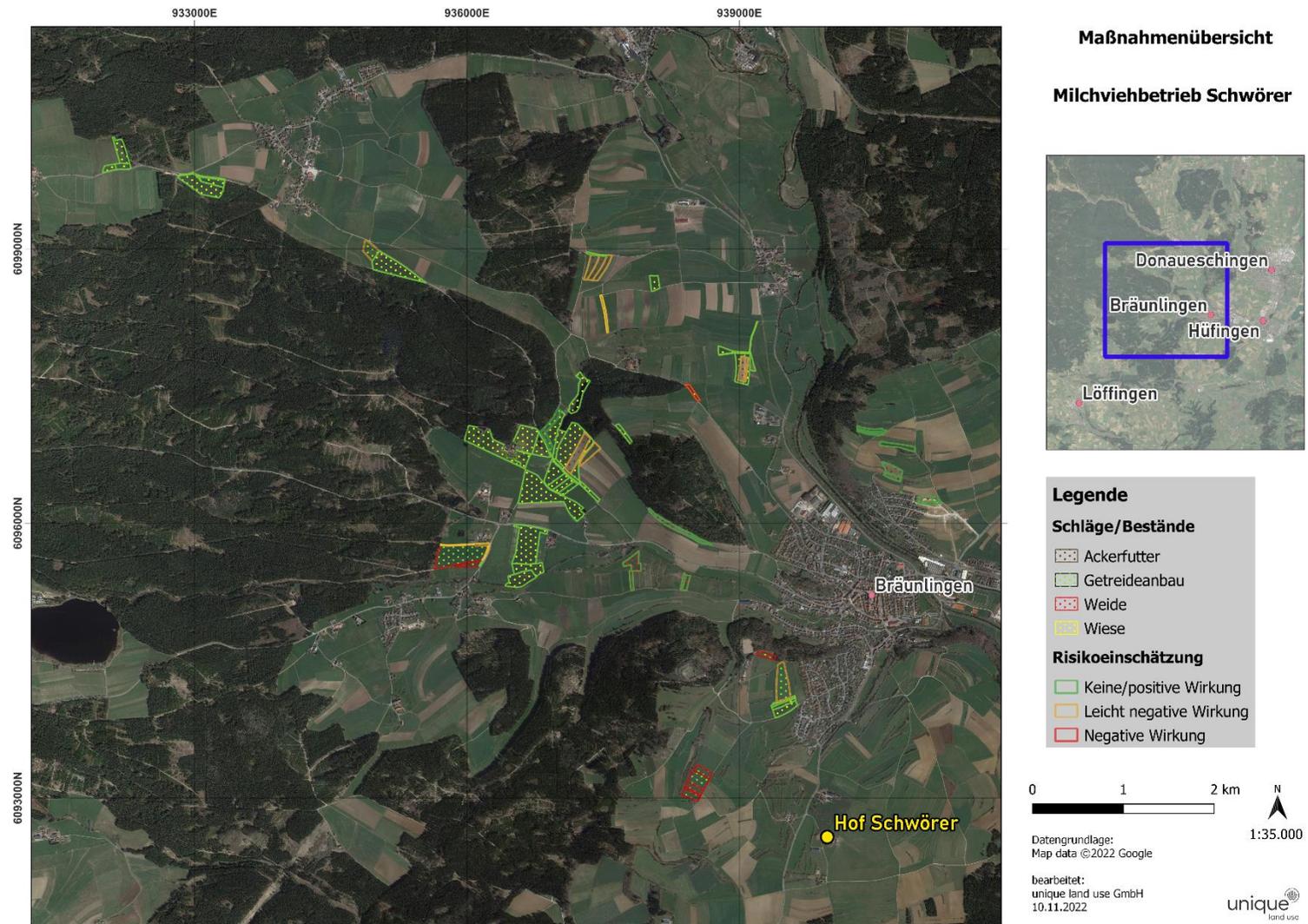


Abbildung 16: Übersicht über die geplanten Maßnahmen für den Milchviehbetrieb Schwörer, Bräunlingen

4.2.6. Obsthof Drechsle, Grenzach-Wyhlen

Betriebsprofil

Der Obsthof Drechsle liegt in Grenzach-Wyhlen auf etwa 300 Metern Höhe. Es ist ein reiner Obstbaubetrieb mit 10,5 Hektar Intensivobstanbau, wobei der größte Teil Tafelobst ist. Zum Angebot gehören folgende Obstsorten: Äpfel, Birnen, Zwetschgen/Pflaumen, Quitten, Pfirsiche sowie Kirschen und Sauerkirschen. Das Obst wird selbst vermarktet, der Großteil wird über ein Angebot zum Selbstpflücken verkauft, ein anderer Teil direkt verarbeitet (Kirschen/Sauerkirschen). Der Umfang der Produktion soll perspektivisch vergrößert werden, vor allem im Bereich des Selbstpflückens, einhergehend mit der Vergrößerung des Hofladens sowie dem Eröffnen einer hofeigenen Straße. Der Obstanbau wird konventionell betrieben, jedoch unter der Nutzung zahlreicher biologischer Verfahren, vor allem im Bereich von Nützlingen und Insektiziden.

Der Obstbau findet auf überwiegend tiefgründigen Böden mit einer Tiefe zwischen 50 und 100 cm statt. Der Großteil der Böden sind lehmige Tonböden und durch Kalkverwitterung geprägt.

- Der Klimawandel ist für den Betrieb spürbar und insbesondere ist es die zunehmende Trockenheit im letzten Jahrzehnt die den Obstbau zunehmend erschwert. Dies ist verbunden mit milderem Wintern und einer deutlich veränderten Vegetationszeit. Seit Jahren verstärkt sich die Spätfrostgefahr. Der Betrieb hat vor 10 Jahren auf den schweren und mitteltiefen bis tiefen Böden über Bewässerung nicht nachgedacht. Nun ist es das Thema. Derzeit ist die Bewässerung nur mit Wasser aus dem öffentlichen Netz möglich. Dies wird vom Betrieb als Ressourcenvergeudung und als zu teuer beurteilt.
- Spätfrostschäden entstanden früher eher sporadisch. 2017 gab es einen Totalausfall der Blüte durch Spätfrost, im Jahr 2018 Jahr wiederum einen großen Ausfall. Eine Frostberegnung war bislang nicht möglich.
- Sonnenbrand nimmt zu. Schäden entstehen an Äpfel und Zwetschgen, diese werden jetzt unter beschattenden Hagelnetzen angebaut. Künftig werden hierfür nur noch schwarze Netze mit hoher Beschattungswirkung genutzt. Eine vollständige Bedeckung aller 6,5 ha Fläche ist geplant.
- Wegen der Änderungen im Klima müssen alte, liebgewonnene Sorten ausgetauscht werden.

Der Betrieb hat somit längst begonnen, sich an den Klimawandel anzupassen:

Kompost wird bei neuen Bepflanzungen als Mulchschicht direkt ums Pflanzloch herum ausgebracht, um den Humusaufbau und damit auch die nutzbare Feldkapazität zu verbessern. Tests mit Superabsorbentstoffen direkt ins Pflanzloch und in den Gassen sind geplant.

Die vom Betrieb priorisierte Maßnahme für ein verbessertes Wassermanagement ist die Nutzung von Retentionsteichen und Zisternen, um unabhängig vom öffentlichen Netz Wasser für eine Tröpfchenbewässerung sowie eine Frostberegnung zur Verfügung zu haben. Es wurden dafür Lösungen diskutiert, die für beide Fälle Wasser aus der Landschaft durch

Retention verfügbar machen und versorgungswichtiges und teures Trinkwasser vermeiden. Folgende Kombination von Maßnahmen soll prioritär umgesetzt werden:

- Die Erneuerung und Erweiterung eines Löschteichs (Flurstück der Gemeinde) als Reservoir zur Nutzung für Tröpfchenbewässerung und Frostberegnung vorgesehen.
- Der Wasserzulauf zu diesem Teich könnte durch eine neue Dachwasserableitung in dem direkt oberhalb gelegenen Straßenzug (Feldbergstraße) erfolgen.
- Die Anlage einer zweiten Retentionsmulde in direkter Nachbarschaft unterhalb des Löschteichs direkt im Verlauf des derzeit nicht offen gelegten Baches (siehe Karte).
- Die Anlage von zwei Zisternen unterhalb der tiefst gelegenen Obstflächen im Süden der Hofflächen direkt vor dem Wald. Hier könnte das Bewässerungswasser und Regenwasser nochmals gesammelt und wiederum für die Bewässerungsaufgaben genutzt werden.

Abbildung 17 zeigt die kartografische Übersicht der geplanten Maßnahmen auf dem Obsthof Drechsle.

Die folgende Maßnahme aus dem Maßnahmenkatalog wurde vom Betrieb als vorrangig und prioritär genannt:

- **Obstbau/Sonderkulturen-3:** Anlegen von Teichen, Regen auffangen in Rückhaltebecken
 - Erneuerung und Erweiterung des Löschteichs (Gemeinde) und Anlage eines weiteren Rückhaltebeckens zur Nutzung für Tröpfchenbewässerung und ggf. Frostberegnung. Dieses Fallbeispiel wird in Kapitel 4.3.8 näher beschrieben.

Übersicht Maßnahmen

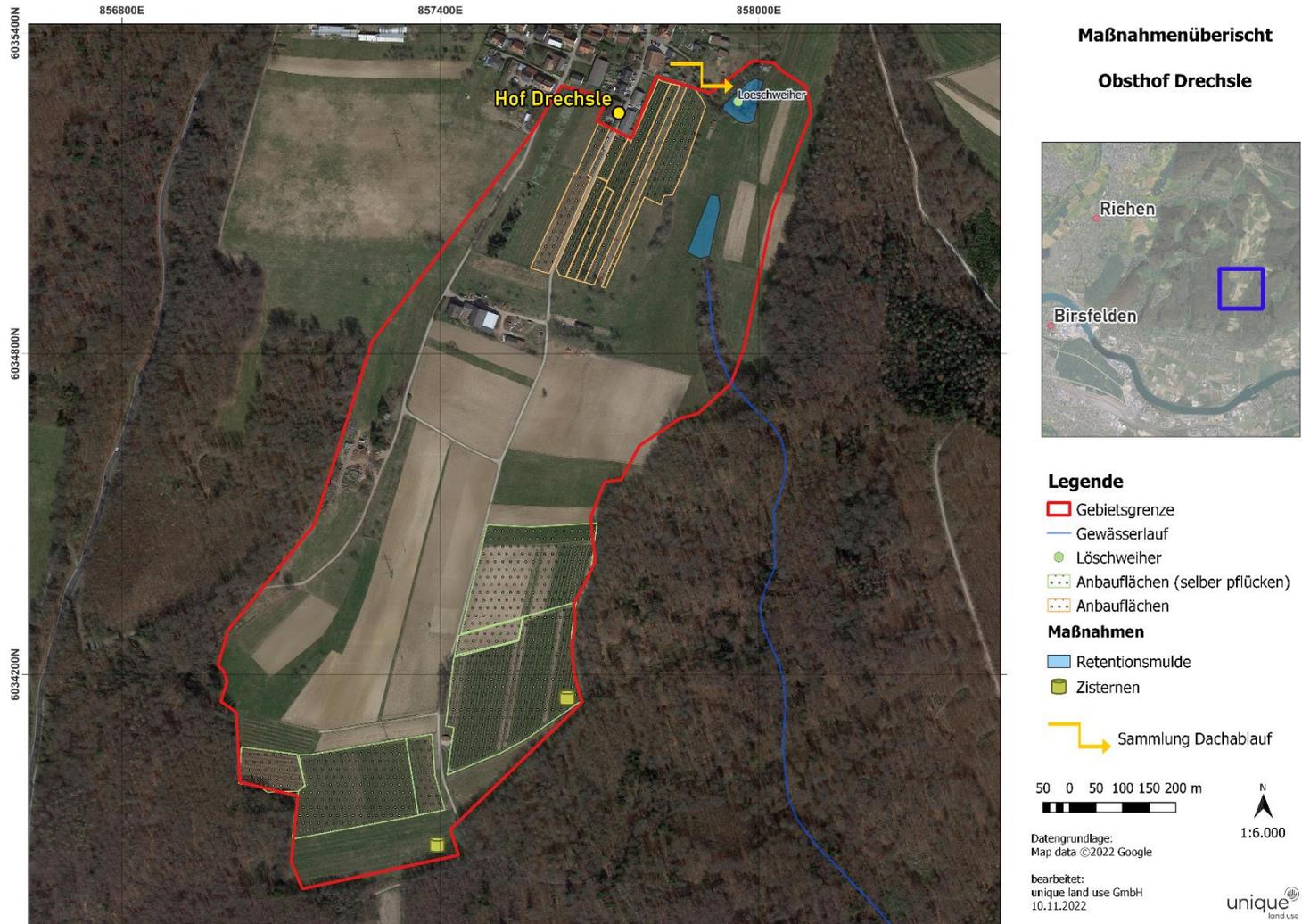


Abbildung 17: Übersicht über die geplanten Maßnahmen für den Obsthof Drechsle, Grenzach-Wyhlen

4.3. Maßnahmenkatalog – Wirkung und Umsetzung

4.3.1. Grünland

Im Folgenden werden verbessernde Maßnahmen in der Grünlandbewirtschaftung und ihre Wirkungen, z.T. als Maßnahmenbündel, beschrieben.

Arten- und Sortenwahl

Definition: Standortveränderungen aufgrund veränderter Niederschlags- und Temperaturregime führen dazu, dass sich bisher verwendete Sortenmischungen im Grünland nicht mehr im Optimum ihrer Klimahülle befinden und unter Trockenstress leiden bzw. geringere Erträge liefern. Verursacht durch hohe Temperaturen und Trockenheit kann es bei bestimmten Grassorten dann zu einer Verringerung der Blattfläche kommen, was zu einer geringeren Futterqualität führt. Daher sollte das unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten wichtige und flächenmäßig dominante *Deutsche Weidelgras (Lolium perenne)* zugunsten trockenheitsverträglicher (aber ertragsschwächerer) Sorten wie beispielsweise das *Wiesen-Lieschgras (Phleum pratense)*, *Wiesen-Schwingel (Festuca pratensis)* und *Knautgras (Dactylis glomerata)* ersetzt oder zumindest mit diesen neuen Sorten oder Mischungen ergänzt werden. Eine Mischung aus trockenresistenten, winterharten Kulturen mit gutem Futterwert, Verdaulichkeit und Eignung für Beweidung und Mahd ist anzustreben. Die Mischung aus verschiedenen Arten erhöht grundsätzlich den Bewuchs, verbessert Bodengesundheit und Struktur, und damit die Widerstandsfähigkeit gegenüber Trockenstress. Mit dem vorliegenden Gutachten sollen keine spezifischen Empfehlungen für Sortenmischungen abgegeben werden; hier müssen die Landwirtinnen und Landwirte auf bewährte Mischungen oder Empfehlungen der regionalen Fachberatungen zurückgreifen.

Wirkung: Eine Mischung aus verschiedenen Arten hat das Potenzial, während Trockenphasen durch lokale Vermehrung trockenheitstoleranter Sorten, resilient zu reagieren. Durch die höhere Hitze- und Trockentoleranz der eingebrachten Grasmischung entstehen weniger Lücken (im Vergleich zur Baseline, wo durch den Ausfall nicht hitzeresistenter Arten in der Grasnarbe Lücken entstehen), wodurch die Wind- und Wasser-Erosion reduziert wird. Die Sortenanpassung erfordert Investitionen, sichert aber Erträge in Trockenphasen. Die Änderung der Schnitthöhe und Mahdfrequenz vermindert die Erträge in niederschlagsreichen Jahren, stabilisiert jedoch die Erträge in Trockenjahren.

Wiesenmanagement, angepasste Agronomie

Definition: Neben der Wahl der geeigneten Saatmischung spielen weitere Maßnahmen des Grünlandmanagements eine wichtige Rolle. Dazu gehören Aspekte wie Mähhäufigkeit, Schnitthöhen, die Behandlung der Fläche mit Herbiziden sowie die Düngung (über Gülleausbringung und mineralische Düngung), mechanische Vorbereitung von Böden für die Nachsaaten, Häufigkeiten der Überfahrten (und die damit verbundene Verdichtung) sowie weitere Maßnahmen (Baumgürtel 2018; Elsäßer 2018). In der Diskussion mit den Bewirtschafterinnen und Bewirtschaftern der Flächen des Naturparks Südschwarzwalds

wurden aus der Vielzahl der Maßnahmen insbesondere zwei hervorgehoben: Das ist einmal die Erhöhung der Schnitthöhe und Verringerung der Schnittfrequenz. Zum anderen hilft eine angepasste Düngergabe auf den Flächen, das Futterangebot für die Weidetiere attraktiver zu machen und damit eine Verhurstung der Flächen zu verhindern. Die Frage der Düngung spielt insbesondere bei den FFH-Flächen (Bergmähwiesen und Borstgrasrasen) eine wichtige Rolle, da sich die Bewirtschaftenden hier im Konflikt zwischen einem ökonomisch notwendigen Erhalt der Produktivität der Flächen und den naturschutzfachlichen Vorgaben sehen.

Wirkung: Agronomische Maßnahmen verbessern den Bewuchs, schließen Lücken und verbessern die Widerstandsfähigkeit bei Trocken- und Hitzestress. Weniger nicht mit Gras bedeckte Flächen vermeiden eine höhere Evaporation. Eine tiefere Durchwurzelung erschließt tiefer liegende Bodenwasserspeicher und erhöht durch Wurzelporen die NFK sowie die Infiltrationsrate in der obersten Bodenzone. Eine höhere Schnitthöhe bewirkt eine stärkere Beschattung des Bodens, was die steigenden Temperaturen in der Zukunft zumindest in Teilen abschwächen kann und die Evaporation reduziert. Der Einsatz von Stickstoffdünger kann die Aufwüchse bei Nachsaaten verbessern (dabei muss eine ausreichende Wasserversorgung gegeben sein). Damit kann, wie oben beschrieben, der Anteil hitzeresistenter Sorten erhöht und ein Absterben weniger hitzetoleranter Arten bzw. ein Auflichten der Grasnarbe vermieden und eine geringere Evaporation erreicht werden. Durch die erhöhte Interzeption der größeren Blattoberfläche erreicht weniger Niederschlag den Boden, was einem raschen Oberflächenabfluss in Hanglagen entgegenwirkt. Ein dichter Bewuchs erhöht die Transpiration durch die Grasdecke und wirkt verringern auf den Bodenwasserspeicher, was durch die höhere Trockentoleranz und die erhöhte Durchwurzelungstiefe der Grasdecke kompensiert wird.

Tränkwasserversorgung auf Weiden: Zisternen

Definition: Zunehmende Schwierigkeiten bei der adäquaten Versorgung der Weidetiere im Höhengebiet des Südschwarzwalds werden wahrgenommen. Gründe dafür sind Veränderungen des Wasserhaushalts in Folge klimatischer Veränderungen und eine veraltete Infrastruktur vor Ort. Vor allem in der Weidehaltung kann durch klimatische Bedingungen (z.B. Hitzetagen) der tägliche Wasserbedarf stark schwanken. Tiergesundheit, Tierwohl, Weideverhalten sowie Betriebsökonomie stehen außerdem zunehmend im Fokus.

Regen- und Quellwasser wird in der Regel in unterirdischen Behältern (Brunnenkammern oder Zisternen) gesammelt, in einen Wasserbehälter (Tränkebecken) geleitet und somit als Tränkwasser für das Vieh zur Verfügung gestellt.

Zisternen sind in unterschiedlichen Größen (je nach Bedarf und Quellwasserertrag) und in den Materialien Beton oder Kunststoff verfügbar. Beton Zisternen werden in drei Typen hergestellt: (1) Schachtring Zisternen (zusammengesetzt aus einzelnen Schachtringen), (2) zweiteilige Zisternen (bestehend aus einem Zisternenbehälter plus konisch zulaufendem Endstück) und (3) Monolithische Zisternen (als geschlossene Einheit mit allen Anschlüssen vorbereitet). Schachtring Zisternen sind die günstigste Ausführung von Betonzisternen, während Monolithische Zisternen die teuerste Ausführung sind. Kunststoff Zisternen sind in zwei Materialien verfügbar: Polyethylen (PE) und glasfaserverstärktem Kunststoff. Kunststoff

Zisternen werden entweder als einfacher Tank, oder vormontiert mit allen Anschlüssen und Zubehör geliefert.

Wirkung: Eine Verbesserung der Wasserversorgung (z.B. durch eine Vergrößerung der Tränke, bessere Verteilung von Tränken auf der Weidefläche oder durch Beschattung mit Bäumen) trägt zum besseren Tierwohl und einer höheren Leistung (durch verbesserte Futtermittelverwertung) bei. Außerdem bietet eine optimierte Wasserversorgung auf der Fläche eine Entlastung der Landwirte und Landwirtinnen (durch reduzierte Kosten und Arbeitsoptimierung), trägt bei zu dem Erhalt schützenswerter Lebensräume, und unterstützt den Erhalt regionaler Tierproduktion (Landratsamt Lörrach 2021). Zisternen sollen die kritischen Punkte abpuffern und die Wasserversorgung auf der Weidefläche konstant bereithalten (Jilg Wasserversorgung auf der Weide; Steinberger 2010; Cornelius 2020).

Tabelle 4: Vor- und Nachteile unterschiedlicher Zisternen

Zisternenart	Vorteile	Nachteile
Beton-Zisternen	Langlebigkeit (Jahrzehnte)	Aufwändige Montage (u.a. aufgrund des Gewichtes) und dadurch hohe Montagekosten;
	Stabilität	Risiko auf Leckage bei Schachtringzisternen
	Ökologisch (regional hergestellt; recyclingfähig)	
	Gegen Auftrieb gesichert	
	Leicht erhöhten pH des Wassers	
Kunststoff-Zisternen	Leichte, kostengünstige Montage	Schlechtere Stabilität
	Sehr geringes Risiko auf Leckage	Risiko durch Auftrieb herausgedrückt zu werden
	Geringe Einbautiefe mit Flachtank möglich	Nicht alle Kunststoffe sind recyclingbar
	Kostengünstig	

Quelle: Zisterne Ratgeber <https://www.zisterne-ratgeber.de/zisternenarten/kunststoffzisterne> (2022)

Praktische Umsetzung – Fallbeispiel Hof Baur

Auf Hof Baur werden rund 46 ha als Mähwiesen zur Futterproduktion für die eigenen Tiere bewirtschaftet. Die Mähwiesen sind insbesondere auf flacheren und dem Ort Bernau nahe gelegenen Flächen des Geländes angesiedelt. Bislang sind die Mähwiesen von Deutschem Weidelgras dominiert, weshalb ein Übergang zu einer vielfältigeren und angepassten Mischung angestrebt wird. Die Arten- und Sortenwahl erfolgt unter den Aspekten der Trockenheitsresistenz und Regeneration, dem Futterwert und der Winterhärte. Die Mischung soll einen erhöhten Anteil an Arten wie *Rohrschwingel* (*Festuca arundinacea*), *Knautgras* (*Dactylis glomerata*) und *Goldhafer* (*Trisetum flavescens*) aufweisen und durch Kleearten ergänzt werden.

Die Anpassung der Bewirtschaftung umfasst das Anheben der Schnitthöhe von vier bis sechs Zentimeter auf acht bis zehn Zentimeter, eine Verschiebung des Mahdzeitpunkts um eine Woche und eine optimierte extensive Düngung, wobei besonders die Versorgung mit Kalium im Frühsommer hervorzuheben ist. Durch das spätere Mähen und den höheren Grasbewuchs werden Lücken in der Vegetation geschlossen und somit die Verdunstung des Bodens verringert. Die Schnitthäufigkeit wird bei zwei Schnitten im Jahr belassen.

Auf dem Hof Baur befinden sich aktuell sieben Zisternen, jedoch mit geringem Speichervolumen ($\sim 0,6 \text{ m}^3$). Diese sollen in Hinblick auf die zunehmende Trockenheit in den Sommermonaten erweitert werden (Vergrößerung auf $1\text{-}2 \text{ m}^3$). Darüber hinaus sollen drei weitere Zisternen gebaut werden (Abbildung 15). Die Zisternen sollen während Niederschlagspeaks der Wintermonate gefüllt werden und so für eine konstante Wasserversorgung der Mutterkühe über das ganze Jahr hinweg sorgen. Für die Erneuerung der Zisternen müssen folgende Arbeitsschritte umgesetzt werden:

1. Die alten Brunnenkammern/Zisternen werden ausgegraben und entfernt.
2. Je nach Erhaltungszustand des Wasserzulauf und -ablaufs, werden diese gereinigt oder (teilweise) entfernt und ersetzt. Dazu werden Gräben ausgehoben und die vorhandenen Zu- und Abläufe entfernt.
3. Ausheben der Grube: als Grundregel gilt, die Baugrube ca. 10 cm tiefer als die Höhe der Zisterne, und ca. 30 cm breiter als die Zisterne auszugraben. Dies erleichtert den Einbau der Zisterne. Außerdem soll das Erdreich rundum die Zisterne stabilisiert werden.
4. Der Boden der Grube soll mit einem Erdstampfer geplättet und danach mit Kies aufgefüllt und begradigt werden.
5. Einbauen der Zisterne:
 - Kunststoff-Zisternen sollen mit Wasser aufgefüllt werden, bevor das Erdreich aufgefüllt werden kann. Nach schrittweiser Befüllung der Zisterne mit Wasser soll die Baugrube mit Kies aufgefüllt werden. Nur der oberste Teil soll aus Erdreich bestehen.
 - Beton Zisternen werden, je nach Typ (Schachtring, zweiteilig oder Monolithisch) platziert, aufgebaut und abgedichtet.
6. Wasserzulauf und -ablauf werden angeschlossen.

Investitionen und Kosten-Wirksamkeitsanalyse

Die Nachsaat soll streifenweise über mehrere Jahre hinweg stattfinden. Es sind Investitionen für Erneuerung oder Neubau der Zisternen notwendig. Hinzu kommen regelmäßige Wartungskosten. Der Wasserverbrauch von Rindern liegt zwischen 20 und 150 Litern pro Tag und Tier. Daher sind Anzahl und somit Kosten abhängig von der Weidebewirtschaftung und Besatzdichte. Die Tränken sollten innerhalb von 100 bis 150m für die Tiere erreichbar sein und 150 m Abstand zum Rand der Weide haben. Die optimale Tränke ist eine 90-Liter Mörtelwanne mit einem Radius von 65 cm und einem Wasserspiegel von 30 cm.

Tabelle 5 gibt einen Überblick über anfallende Kosten und Investitionen für die geplanten Maßnahmen im Grünland auf Hof Baur.

Tabelle 5: Übersichtstabelle Kosten Nachsaat und Zisterne mit Tränke

Maßnahme	Kosten pro Hektar	Gesamtkosten
Nachsaat	128 €/ha-Saatgutstärke 32 kg	128 €/ha * 24 ha = 3.072 €
Zisterne		Neubau 6 m ³ Zisterne (Polyethylen): 1.400 €
Tränke		450 € mit Nutzungsdauer von ~ 15 Jahren

Rechtliche Grundlagen

Bei der Umsetzung der Maßnahmen ist zu beachten, dass einige Bereiche der Hoffläche FFH-Gebiete sind. Deshalb ist die Nachsaat nur mit zertifiziertem Wildpflanzen-Saatgut möglich und erfordert eine Abstimmung mit der Unteren Naturschutzbehörde (LAZBW, 2018). Dies schränkt die Möglichkeiten einer Anpassung der Arten- und Sortenzusammensetzung ein, da die FFH-Richtlinie den ursprünglichen guten Erhaltungszustand vorgibt. Dieser Zielbestand begrenzt auch die Möglichkeiten bei der Bewirtschaftung ein, da etwa das verstärkte Ausbringen von Stickstoff-Dünger das Konkurrenzverhältnis im Grünland verschieben würde.

Da Zisternen als baulicher Eingriff in den Naturhaushalt gelten, sind sie baurechtlich und naturschutzrechtlich zu prüfen. Zudem muss der Neubau von Zisternen bei der unteren Wasserbehörde gemeldet werden.

Praktische Umsetzung - Fallbeispiel Hof Schwörer

Wasser ist der wichtigste Nährstoff in der Milchviehhaltung. Der Wasserbedarf von Rindern ist von Umgebungstemperatur, (Milch)Leistung, Futteraufnahme, Trockenmasse des Futters und Lebendmasse abhängig. Der Wasserbedarf kann dementsprechend zwischen ca. 50 und 200 Litern pro Kuh und Tag (Glatz 2022) variieren. Zusätzlich wird in der Milchviehhaltung Wasser für die Reinigung des Melkstandes oder des Milchroboters verbraucht. Für den Melkstand werden durchschnittlich 10 bis 36 Liter pro Kuh und Tag verbraucht, während ein Milchroboter (je nach Marke und Typ) 20 bis 57 Liter pro Kuh und Tag benötigt (Frijlink und Pikkart 2019). Insgesamt ist der Wasserverbrauch in der Milchviehhaltung daher hoch und es werden dringend Lösungsansätze für einen reduzierten Trinkwasserkonsum gesucht. Regenwassernutzung durch Aufbereitung könnte den Verbrauch von Grund- und Leitungswasser erheblich reduzieren.

Regenwasser wird in der (Rind)Viehhaltung meistens über Dachflächen gesammelt und in Speicherbecken, Zisternen oder anderen Speichermöglichkeiten (zum Beispiel alte Güllegruben) gespeichert. Von der Dachfläche bis zur Speichermöglichkeit können Blätter, Vogelkot oder Staub ins Wasser gelangen und es so verunreinigen. Durch eine Regenwasseraufbereitung wird das Wasser von groben sowie biologischen (Viren, Bakterien) Verunreinigungen befreit.

Die Aufbereitung von Regenwasser erfolgt normalerweise über mehrere Stufen; in Komplettanlagen werden meist verschiedene Verfahren kombiniert. Unterschieden nach Funktionsweisen gibt es mechanische/physikalische Verfahren (Reinigung mittels Filter, Membran), biologische Verfahren (Reinigung mittels Osmosefilter) und chemische Verfahren. Für die Aufbereitung von Regenwasser zur Nutzung in der Tierhaltung werden von einigen

Anbietern Komplettanlagen angeboten: je nach Verunreinigung des Regenwassers wird eine geeignete Aufbereitungsanlage angeboten. Schwebende Schmutzteilchen werden mittels eines Filters entfernt. Gerüche oder Verfärbungen sowie Mineralstoffe werden durch Belüftungsanlagen, Filtersysteme oder Aktivkohle entfernt. Um keimfreies Wasser mit Trinkwasserqualität zu erhalten, wird in der Regel eine UV-Lampe eingesetzt. Je nach Verunreinigung und Nutzung des Regenwassers, erfolgt die Aufbereitung daher über ein bis fünf Schritte (Total Water Care 2022; Wasserzisterne 2022).

Von drei Gebäuden kann auf 2.100 m² Dachfläche Regenwasser gesammelt werden. Zurzeit wird dieses Regenwasser nach Bedarf zur Verdünnung der Gülle in die Güllegrube eingeleitet. Eine Speichermöglichkeit zur Aufbereitung und Nutzung als Tränkewasser gibt es noch nicht. Eine Herausforderung wird sein, das Regenwasser entweder zentral oder dezentral zu speichern. Eine zentrale Speicherung würde erhebliche Erdarbeiten und daher einen hohen Kostenaufwand mit sich bringen.

Ausschließlich für die Landwirtschaft lag der Wasserkonsum 2021 bei 3.412 m³ zu 2,92 €/m³ Netto; Abwassergebühren fallen nicht an. Die Jahresniederschlagsmenge beträgt ~ 730 mm. Vom Regenwasserertrag (Dachfläche in m² x Jahresniederschlagsmenge) wird als Faustregel 5% Speichervolumen gerechnet. Für den Hof Schwörer würde dies ein Speichervolumen (Zisterne) von 76 m³ bedeuten.

Investitionen und Kosten-Wirksamkeitsanalyse

Die Hauptinvestition der Regenwasseraufbereitung liegt – außer möglichen Erdarbeiten inkl. Rohren verlegen – in der Zisterne. Ein Erdtank inkl. Filter für 40 m³ kostet ~22.000 Euro. Dazu kommen Investitionen für einen Frischwassertank und die Tränkewasseranlage für 10 m³ pro Tag. Als Alternative wird ein einfacheres und günstigeres System angeboten (Tabelle 6).

Tabelle 6: Übersichtstabelle Kosten der Regenwasseraufbereitung

Option 1	Investition [€]
1x 40 m ³ Tank Erdtank inkl. Filter	22.000
2x 2000l Tank Frischwasserbevorratung	2.500
Trinkwasseranlage für 10m ³ pro Tag	18.000
Gesamtsumme	42.500
Option 2	
1x 40 m ³ Tank Erdtank inkl. Filter	22.000
Hochwertiger Vorfilter	2.000
Hauswasserwerk mit Zubehör	2.000
Patronenfilter	1.500
UV-Lampe	500
Gesamtsumme	28.000

Quelle: Wasserzisterne.de; Christoph Hein (persönlicher Kontakt Februar 2022)

Die Kostenwirksamkeit wird über das Einsparpotenzial pro Jahr berechnet. Das Einsparpotenzial pro Jahr ergibt sich aus der Regenwassermenge (Dachfläche x Jahresniederschlag) und Frischwasserkosten pro m³. Auf dem Hof Schwörer ergibt sich hiermit ein Einsparpotenzial pro Jahr von 4.476 Euro. Die Amortisationszeit für die Gesamtanlage beträgt 9,5 Jahren, für die Alternative, einfachere Aufbereitungsanlage 6,3 Jahre⁶.

Rechtliche Grundlagen

Die Verordnung (EG) Nr. 178/2002 des Europäischen Parlamentes und Rates (2002; sogenannte Basisverordnung) beinhaltet die Rahmenbedingungen zur Gewährleistung der Futtermittelsicherheit. Außerdem gilt für Tränkewasser die Futtermittelhygiene-Verordnung. Tränkewasser zählt zu einer der wichtigsten Komponenten der Tierfütterung. Laut Verordnung soll Tränkewasser „so beschaffen sein, dass es für die betreffenden Tiere geeignet ist“ (Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg 2008). Nur wenn der Verdacht besteht, dass „das Wasser nicht geeignet ist, muss der Landwirt das Wasser untersuchen lassen“.

Im Gegensatz zum Trinkwasser, gibt es für Tränkewasser keine detaillierten rechtlichen Anforderungen. Empfehlungen zur Beurteilung der chemischen und physikalisch-chemischen Tränkewasserqualität sind jedoch auf der Webseite des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft einzusehen (BMEL 2019).

Die Nutzung von Regenwasser wird – aus Interesse des Wasser- und Bodenschutzes – grundsätzlich von den Behörden unterstützt (siehe z.B. die Regenwasserbroschüre vom Landratsamt Schwarzwald Baar Kreis 2016). Falls die Nutzung des Regenwassers jedoch zu gesundheitlichen Risiken führen könnte, muss dem Gesundheitsamt die Inbetriebnahme der Regenwasseranlage oder auch eine Änderung an der Anlage gemeldet werden. Dies gilt auch für die Inbetriebnahme zur Nutzung als Tränkewasser, da das Tränkewasser der Lebensmittelproduktion dient. Außerdem muss bei einer Regenwassernutzungsanlage verhindert werden, dass es eine Verbindung zum Trinkwassernetz gibt, über die das Trinkwasser verunreinigt werden könnte. Da bei der Wasserversorgung im Regelfall ein Anschluss- und Benutzungszwang der Gemeinde gilt, muss auch der Wasserversorger informiert werden.

Zwischenfazit Grünland

In der Grassortenwahl liegt eine zentrale Anpassungsmaßnahme (Adaption), die Landwirtinnen und Landwirte ergreifen können, ohne größere Investition oder die Umstellung des Bewirtschaftungsregimes vornehmen zu müssen. Auch die Maßnahmen erhöhte Schnitthöhe und verlängerte Mahdabstände sollen den wahrscheinlich eintretenden Schäden verursacht durch Hitze und Trockenheit entgegenwirken. Auch sie stellen wichtige Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel dar (Adaption). Die hydrologisch ermittelten „negativen Effekte“, also erhöhte Interzeption und Transpiration, ergeben sich aus dem Ziel, eine geschlossene, assimilierende Grasnarbe zu erhalten. Zudem werden Biodiversität

⁶ Erdarbeiten und Investitionen für die Verlegung von Rohren, wurden in dieser Berechnung nicht berücksichtigt.

durch stärkere Vielfalt und Mischung auf den Flächen sowie der Kohlenstoffspeicher durch einen erhöhten Humusaufbau vergrößert.

Der Bau oder die Erweiterung von Zisternen stellt eine gute Anpassungsmaßnahme an die sich verlängernden Trockenperioden in den Sommermonaten dar und kann die Wasserversorgung der Tiere auf den Weideflächen deutlich verlängern. Zu beachten sind jedoch Investitionen bei der Anlage sowie Kosten bei der Wartung der Bauten, die regelmäßig anfallen. Bezogen auf die Hoffläche haben die Zisternen keinen Einfluss auf den Gesamtwasserhaushalt, sondern dienen nur kleinflächig als Tränke-Einheiten.

Eine effiziente Nutzung des Regenwassers durch das Auffangen von den Dächern und Sammeln in Zisternen, stellt eine kostengünstige und effektive Maßnahme zur zusätzlichen Wasserspeicherung in der Landschaft dar. Gerade in der Milchviehhaltung ist eine ausreichende Wasserversorgung, gerade während der Trockenperioden, essenziell, um die Tiere zu versorgen und so eine ausreichende Menge an Milch zu produzieren.

4.3.2. Ackerbau

Konservierende Landwirtschaft (Mulch/Direktsaat)

Definition: Die Maßnahme zur Verbesserung des Wassermanagements in der Landschaft beinhaltet eine bodenkonservierende Landwirtschaft. Hierunter fällt eine Vielzahl unterschiedlicher Aktivitäten wie z.B. die Mulchsaat, die Direktsaat, eine Streifenbearbeitung sowie die Nutzung von Vor- und Zwischenfrüchten.

Wirkung: Die Herausforderung dieser Maßnahme besteht darin, in der Reihenkultur eine durchgehend gute Bodenstruktur und Bodenbedeckung zu behalten, um Erosion zu verhindern. Dies kann mit Zwischenfrüchten, mit Kalkgaben, die eine gute Bodenstruktur fördern oder durch schonende Bodenbearbeitung gelingen. Dadurch kann die Nährstoffumsetzung angeregt und die Wasserinfiltration verbessert werden (Schmidt 2019; Ökolandbau.de 2020; Vandr  2020).

Trockenresistente Kulturen

Definition: Es sollen hitze- und trockenresistente Kulturen angebaut werden, die dementsprechend eine hohe „Wassernutzungseffizienz“ aufweisen.

Wirkung: Der Anbau von hitze- und trockenresistenten Kulturen (z.B. Sorghum und Hirse) ermöglicht einen guten Ertrag, auch wenn weniger Wasser vorhanden ist. Auch sind für bestimmte Kulturen, Sorten vorhanden, die besser mit Wassermangel zurechtkommen (z. B. durch eine schnelle und gute Wurzelbildung). Außerdem können Kulturen, die früh ausreifen, die Winterfeuchte besser ausnutzen und vor einer möglichen Sommertrockenheit den Ertrag sichern (z.B. Anbau von Wintergerste statt Winterweizen) (Flaig 2013; Wiedenau 2020).

Praktische Umsetzung: Fallbeispiel - Geflügelhof Kaiser

Eine ausreichende Wasserversorgung während der Vegetationsperiode ist essenziell für sichere und qualitativ hochwertige Erträge. Der konservierenden Bodenbearbeitung, wie zum Beispiel Mulch- und Direktsaat, wird zugeschrieben, dass gerade in Trockenperioden den Kulturpflanzen mehr Bodenwasser zur Verfügung steht als beim Pflügen. Mulchsaat bedeutet eine Einsaat der Hauptfrucht in die Erntereste der Vorfrucht, der Zwischenfrucht oder der Untersaat, wobei diese mindestens 30 Prozent des Bodens bedecken muss. Eine Bodenbearbeitung kann in einer Tiefe zwischen 5 - 25 cm stattfinden. Erfolgt keine Bodenbearbeitung, handelt es sich um Direktsaat. Hierbei wird das Saatgut direkt in den unbearbeiteten Acker ausgebracht. Beide Methoden sind nichtwendende Verfahren, d.h. ohne Verwendung eines Pflugs. Der Unterschied liegt vor allem in der Bodenbearbeitung (bei der Direktsaat keine).

Auf dem Hof Kaiser werden aktuell rund 27 Hektar Ackerland konventionell bewirtschaftet (Abbildung 13). Der konventionelle Anbau von Mais, Linsen, Raps und Leindotter, der durch eine Aussaat in Reihen auf unbedeckten und durch Bodenbearbeitung vorbereiteten Flächen stattfindet, soll durch das Mulchsaatverfahren ersetzt werden. Im aktuellen Verfahren werden Erntereste der Zwischen- oder Vorfrucht in den Boden eingearbeitet, es verbleibt jedoch keine Bodenbedeckung durch die Erntereste. Dies soll verändert werden, in dem die Einsaat in die Erntereste der Vorfrucht, der Zwischenfrucht oder der Untersaat erfolgt. Der Boden bleibt dabei mit 30 bis 70 % der Erntereste bedeckt. Die Bodenbearbeitung soll so gering wie möglich gehalten werden, unabhängig von Frucht, Boden und Witterung sollte sie eine Tiefe von 3-15 cm nicht überschreiten. Zusätzlich sollen vermehrt Zwischenfrüchte angebaut sowie ein biologischer an Stelle des konventionellen Pflanzenschutzes angewendet werden.

Investitionen und Kosten-Wirksamkeitsanalyse

Die folgende Tabelle (Tabelle 7) stellt einen Kostenvergleich der Bodenbearbeitung mit und ohne Pflug dar. Dabei steht das Mulchsaatverfahren, das den konventionellen Ackerbau auf dem Hof Kaiser ersetzen soll, repräsentativ für eine pfluglose Bodenbearbeitung. Aus der Tabelle geht hervor, dass eine pfluglose Bodenbearbeitung nicht nur bodenschonend ist und die Wasserspeicherung im Boden fördert, sondern auch zu einer Kostensparnis beiträgt.

Tabelle 7: Kosten Bodenbearbeitung mit und ohne Pflug/ Mulchsaatverfahren⁷

	Pflugbearbeitung	Pfluglose Bearbeitung/ Mulchsaat
Kraftstoff	24 l Diesel/ha → 48 €/ha	Ersparnis von 10 l Diesel/ha: 14 l Diesel/ha → 28 €/ha
Reparatur- und Verschleißkosten der Maschinen	29 €/ha	8 €/ha bis 43 €/ha (z. B. für mulchsaatfähige Sämaschinen)
Arbeitskosten	120 €/ha	Einführungskosten: 11 €/ha bis 19 €/ha
Summe	197 €/ha	68,50 €/ha

⁷ Quelle : <https://www.lko.at/kostenvergleich-pflug-pfluglos+2400+2546775>

Rechtliche Grundlagen

Für beide Formen der hier aufgeführten Maßnahmen (Konservierende Landwirtschaft sowie Einbringung von trockenresistenten Kulturen) gibt es eine relativ große Anzahl an Möglichkeiten zur Umsetzung. Daher muss fallweise geprüft werden, welche rechtlichen Grundlagen bzw. Möglichkeiten zur Förderung bestehen. Zum ersten Teil der Maßnahme, könnte z.B. die Fördermaßnahme Agrarumwelt, Klimaschutz und Tierwohl (FAKT) eine Rolle spielen. Hierunter sind beispielsweise im Teil Gewässerschutz die Freiwilligen Maßnahmen zum Gewässer- und Erosionsschutz (Teil F) aufgeführt, je nach Fall könnte hier die reduzierte Bodenbearbeitung mit Strip Till in Betracht gezogen werden (FAKT 2022). Hinzu kommen eventuelle Möglichkeiten im Rahmen der einzelbetrieblichen Förderung für kleinlandwirtschaftliche Betriebe (IkIB) zur Unterstützung beim Kauf von neuen Hangspezialmaschinen, wenn die Veränderung der Bewirtschaftung dies erfordert (Förderung IkIB 2022).

Für die Einbringung trockenresistenter Kulturen könnten andere Fördermittel nach weiterer Prüfung beansprucht werden. Hier könnten Mittel aus der Marktstrukturförderung zum ökologischen Landbau z.B. die Einführung von umweltschonenden landwirtschaftlichen Produktionsmethoden und deren Beibehaltung eine Rolle spielen (Stärkung des ökologischen Landbaus 2020). Außerdem könnte die „Greening-Prämie“ einen Fördertatbestand darstellen, denn hier sind die dem Klima- und Umweltschutz förderlichen Landbewirtschaftungsmethoden einzuhalten (Greening-Anforderungen). Im speziellen würde dies auf die Greening-Anforderung der Anbaudiversifizierung zutreffen (Direktzahlungen 2022).

Zwischenfazit Ackerbau

Für den ersten Teil der bodenkonservierenden Bearbeitung durch Mulchsaatverfahren, im Idealfall mit Direktsaat oder nur oberflächlicher Bearbeitung, kann die Infiltration durch Entwicklung von weniger stark gestörtem Boden, ein stabilisiertes Bodengefüge sowie eine bessere Bodenstruktur um bis zu ca. 40 % erhöht werden. Der Wasserspeicher kann ebenso durch eine geringere Verdichtung und weniger Pflugsohle verbessert werden. Der Humusgehalt der Böden steigt an und erhöht so ebenfalls die nutzbare Feldkapazität. Im Gegensatz dazu steigen die Interzeption und Transpiration, da ständig eine Pflanzendecke vorhanden ist. Die Kosten können hier steigen, da gegebenenfalls Spezialmaschinen erworben werden (z.T. durch Förderung abzudecken) sowie ein erhöhter Aufwand durch mechanischen Pflanzenschutz sowie Mulchen entsteht.

Der zweite Teil der Maßnahme hat zum Ziel, den Anbau von hitze- und trockenresistenten Kulturen mit einer verbesserten Wassernutzungseffizienz, sowie einer besseren Hitzetoleranz zu erhöhen. Dies wirkt sich durch eine tiefere Bewurzelung der Pflanzen und somit erhöhte Wassereffizienz, leicht verbessernd auf die Infiltration aus. Der Wasserspeicher kann erhöht werden, da die Bewurzelung positiv zum Porenvolumen und damit zur NFK beiträgt. Die Transpiration kann sich fallweise verändern, da sich die Wassereffizienz der Pflanze, durch weniger Entzug durch Pflanzenwurzeln, erhöht. Dies kommt jedoch auf Pflanzendichte und Agronomie an. Der Ertrag kann durch die unterschiedliche Bewurzelung und Fähigkeit der Pflanzen mit Trockenheit umzugehen vor allem unter Extremsituationen erhalten und somit im Mittel leicht erhöht werden. Dies spiegelt sich auch durch die bessere Fähigkeit der

Pflanze mit Trockenstress umzugehen wider, was ein verringertes Risiko für z.B. Notreife bedeutet. Je nach Umstellung der Arten sind möglicherweise andere Maschinen notwendig, wodurch zu Beginn der Umsetzung die Kosten steigen können.

4.3.3. Agroforstsysteme

Agroforst-Systeme zeichnen sich durch Landnutzungspraktiken aus, die die Nutzung holziger, mehrjähriger Kulturpflanzen, z.B. Sträucher oder Bäume, auf der gleichen Fläche mit der Nutzung landwirtschaftlicher Kulturen oder Tieren kombinieren. Dabei gibt es verschiedene räumliche sowie zeitliche Kombinationen, in denen die verschiedenen Kulturen oder auch Tiere genutzt und gehalten werden (Lundgren & Raintree 1982). Es kann nach zwei übergreifenden Systemen unterschieden werden, silvoarable und silvopastorale Systeme. Silvoarable Systeme kombinieren Gehölzkulturen bzw. eine forstliche Nutzung mit Ackerbau. Silvopastorale Systeme kombinieren Gehölzkulturen bzw. eine forstliche Nutzung mit Grünland oder Viehhaltung (BMU 2019).

Auswirkungen des voranschreitenden Klimawandels führen dazu, dass reine Weideflächen unter länger anhaltenden Trockenperioden einhergehend mit einigen wenigen Starkregeneignissen stark unter Trockenstress leiden. Agroforstsysteme dagegen können länger anhaltende Trockenperioden besser überstehen und gleichzeitig die umliegenden Kulturen im Wachstum fördern. Das liegt unter anderem daran, dass das Mikroklima auf den Feldern durch den Schutz der Bäume und Heckenstreifen verbessert und gleichzeitig durch Wind- und Sonnenschutz die Evapotranspiration verringert wird. Dadurch bleibt der Wasserspeicher im Boden länger gefüllt. Die tiefer-wurzelnden Gehölze fungieren zudem als Wasser- und Nährstoffpumpe und schützen den Boden vor Erosion (Bundesinformationszentrum Landwirtschaft 2022, Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft 2017).

Im Folgenden werden zwei für den Südschwarzwald typische agroforstliche Maßnahmen – Baumbestockung und Heckenstreifen – vorgestellt, die sich zur Umsetzung auf den ausgewählten Betrieben im Südschwarzwald anbieten.

Baumbestockung

Definition: Agroforst-Baumbestockungen sind eine Landnutzungsform, bei der Gehölze in Kombination mit landwirtschaftlichen oder gärtnerischen Kulturen und / oder mit der Haltung von Nutztieren angebaut werden.

Die Agroforst Baumbestockung kann zu unterschiedlichen Mischungsanteilen aus Sträuchern, Laub- und Nadelhölzern bestehen. Bei der Wahl der Baumarten muss darauf geachtet werden, dass die Gehölze mit dem Wachstum der jeweiligen landwirtschaftlichen Kultur vereinbar sind. Im Zusammenhang mit Wiesen und Weidefläche geht es hier vor allem um den Wasserverbrauch. Um einer Konkurrenzwirkung vorzubeugen, sollten die gewählten Baumarten eine hohe Wassereffizienz aufweisen und auf den angedachten Standorten tiefwurzelnd sein. So wird sichergestellt, dass sie der Weidelandschaft nicht zusätzlich Wasser entziehen, sondern durch eine tiefe Durchwurzelung unterhalb der Grasdecke zusätzliches Bodenwasser erschließen und die Produktionsrisiken in Trocken-

situationen entspannen (Assmann & Oelke 2010; Deutscher Fachverband für Agroforstwirtschaft 2021).

Wirkung: Durch die tiefere Durchwurzelung der Gehölze erhöht sich das „produktive“ pflanzenverfügbare Wasservolumen im Boden und verbessert die Infiltrationskapazität. Außerdem können tieferliegende Nährstoffvorräte erschlossen werden. Ein verstärkter Laubeintrag und die tiefere Durchwurzelung verbessern die Humusform und damit die Infiltrationskapazität und NFK, was ebenfalls zu geringerem Oberflächenabfluss und erhöhtem Bodenwasserspeicher beiträgt. Die Weidequalität kann sich in direkter Nähe zu Gehölzen durch Beschattung, Wurzelausschläge oder das Ansamen von Baum- und Strauchvegetation verschlechtern. Ebenso reduziert die Baumbestockung - ob über der Fläche verteilt oder in Form von Hecken - die Windgeschwindigkeit und vermindert so die Evapotranspiration. Auf die gesamte Fläche bezogen jedoch, erhöht sich die Produktivität und Trockenheitsresistenz des Grünlands. Die Agroforst-Gehölze erhöhen allerdings die Interzeption sowie die Transpiration gegenüber Wiesen-, Weiden- oder Ackerland. Die Gehölze erschließen jedoch tiefere Bodenschichten und versorgen sich aus einem größeren Wasserspeicher. Außerdem bilden sie einen Schneefang und sichern die Wasserversorgung bis ins Frühjahr hinein.

Heckeneinsatz auf landwirtschaftlichen Flächen

Definition: Es werden hangparallele und an Konturlinien orientierte Hecken aus Bäumen, Baumgruppen und Sträuchern angelegt. Oft können diese an der oberen Wegböschung von landwirtschaftlichen Wegen angeordnet werden.

Wirkung: Die Zusatznutzen durch Holz (Kiefer, Lärche, Eiche, Erle, Ahorn) und eventuell Früchte (Nussbäume, Obstbäume) ist bei effizienter Anordnung in Streifen oder als sehr weitständige Bestockung höher als der kleinräumige Ertragsverlust, der auf Grund der verringerten Weide-, Wiesen- oder Ackerfläche entstehen kann. Hangparallele Heckenelemente und kleine Terrassen unterbrechen den Hangwasserfluss und führen zu einer besseren Wasserverteilung über den Hang. Zudem erhöht die tiefere Durchwurzelung der Gehölze das „produktive“ pflanzenverfügbare Wasservolumen im Boden und verbessert die Infiltrationskapazität. Außerdem können tieferliegende Nährstoffvorräte erschlossen werden. Ein verstärkter Laubeintrag und die tiefere Durchwurzelung verbessern die Humusform und damit die Infiltrationskapazität und NFK, was ebenfalls zu geringerem Oberflächenabfluss und erhöhtem Bodenwasserspeicher beiträgt. Die Weidequalität kann sich in direkter Nähe zu Gehölzen durch Beschattung, Wurzelausschläge oder dem Ansamen von Baum- und Strauchvegetation verschlechtern. Auf die gesamte Fläche bezogen erhöht sich die Produktivität und Trockenheitsresistenz des Grünlands.

Praktische Umsetzung – Fallbeispiel Hof Baur

Die Agroforstgruppen (Baumgruppen) sollen auf etwa 10 % der aktuell rund 80 Hektar großen Weidefläche auf flachgründigen Stellen gepflanzt werden (Abbildung 15). Die Baumgruppen sollen in lockerer bis geklumpter Bestockung in unterschiedlicher Dichte auf Kuppen, steilen Hangpartien sowie trockenen Felsen gepflanzt werden. Sie sollen sich aus einer

Mischung aus Strauch, Laub- und Nadelgehölzen in verschiedenen Altersstufen zusammensetzen. Auf Flächen mit Spät- und Frühfrostgefahr sollten Arten gepflanzt werden, die möglichst unempfindlich darauf reagieren, wie zum Beispiel Bergahorn und Speierling (Bender et al. 2009). Für den Hof Baur bieten sich folgende Baumarten an: Kiefer, Lärche, Vogelkirsche, Buche und Birke. In der Naturverjüngung kann zudem Fichte, Vogelbeere und Birke dazukommen. Nach der Bodenvorbereitung soll eine 20%ige Initialpflanzung mit Auszäunung und Einzelschutz durchgeführt werden.

Auf 5 % der Weidefläche sollen Heckenstreifen angelegt werden. Die Gehölzriegel sollen gezielt hangparallel, entlang von Bachläufen und zusammen mit Wiesengraben angeordnet werden. Ein Teil der Heckenstreifen führt zudem durch Mähwiesen (Abbildung 15). Die Gehölzstreifen sollen sich in ihrem Zielzustand wie folgt zusammensetzen: 30 % Gebüsch, 35 % Nadelbäume sowie 35 % Laubbäume. Sie sollen hangparallel angeordnet werden, um den Oberflächenabfluss an den Hängen zu unterbrechen und das übrige abfließende Wasser breiter über den Hang verteilen zu können. Neben der Naturverjüngung von Fichte, Vogelbeere und Birke, sollen Straucharten, Kiefer, Mehlbeere, Weide, Ahorn, Lärche und verschiedene Obstbaumarten gepflanzt werden. Nach der Bodenvorbereitung soll eine 20%ige Initialpflanzung mit Auszäunung und Einzelschutz durchgeführt werden. Diese kann mit einem Lochbohrer vom Weg aus oder per Hand stattfinden.

Investitionen und Kosten-Wirksamkeitsanalyse

Tabelle 8 stellt eine Übersicht der anfallenden Kosten zur Pflanzung der Heckenstreifen sowie der Baumgruppen dar. Die beiden Maßnahmen unterscheiden sich in ihren Kosten je Hektar nur marginal. Bei den Baumgruppen steht nach 10 bis 15 Jahren zusätzlich eine Stammzahlreduktion sowie Mischungsregulierung an. Die Nutzung beginnt nach etwa 20 bis 30 Jahren. Auch die Heckenstreifen müssen kontrolliert und nachgepflanzt sowie nach 15 Jahren geschnitten werden. Dies führt zu weiteren Kosten.

Tabelle 8: Übersichtstabelle Kosten Agroforstbaumgruppen und Hecken

	Agroforstbaumgruppe	Heckenstreifen
Kulturvorbereitung	400 €/ha	400 €/ha
Pflanzenkosten: Initialpflanzung von 20 %	2.000 Pflanzen/ha * 0,2 = 400 Pflanzen/ha 400 Pflanzen/ha * 1,65 €/Pflanze = 660 €/ha	2.000 Pflanzen/ha * 0,2 = 400 Pflanzen/ha 400 Pflanzen/ha * 1,25 €/Pflanze = 500 €/ha
Pflanzungskosten	0,9 €/Pflanze * 400 Pflanzen = 360 €	0,9 €/Pflanze * 400 Pflanzen = 360 €
Einzelschutz aus Holz	1€/Stk. * 400 Stk. = 400€	1€/Stk. * 400 Stk. = 400€
2 Jahre Jungwuchspflege	15 h/a * 25 € * 2 a = 750 €	15 h/a * 25 € * 2 a = 750 €
Gesamtsumme	2.570 €/ha	2.410 €/ha

Rechtliche Grundlagen

Aufgrund von FFH-Flächen kann es zu Einschränkungen bei der Umsetzung der Agroforst-Maßnahmen kommen. Die Artenzusammensetzung ist durch den ursprünglichen guten Erhaltungszustand der FFH-Richtlinie geschützt. Für das Pflanzen von Heckenstreifen sind auf FFH-Mähwiese keine rechtlichen Einschränkungen vorhanden. Zudem sind sie als ökologische Vorrangflächen beihilfefähig.

Zwischenfazit Agroforstsysteme

Das Einbringen von agroforstlichen Gehölzen in Form der beiden beschriebenen Maßnahmen stellt eine bedeutende Anpassungsmaßnahme an die zunehmende Trockenheit in der Landschaft dar. Die vielen positiven Wirkungen, die zu einem erhöhten Volumen des Bodenwasserspeichers sowie der Verbesserung des Bodens an sich führen, überwiegen gegenüber den wenigen negativen Auswirkungen. Durch die erhöhte Strukturdiversität und Lebensraum für diverse Tierarten erhöht sich auch die Biodiversität. Die Maßnahme kann ohne bedeutenden Flächenverlust und mit niedrigen Kosten umgesetzt werden.

4.3.4. Waldwege

Berücksichtigung der optimalen Wegelage bei Wegneubauten (Wegeführung)

Definition: Der Wegeneubau beinhaltet eine Optimierung der Wegeführung zur Vermeidung von Wasserversorgungsschäden bzw. zur Verbesserung der Wasserversorgung. Der Neubau ist verbunden mit dem Rückbau von bereits bestehenden Wegen und führt zu einer Reduktion der Gesamtwegefläche.

Wirkung: Waldwege stellen eine Barriere für die natürliche Wasserführung dar. Durch einen Wegeneu- und Umbau sollten Bestände in Wasserzugrichtung mit Versorgungsdefizit eine verbesserte Wasserzufuhr erfahren. Das Aufheben von Barrierewirkungen, die Verringerung von Hanganschnitten und den damit verbundenen Hangzugwasseraustritten ist dafür essenziell. Eine verringerte Wegefläche führt zudem zu weniger Bündelungspotenzial und schützt somit vor Schäden durch zu große Wassermassen in geringer Zeit.

Wegerückbau

Definition: Eine weitere Möglichkeit zur Verbesserung des Wassermanagements in der Landschaft stellt der Wegerückbau dar. Dabei werden vorrangig Wege ausgewählt, die keine zentrale Bedeutung für die Forstwirtschaft haben und naturschutzfachliche Bedeutung besitzen (Aufhebung von Zerschneidungseffekten).

Wirkung: Das Ziel dieser Maßnahme ist es die Wegefläche zu reduzieren, um das natürliche Abflussverhalten nicht zu stören. Dabei wird zusätzlich Produktionsfläche vergrößert und die Infiltration verbessert. Im (seltenen) Falle eines Rückbaus von Asphalt hin zu wasser-

gebundenen Decken verringern sich durch eine stärkere Rauigkeit der Oberfläche die Fließgeschwindigkeiten.

Veränderte Wasserableitung und Wassereinleitung in Bestände

Definition: Eine weitere Möglichkeit zur Verbesserung des Wassermanagements in der Landschaft ist die Einleitung von oberflächlich abfließendem Wasser in Bestände. Dies kann durch verschiedene Baumaßnahmen technisch gelöst werden.

Wirkung: Die Wassereinleitung in die Bestände führt zu vermehrter Versickerung. Hierzu zählt auch ein geringerer Oberflächenabfluss auf dem Wegekörper. Dadurch wird die Erosion deutlich verringert. Diese Maßnahme hat zum Ziel, eine bessere Wasserverfügbarkeit vor allem im Unterhang herzustellen. Die Wirkungen der Maßnahme hängt vom Bodentyp ab (zur Staunässe neigende Böden bzw. fehlende Wirksamkeit wegen hoher Sandanteile sind beispielsweise weniger geeignet).

Praktische Umsetzung – Fallbeispiel Kolbenhof Bolkart

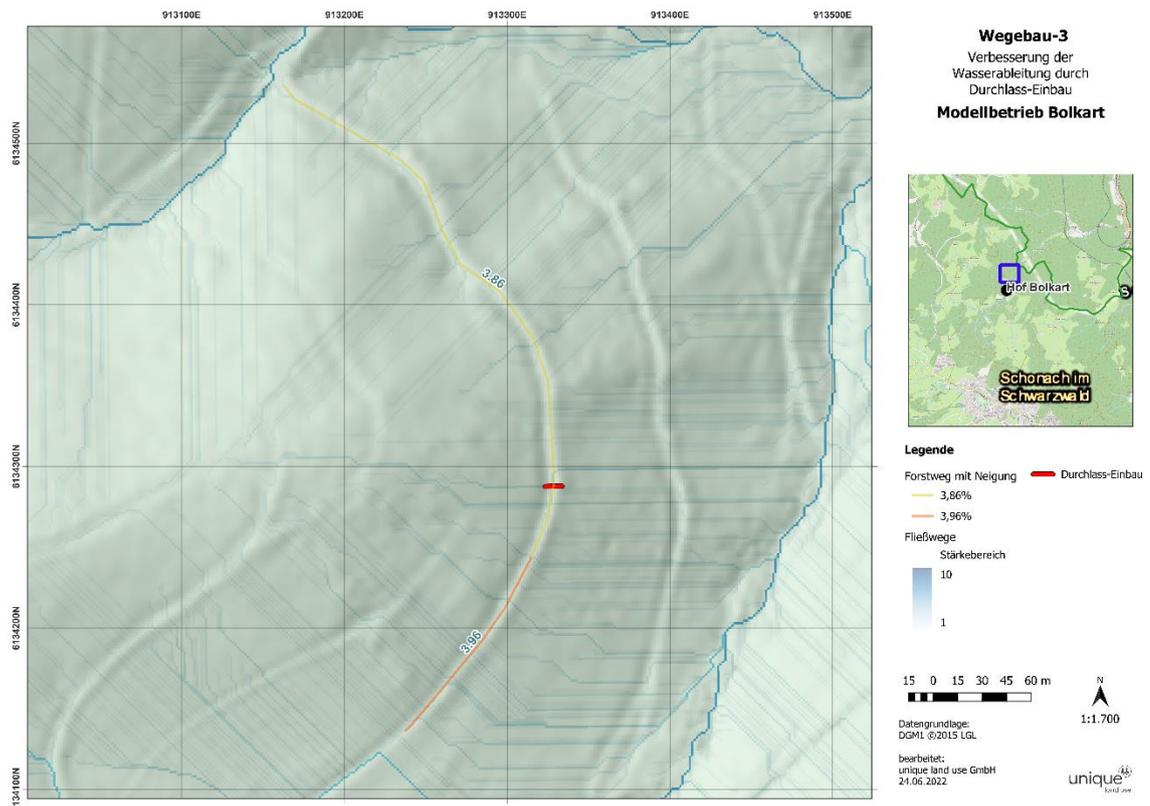


Abbildung 18: Kartografische Darstellung Fallbeispiel Kolbenhof Bolkart: Wasserableitung in Bestände

Um das anfallende Wasser vom Oberhang abzuleiten, wird es in seitlich zum Weg verlaufenden Gräben gesammelt und je nach Wegelängsneigung (2-8%) alle 50-150 m durch einen Durchlass abgeleitet. Ein Durchlass sollte am Hang entsprechend der Geländemorphologie an potenziell oder tatsächlich wasserführenden Rinnen eingebracht werden (Dietz et al. 1984).

Der Durchlass setzt sich aus einem Einlaufschacht und einem Rohr zusammen. Der Einlaufschacht wird im ausreichenden Abstand zur Fahrbahn eingebaut und soll ca. 70-120 cm tief in das Gelände eingebracht werden. In der Draufsicht soll der Schacht eine Seitenlänge von ca. 50 auf 50 cm aufweisen. Dabei wird der Schacht i.d.R. 20 cm tiefer als das Rohr verbaut, sodass sich eingespültes Material ablagern kann, was einer frühen Verstopfung entgegenwirkt. Das Durchlassrohr muss im Durchmesser den zu erwartenden Wassermassen angepasst werden. Aus Naturschutzgründen werden auch nach unten offene U-Profilen (mit rauer Sohle) empfohlen.

Die Kosten für einen Durchlass variieren je nach Bauweise des Rohrs, wie Materialkosten und Rohrprofil. Nach Kalkulationen der „Fachstelle für forstliche Bautechnik“ (2014) aus Maienfeld, Schweiz, ergeben sich für ein Rohrdurchlass nach DN 600 Gesamtkosten in Höhe von ca. 8.000 Euro bzw. 500-800 Euro je Meter verlegtes Rohr. In Deutschland kann mit ähnlichen Kosten gerechnet werden.



Abbildung 19: Wegeabschnitt für Wasser-ableitungsmaßnahme (Hof Bolkart)



Abbildung 20: Hangrutsch unterhalb des betroffenen Wegeabschnitts (Blick vom Weg talabwärts; Hof Bolkart)

Für den Kolbenhof Bolkart wurden Anhand einer Strahlenanalyse die Fließwege von Gewässern nach ihrer Intensität analysiert, um so Gefahrenstellen für eine verstärkte Erosion zu erkennen und die Platzierung eines Durchlasses möglichst sinnvoll auszuwählen. Zum einen werden dazu die wasserführenden Rinnen betrachtet, zum anderen aber auch Wegeabschnitte, auf denen sich der Wasserabfluss direkt auf dem Weg befindet (siehe Abbildung 19). Der Durchlass wurde an diesem Punkt vorgesehen, da hier die Wasserableitung längs zum Weg besonders stark ist und es hier in der Vergangenheit bereits zu Wegeschäden (siehe Abbildung 20) kam.

Investitionen und Kosten-Wirksamkeitsanalyse

Die folgende Tabelle 9 gibt einen Überblick über die Kosten der Wasserableitung für die betroffene Wegestelle.

Tabelle 9: Übersichtstabelle Kosten Waldwegemaßnahmen

Maßnahme	Kosten (€/lfm)	Länge (m)	Gesamt (€)
Wasserableitung – Durchlass unter Weg	500	7	3.500

Rechtliche Grundlagen

Für diese Maßnahmen gibt es verschiedene rechtliche Grundlagen, die sich vor allem auf die Ausgestaltung der Waldwege, z.B. zur maximalen Hangneigung oder die Berücksichtigung von Naturschutzkulissen, beziehen. Diese müssen im Einzelfall berücksichtigt werden. Ebenso gibt es viele verschiedene Fördermittel, beispielsweise im Rahmen der Nachhaltigen Waldwirtschaft (NWW). Hier ist vor allem die Förderung zur forstwirtschaftlichen Infrastruktur (Teil D), die explizit den Wegeneu-, aus- und -umbau, die Instandsetzung von Wegen nach Schadereignissen und im Erholungswald, sowie die Grundinstandsetzung von Kunstbauten und Wasserableitungssystemen von forstwirtschaftlichen Wegen (NWW 2020) nennt.

Zwischenfazit Waldwege

Es werden verschiedene Maßnahmen zur Verbesserung des Wassermanagements mit Bezug auf die Führung und Umsetzung von Waldwegen in der Landschaft vorgestellt. Je nach Situation, können hier passende Ansätze gewählt werden. In der Regel sind technische bzw. bauliche Lösungen mit einer einmaligen Investition, die je nach Fall unterschiedlich hoch ausfallen kann, notwendig. Je nach Maßnahme treten Wartungsarbeiten in bestimmten Zeitintervallen auf, wie z.B. das Ausräumen der Schächte und das Ausbaggern kolmatierter Versickerungsmulden. Hinzu kommt ggfs. der Rückbau von Wegen und Rückegassen, der finanziell aufwendiger sein kann.

4.3.5. Waldbau

Optimierung der Baumartenzusammensetzung

Definition: Die Baumartenzusammensetzung wird durch Erhöhung der Anteile von Baumarten, die sich positiv auf den Wasserspeicher und die Wasserrückhaltung auswirken, optimiert. Aus nadelholzdominierten einschichtigen Beständen werden standortgerechte Laub-Nadel-Mischbestände in intensiver einzel- bis gruppenweiser Mischung. In steilen Hanglagen ist eine Einmischung von Nadelbäumen wichtig, um Abflussspitzen nach Regen auch im Winter gut puffern zu können. Große Bedeutung haben auch tiefwurzelnden Arten, die den Bodenwasserspeicher effektiver ausschöpfen und damit das Retentionsvermögen des Bodens bei großen Niederschlagsereignissen erhöhen.

Wirkung: Durch die geringere Interzeption und den erhöhten Stammabfluss bei Laubbäumen (v.a. glattrindige wie die Buche) im Gegensatz zu Nadelbäumen, erreicht mehr Niederschlag den Waldboden, die Bodenfeuchte und der Bodenwasserspeicher steigen. Zusätzlich bleibt durch die geringere Transpiration bei Laubbäumen im Gegensatz zu Nadelbäumen der Bodenwasserspeicher länger gefüllt. Verschiedene Baumarten in stärkerer Mischung nutzen den Wurzelraum intensiver als Reinbestände. Die tiefe und intensive Durchwurzelung standortgerechter und sich ergänzender Baumarten verbessert die Nutzung des pflanzenverfügbaren Wasserspeichers und verhindert eine frühzeitige Wasserkonkurrenz.

Optimierung der Bestockungsdichte und des vertikalen Aufbaus

Definition: Die Durchforstungsintensität und Pflege der vertikalen Bestandesstruktur wird angepasst. Die Maßnahme zielt auf den Umbau dichter einschichtiger Bestände in lockere, dafür aber mehrschichtige, einzel- bis gruppenweise auch ungleichaltrige und damit struktureichere Bestände ab. Gerade jüngere Bestände reagieren schnell auf Durchforstungen, deswegen sind die Effekte eher kurzfristig und müssen regelmäßig so wiederholt werden, dass keine Überstockung und Einschichtigkeit entsteht. Der resultierende vertikal ungleichaltrige Waldaufbau hat auch Einfluss auf die Kronengröße. Bäume ohne ausreichende Krone sind weder in der Lage ihr Wurzelwachstum zu optimieren noch die Transpirationsleistung in Trockenphasen aufrecht zu erhalten. Durch kleine Femelhiebe kann eine diverse Waldstruktur erreicht werden (Gebhardt et al. 2012; Müller 2013; Bundesforschungszentrum für Wald 2014; Zindel et al. 2017).

Wirkung: Ein durchmischter Bestand und die Streuaufgabe der Laubbäume führt zu einer Verbesserung der Bodenform und -struktur sowie der Humusform, was zu einer höheren Infiltrationskapazität und damit einem erhöhten Bodenwasserspeicher führt. Zusätzlich wird die Streuaufgabe durch den höheren Lichtgenuss abgebaut. Dadurch verbessert sich die Humusform. Humus- und Stickstoffgehalt im Mineralboden steigen. Bei einer Durchforstung nimmt die Blattfläche des Bestandes und die Transpiration der einzelnen Bäume ab, da der Wurzelraum nach der Durchforstung effizienter genutzt werden kann. Außerdem führt die Durchforstung zu einer erhöhten Bodentemperatur, der Effekt wird jedoch durch die Vielschichtigkeit im Bestand abgepuffert. Die Evaporation steigt, wenn mehr Strahlung auf

den Boden gelangt. Dadurch profitieren die Bodenvegetation und Naturverjüngung, was Oberflächenabfluss und Erosion an Hängen mindert. Die vertikale Schichtung sorgt für eine bessere Ausnutzung des Wuchsräume und zu einem erhöhten Zuwachs.

Verjüngungsverfahren optimieren

Definition: Zurzeit erfolgt die Verjüngung der Waldbestände unter Inkaufnahme größerer (> 0,7 ha) oder großer Freiflächen (> 2 ha). Dies soll durch eine kleinflächige Verjüngung von Gruppen- bis Horstgröße in Bestandeslücken hinein verändert werden.

Wirkung: Ein dichter Bewuchs mit Jungpflanzen aus Naturverjüngung reduziert die Abflussgeschwindigkeit, wodurch die Erosion verringert wird. Zudem vermeidet das kleinflächige Verjüngen große Freiflächen oder Flächen mit geringem Überschirmungsgrad, was wiederum zu einer reduzierten Erosion führt. Der Zuwachs kann über kleinflächige Verjüngungsverfahren besser genutzt werden, wodurch der Ertrag steigt. Eine dichtere Vegetation führt durch höhere Interzeption und Verdunstung zu einer sinkenden Bodenfeuchte. Gleichzeitig vermindert die Beschattung die Evaporation des Bodens. Bei der Naturverjüngung wird die Bodenstruktur nicht gestört und führt zu einer Verbesserung durch biologische Aktivität nach dem Auflichten. Verglichen mit der Pflanzung kann eine Vergrasung oder starke Freilegung des Bodens mit negativen Folgen für den Wasserhaushalt durch Nutzung von Naturverjüngung teilweise reduziert werden. Dies ist jedoch abhängig vom Standort und der vorhandenen, samenspendenden Bestockung. Durch Naturverjüngung ohne das Auflichten großer Freiflächen, steigt die Bodentemperatur nicht an.

Praktische Umsetzung – Fallbeispiel Kolbenhof

Das Risiko für den Betrieb liegt in erster Linie in den an Oberhängen gelegenen, trockenen und teilweise sandigen Standorten. Hier wird von allen Waldstandorten am ehesten mit Stresssituationen, verursacht durch Trockenheit und Hitze gerechnet. Speziell solche Bestände, die in einer südlichen bis südwestlichen Exposition in oberen Hangteilen liegen, sind kritisch. Mit der robusten und bereits vorkommenden Kiefer ist hier eine Baumart vorzufinden, die künftig verstärkt ihren Platz dort haben sollte.

Da ein strukturreicher Bestand angestrebt wird, soll vermehrt Laubholz eingebracht und die Naturverjüngung gefördert werden. Dies wird mithilfe von Durchforstungen und kleinflächigen Verjüngungsflächen bis hin zu Plenterstrukturen erreicht. Die Vorteile der Naturverjüngung liegen dabei nicht nur in den geringeren Kosten, sondern besonders auch in der erhöhten Durchwurzelung und der vermiedenen Bodenbearbeitung. In Hanglagen spielen Nadelbäume auch in Zukunft hinsichtlich des Wasserrückhalts eine Rolle, da diese über einen größeren und ganzjährigen Interzeptionsspeicher verfügen. Bei der Bewirtschaftung ist auf eine möglichst geringe Befahrung zu achten, um Bodenverdichtung zu vermindern und somit die Wasserspeicherkapazität des Waldbodens zu erhalten.

Investitionen und Kosten-Wirksamkeitsanalyse

Tabelle 10 stellt eine Übersicht über mögliche Kosten der waldbaulichen Maßnahmen dar.

Tabelle 10: Übersichtstabelle Kosten Waldbauliche Maßnahmen

Maßnahmen	Kosten
Kulturvorbereitung	400 €/ha
Pflanzenkosten: Initialpflanzung von 40 %	800 Pflanzen/Hektar * 1,65 €/Pflanze = 1.320 €/ha
Pflanzungskosten	0,9 €/Pflanze * 800 Pflanzen = 720 €/ha
Einzelschutz aus Holz	1 €/Stk. * 800 Stk. = 800 €/ha
2 Jahre Jungwuchspflege	30 h/ha * 25 €/h * 2 a = 1.500 €/ha
Gesamtsumme	4.740 €/ha

Rechtliche Grundlagen

Es gibt eine Reihe von passenden Fördermitteln auf verschiedenen Ebenen der vorhandenen Tatbestände. Eine mögliche, nach konkreter Planung der Maßnahmen anwendbare Förderung kommt aus der GAK im Rahmen der sogenannten Nachhaltigen Waldwirtschaft (NWW). Diese Förderung legt ein besonderes Augenmerk auf die Berücksichtigung der Ziele des Umwelt- und Naturschutzes hinsichtlich des Schutzes der Biodiversität und des Biotopverbunds sowie dem Erhalt von Tieren, Pflanzen und Lebensräumen. Die Mittel werden von der EU, Bund und dem Land Baden-Württemberg bereitgestellt. Vor allem der Teil B – Förderung einer naturnahen Waldbewirtschaftung der Maßnahme kann hier beansprucht werden. Hier wird speziell der Umbau von Nadelreinbeständen oder nicht standortgerechten, nicht klimatoleranten Beständen erwähnt, sowie die Weiterentwicklung und Wiederherstellung von stabilen, naturnahen, standortgerechten Laub- und Mischwäldern durch Saat, Pflanzung oder Naturverjüngung sowie Kultursicherung und Nachbesserung angesprochen. Hinzu kommt die Förderung der Jungbestandspflege in Privatwaldbetrieben bis 200 ha. Die novellierte NWW ist seit ihrer Veröffentlichung in Kraft (17.07.2020, NWW 2020).

Praktische Umsetzung – Hof Speicher, Ibach

Als waldbauliche Maßnahme soll auf geeigneter Fläche die Douglasie eingebracht werden. Die Douglasie kann, insbesondere nach dem Anpflanzen, unter Trockenstress leiden. Dieser kann bis zum Absterben der kompletten Kultur führen. In der kritischen Anfangsphase nach dem Anpflanzen kann bei Ausbleiben von Regen eine gezielte Bewässerung helfen.

Grundsätzlich wird eine Pflanzenzahl zwischen 1.000 bis 3.000 Stück/ha empfohlen. Dies ist abhängig vom gewünschten Abstand zwischen den Pflanzen. In folgender Weise kann eine ein Hektar große Fläche bepflanzt werden:

$$10.000 \text{ m}^2 / 2,5 \text{ m} * 2 \text{ m} = 2.000 \text{ Pflanzen}$$

Es können wurzelnackte Pflanzen oder Containerpflanzen verwendet werden, je nach gewünschtem Pflanzverfahren. Zunächst ist noch einmal zu betonen, dass zu einer Bewässerung nur als letztes Mittel gegriffen werden sollte. Bewässerungen können häufig durch

eine fachgerechte Pflanzung vermieden werden. Das bedeutet, das Pflanzmaterial wird ausreichend frisch gelagert, sodass die Wurzeln nicht vertrocknen, es wird auf qualitativ hochwertige Herkünfte gesetzt, der Pflanzzeitpunkt (März-April) wird passend gewählt und die Pflanzung wird fachgerecht durchgeführt. Sollte es dennoch zu einer außerordentlich trockenen Witterung kommen, ist es besser frühzeitig zu bewässern, bevor es zu Welkerscheinungen kommt. Entscheidet man sich für eine Bewässerung gibt es verschiedene Verfahren.

Eine Forstpflanze benötigt ungefähr 5 l Wasser pro Woche, abhängig von der Bodenart (lehmig-sandig). Das einfachste Verfahren ist die Gießkannenmethode, diese ist jedoch mit aufwendigem Personeneinsatz verbunden. Hier wird klassisch die Pflanze per Gießkanne gegossen. Dies lohnt sich nur für kleine Anbauflächen. Ein wassersparendes Verfahren ist die Tröpfchenbewässerung. Hierbei kann ein Tropfschlauchsystem zum Beispiel an einen Tank (z.B. IBC - Intermediate Bulk Container) angeschlossen werden. Steht der Tank erhöht, könnte dies bereits ausreichend für den Bewässerungsdruck sein. Andernfalls muss zusätzlich noch eine Pumpe angeschlossen werden. Der Nachteil bei diesem Verfahren sind die höheren Investitionskosten. Ein simpleres Verfahren wäre es an den IBC-Tank einen handelsüblichen Schlauch anzuschließen und die Pflanzen einzeln anzulaufen. Der Aufbau gestaltet sich hier einfach, wiederum ist der Personaleinsatz höher und die Nutzung von der Flächengröße abhängig. Für große Flächen kann auch mit Beregnungsanlagen gearbeitet werden. Dies empfiehlt sich, wenn bereits aus landwirtschaftlichen Tätigkeiten passende Geräte vorhanden sind (Tankanhänger, Pumpe, Beregnungsanlage). Der Wasserverbrauch ist hierbei sehr hoch und sollte bei allgemeiner Wasserknappheit mitbedacht werden. In Summe sind Bewässerungsverfahren nur kleinflächig umsetzbar.

Investitionen und Kosten-Wirksamkeitsanalyse

Tabelle 11 gibt einen Überblick über entstehende Kosten eines Jahres einer Neupflanzung mit passender Bewässerungsanlage sowie Verteilsystem. Bei der Berechnung wird angenommen, dass die Bewässerung viermal in Folge trockener Witterung wiederholt werden muss. Die Kosten orientieren sich an handelsüblichen Durchschnittspreisen und Durchschnittswerten aus der forstlichen Praxis.

Tabelle 11: Übersichtstabelle Kosten Bewässerung im ersten Jahr nach Neupflanzung

Beispielrechnung Schlauchbewässerung	Kosten
Pflanzung	2.000 Pflanzen/ha
Pflanzenkosten	0,9 €/Pflanze * 2.000 Pflanzen = 1.800 €/ha
Pflanzungskosten	0,8 €/Pflanze * 2.000 Pflanzen = 1.600€/ha
IBC Tank (1000 l)	250 €
Bewässerungszubehör (Schlauch etc.)	300 €
Pumpe (falls notwendig)	200 €
Bewässerungskosten (Zeitaufwand Gießgang + Tankbefüllung)	0,35 €/Pflanze * 2.000 Pflanzen/ha = 700 €/ha
Wasserverbrauch	40.000l/ha * 0,002€/l = 80€
Gesamtsumme	≈ 5.000 €/ha

Rechtliche Grundlagen

Auch hier spielt die GAK sowie die oben beschriebene Förderrichtlinie NWW die Hauptrolle. Neben dem Waldumbau sowie den Jungdurchforstungsmaßnahmen, kann ebenso die Bewässerung gefördert werden. So ist auch die Bewässerung geförderter Kulturen mit standortgerechten Baumarten sowohl im Jahr der Pflanzung wie auch im ersten und zweiten Folgejahr förderwürdig. Allerdings läuft die Antragstellung unter dem zur Bewältigung der Folgen von Extremwetterereignissen im Wald eingerichteten Teil der Fördermaßnahme (NWW 2020).

Zwischenfazit Waldbauliche Maßnahmen

Das Überführen einschichtiger nadelbaumdominierter Bestände in Laub-Mischwälder verbessert nicht nur Bodenform und -struktur und damit die Infiltrationskapazität und den Wasserspeicher des Bodens, sondern stärkt auch die Resilienz der Bestände im Zuge der sich verstärkenden Auswirkungen des Klimawandels. Zudem erhöht sich bei mehr struktureller Vielfalt durch die optimierte Baumartenmischung die Biodiversität innerhalb der Bestände. Zwar steigen die Kosten der Durchforstung mit einem erhöhten Laubholzanteil an, die positiven Wirkungen der Maßnahme im Hinblick auf kommende Trockenperioden und das Wasserspeichervermögen des Bodens, überwiegen jedoch deutlich.

Die Optimierung der vertikalen Schichtung führt zu einer intensiveren und tieferen Durchwurzelung, wodurch die Menge an verfügbarem Wasserspeicher sowie die Bodenqualität deutlich steigen. Auch die Biodiversität sowie die Resilienz der Bestände im Hinblick auf die Auswirkungen des Klimawandels erhöhen sich. Die Zuwachssteigerung durch Mischung und Struktur führt zu einem erhöhten Kohlenstoffspeicher im Wald. Der zusätzliche Aufwand für die Durchforstung führt zwar kurzfristig zu einem Anstieg der Kosten, jedoch überwiegen die positiven Auswirkungen auf länger anhaltende Trockenperioden deutlich.

Die Nutzung einer natürlichen Verjüngung gegenüber der künstlichen stellt eine äußerst bodenschonende Anpassungsmaßnahme dar. Ohne zusätzliche Kosten wird das Freilegen großer Flächen vermieden, wodurch die Verdunstung deutlich sinkt, mehr Wasser im Boden gehalten wird sowie die Erosionsgefahr bei konstantem Bewuchs deutlich verringert wird. Die Biodiversität nimmt durch die Erweiterung von Habitaten zu, die Wurzelentwicklung ist bei der Naturverjüngung besser, wodurch die Wälder resilienter gegenüber Sturm und Trockenheit werden. Der Kohlenstoff wird im Boden gebunden und führt zu einer Verringerung der Verluste an Atmosphäre oder durch Erosion. Bei zunehmender Trockenheitsgefahr stellt die Nutzung der natürlichen Verjüngung eine äußerst kostengünstige und effektive Maßnahme dar.

Dabei stellt das Einbringen weiterer Baumarten immer auch einen Abwägungsprozess dar. Douglasie oder Küstentanne erhöhen als zusätzliche Baumart zum einen den Mischungsanteil. Zum andern stellen diese in Bezug auf die Zuwachsleistung und die Nutzung in langlebigen Produkten einen wertvollen Beitrag zur Erhöhung der Kohlenstoffspeicherleistung dar.

4.3.6. Waldböden

Erhalt der Bodenstruktur

Definition: Ziel der Maßnahme ist der Erhalt der Bodenstruktur durch Reduktion der Befahrung. In der Regel wird dies durch ein weites gut erschlossenes Rückegassennetz sowie die Anpassung der Holzernteverfahren (z.B. Rückepferde oder Seilkran anstatt Hangharvester) und Befahrung von weniger schadanfälligen, z.B. gefrorenen Böden, erreicht.

Wirkung: Für den Erhalt der Bodenstruktur ist es wichtig, die Befahrung mit Maschinen zur Durchforstung oder Holzernte möglichst gering zu halten. Durch die Befahrung mit schweren Maschinen wird der Boden verdichtet und verliert dadurch einen erheblichen Teil seines Porenvolumens. Die Regeneration von Befahrungsschäden ist sehr zeitaufwendig und bei einem natürlichen Vorgehen langwierig. Da zu diesem Zeitpunkt schon mit Verdichtung zu rechnen ist, dauert es sehr lange, bis die Maßnahme Wirkung zeigt. Am Hang steigt außerdem die Gefahr von Erosion auf Rückegassen (Hildebrand 1983; Hartge et al. 2014; Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie 2016).

Rechtliche Grundlagen

Zur Förderung von Maßnahmen spielt die NWW im Rahmen der GAK eine zentrale Rolle in Baden-Württemberg. Hierunter gibt es abhängig vom genauen Fall zwei Möglichkeiten zur Förderung. Es können Maßnahmen unter die Förderung der forstwirtschaftlichen Infrastruktur (Teil D) fallen, hierzu zählen Wegeneu-, aus- und -umbau zur verbesserten, bodenschonenden Bewirtschaftung der Wälder. Dies könnte z.B. die Verknüpfung von Maschinenwegen und Rückegassen beinhalten. Ebenso könnten Maßnahmen unter die Förderung der Schutz- und Erholungsfunktionen im Wald (Teil G) fallen, in dem explizit eine bodenschonende Holzernte unter Einsatz von Seilkran, dem Vorrücken mit Rückepferden oder die Beschaffung von Holzerntetechnik genannt wird (NWW 2020).

Zwischenfazit Waldböden

Das Ziel dieser Maßnahme ist, mit Fokus auf den Wasserhaushalt und eine dementsprechende Verbesserung der jetzigen Situation, eine möglichst seltene Befahrung auf einem weiten Rückegassennetz zu erreichen. Hierunter fällt auch, dass keine Befahrung abseits der Feinerschließung stattfindet. Einige Indikatoren sollten sich im Rahmen dieser Maßnahme verbessern, beispielsweise die Infiltration, welche bei reduzierter Befahrung und (evtl. aktiver) Bodenregeneration erhöht werden kann. Durch die Maßnahme nimmt der Anteil an Grobporen zu, damit steigt auch die Infiltrationsrate. Ebenso wird eine Reduktion der Direktabflüsse erreicht. Ein weiteres Ziel ist die Erhöhung des Wasserspeichers, welcher ohne die Maßnahme im Vorfeld durch die Verdichtung auf Grund der Befahrungen reduziert wurde. Bei kontinuierlicher Regeneration erhöht sich der Speicher wieder. Insgesamt sollte der Ertrag bzw. der Zuwachs pro Hektar durch eine mittelfristig verbesserte Wasserversorgung steigen. Die Produktqualität des geernteten Holzes kann durch die Reduktion von Rückeschäden entlang der Gassen verbessert werden. Die ökonomische Betrachtung ist fallabhängig, grundsätzlich sind aber die genannten Maßnahmen für bodenschonende Holzernteverfahren aufwändiger und dementsprechend häufig zunächst mit einem größeren finanziellen Aufwand verbunden.

4.3.7. Retentionsflächen

Retentionsgehölze als Pufferstreifen und Wasserspeicherflächen

Definition: Es wird ein Pufferstreifen entlang von Gewässern mit Gehölzen wie Erle, Weide, Esche angelegt. Hin zu Ackerflächen sind zudem Wiesenstreifen mit dem Ziel einer Verbreiterung der Aue auch kleiner Bäche oder Abflussrinnen vorgesehen.

Wirkung: Durch einen erhöhten Wind- und Sonnenschutz durch die Gehölze wird die Verdunstung gegenüber der Weide verringert sowie Wind- und Wasser-Erosion reduziert. Die tiefere Durchwurzelung der Gehölze erhöht das verfügbare Wasservolumen im Boden und verbessert die Infiltrationskapazität, wodurch der Bodenwasserspeicher steigt. Die breitere Aue aus Gehölzen und Grünstreifen bremst zusätzlich den Abfluss im Gewässer und den bodennahen Interflow in den kleinen Tälchen um die Bäche. Ein verstärkter Laubeintrag und reduzierter Weideeinfluss verbessert die Humusform und damit die NFK.

Abflusssteuerung (Bremsung) von Gewässern

Definition: Gewässer ohne Hindernisse oder mit schneller Fließgeschwindigkeit sollen, mit Hindernissen wie Steinschüttungen oder auch Verkrautungen durch Pflanzen am Gewässerrand, gebremst werden.

Wirkung: Durch die Verlangsamung des Abflusses wird die Infiltration im Bereich des Flusses erhöht. Zusätzlich wird durch die Hindernisse die Fließgeschwindigkeit verringert, die Rauigkeit erhöht, und damit der Abfluss verlangsamt. Durch die erhöhte Infiltration und Grundwasserneubildung/-anreicherung, wird auch der Gewässerspeicher erhöht. Die höhere Infiltration führt zusätzlich zu einer erhöhten Bodenfeuchte am Gewässerrand.

Retentionsmulden

Definition: Retentionsflächen sind natürliche oder künstlich geschaffene Vertiefungen in der Landschaft, welche als temporäre Wasserspeicher genutzt werden. Retentionsmulden dienen als Zwischenspeicher für den Oberflächenabfluss. Während (Stark-)Regen Phasen wird das Wasser angestaut und gesammelt, um während Trockenphasen langsam in die Gerinne und Bäche entleert zu werden.

Wirkung: Durch die Verlangsamung des Abflusses und zwischenzeitliche Speicherung des Wassers wird die Infiltration kleinräumig im Bereich der Mulde erhöht. Durch erhöhte Versickerung wird die Grundwasseranreicherung gefördert. Retentionsmulden erhöhen den oberflächennahen Interflow. Dadurch wird mehr Niederschlag länger auf der Fläche zurückgehalten, was sich nicht nur positiv auf den Bodenwasserhaushalt auswirkt, sondern auch zu einer Verzögerung und Dämpfung der Hochwasserwelle beiträgt (Kempf et al. 2015). Durch die Erhöhung des Bodenwasserspeichers innerhalb der Mulde, können sich Retentionsflächen zu temporären Feuchtgebieten entwickeln und so zu einer ökologischen Aufwertung der Umgebung beitragen. Zudem übernehmen sie eine wichtige Funktion als Sedimentfang, Ausfilterung und Pufferung von Nähr- und Schadstoffen.

Management des Wasserhaushalts von Mooren

Wirkung: Wird das Moor erhalten oder erfolgreich wieder vernässt, wirkt dies mindernd auf die Direktabflüsse im Skalenbereich des Wassereinzugsgebiets. Zudem erhöht sich die Evaporation sowie die Bodenfeuchte auf der Moorfläche und es zeigt sich ein positiver Effekt auf die Wassererosion im Auslaufbereich des Moores.

Praktische Umsetzung – Fallbeispiel Hof Baur

Retention ist neben den Effekten von Interzeption, Muldenverlusten und Bodenwasserspeicher durch Retentionsgehölze im Areal der Hoffläche vorgesehen. Retention kann sinnvollerweise nur auf die Anteile von Oberflächenabfluss und oberflächennahem Interflow wirken. Die Retentionsflächen (mindestens fünf Meter breit) sollen unter Nutzung der Geländemorphologie in Kombination mit Retentionsgehölzen oder anderer Gewässerrand-Bestockung hangobenliegend auf Weideflächen angelegt werden. Darunter fallen Galerie- & Auwälder, die sich aus Erlen zusammensetzen. Quell- und bachbegleitende Baumbestockung soll, wenn vorhanden, erhalten, ansonsten neu gepflanzt werden. Da sich die Anlage der Retentionsgehölze nach den vorhandenen Bachläufen richtet, verlaufen einige auch durch Mähwiesen. Aktuell sind auf dem Hof Baur keine Retentionsflächen vorhanden. Diese werden an geeigneten Stellen auf der Hoffläche als Retentionsmulden, Kaskaden und Verebnungen angelegt (Abbildung 15).

Die Retentionsmulden sollen unter Ausnutzung der natürlichen Geländemorphologie vergrößert oder neu angelegt werden. Sie sollen mit einem regelbaren Anstau und Auslauf versehen werden und mit Retentionsgehölzen als Uferbepflanzung gesäumt werden. Die Biotopfunktion kann durch das Schaffen verschiedener Feuchtegrade verstärkt werden.

Für die Retentionsgehölze sollen neben der Naturverjüngung von Esche und Birke, Erle, Weide und Ahorn gepflanzt werden. Die Initialpflanzung soll auf 50 % der vorgesehen Fläche erfolgen und mit einer 10-jährigen Auszäunung gesichert werden.

Investitionen und Kosten-Wirksamkeitsanalyse

Tabelle 12 gibt einen Überblick über die Kosten zur Pflanzung von Retentionsgehölzen. Retentionsgehölze kommen grob mit Anlage und Pflegekosten in den ersten beiden Jahren auf rd. 5.000 Euro/ha. Demgegenüber kostet die Anlage von Retentionsmulden unter Verwendung von eigenen Maschinen und eigener Arbeitskraft grob 3.000 bis 10.000 Euro/Anlage. Dies schließt die Ablaufleitung, das Ablaufbauwerk und Überlaufmöglichkeiten ein.

Rechtliche Grundlagen

Retentionsgehölze sind als ökologische Vorrangflächen beihilfefähig.

Retentionsmulden können bis zu einer Größe von 0,2 Hektar als ökologische Vorrangfläche förderfähig sein (Tümpel). Beim Bau einer neuen Mulde muss das Wasserwirtschaftsamt informiert werden sowie das gültige Baurecht zum Bauen im Außenbereich und das Bodenschutzrecht beachtet werden.

Tabelle 12: Übersichtstabelle Kosten Retentionsgehölze und -mulden

Arbeitsschritte	Retentionsgehölze
Kulturvorbereitung	400 €/ha
Pflanzenkosten: Initialpflanzung von 50 %	2.000 Pflanzen/ha * 0,5 ha = 1.000 Pflanzen/ha 1.000 Pflanzen/ha * 1,62 €/Pflanze = 1.662 €/ha
Pflanzungskosten	0,9 €/Pflanze * 1000 Pflanzen = 900 €
Einzelschutz aus Holz	1€/Stk. * 1000 Stk. = 1.000 €/ha
2 Jahre Jungwuchspflege	15 h/a * 25 € * 2 a = 750 €
Gesamtsumme	4.712 €/ha

Zwischenfazit Retentionsflächen

Die Anlage, Verbreiterung oder Erhaltung von Gehölzstreifen entlang von kleinen Gerinnen über Bäche bis hin zu Flüssen hat eine positive Wirkung auf den Landschaftswasserhaushalt. Die oben beschriebene Retentionswirkung kann Trockenphasen hinauszuzögern oder im Fall von Starkregen raschen Oberflächenabfluss und Erosion mindern. Die Verlangsamung des Abflusses führt zur naturnäheren Fließgewässergestaltung, mit vielfältigeren Strukturen und einer erhöhten Biodiversität. Die positiven Wirkungen sind auch betrieblich als gewichtiger anzusehen als die wenigen negativen Auswirkungen wie die lokale Beschattung von Wiesen, Weiden oder Ackerflächen.

Retentionsmulden können sich zu Feuchtgebieten (Biotopen) entwickeln und so ebenfalls lokal die Biodiversität erhöhen. Sie bieten sich als Anpassungsmaßnahme besonders gut an, wenn schon vorhandene Vertiefungen, in denen sich Wasser in der Landschaft sammelt, genutzt werden können. Sie verlangsamen zudem den Oberflächenabfluss und verringern so deutlich die Erosionsgefahr an Hängen auf den Weideflächen. Der Erhalt von Mooren führt zu einer Vermeidung von Emissionen, bei erfolgreicher Wiedervernässung wird der Kohlenstoffspeicher erhöht.

4.3.8. Obstbau/Sonderkulturen

Bewässerung

Definition: Ein Obstbau ohne Bewässerung soll in einen Obstbau mit optimierter Bewässerung umgestellt werden.

Wirkung: Führt die optimierte Bewässerung zu einem erhöhten Wachstum (z.B. der Neutriebe), so entwickelt die Pflanze insgesamt mehr Blätter und kann dadurch mehr Wasser auf den Blättern zurückhalten, gleichzeitig steigt auch die Verdunstung. Durch eine optimierte und angepasste Bewässerung steigt auch die Bodenfeuchte an. Zusätzlich ermöglicht eine verbesserte Wasserverfügbarkeit im Boden auch ein erhöhtes Bodenleben. Der erhöhte Triebzuwachs, die Anzahl an kurzen Trieben sowie die bessere Wasserverfügbarkeit für die Pflanze erhöhen den Ertrag, vor allem während der Trockenperioden. Zudem kann eine angepasste Bewässerung zu einer höheren Fruchtqualität führen.

Trockenresistente Kulturen

Definition: Durch die verstärkt auftretende Trockenheit im Klimawandel sind die Erträge des Anbaus von „Standard-Obst“ stark gefährdet. Dem soll durch den Anbau von hitze- und trockenresistentem Obst mit einer verbesserten Wassernutzungseffizienz sowie einer verbesserten Hitzetoleranz entgegengewirkt werden.

Wirkung: Eine tiefere Durchwurzelung der Pflanzen führt zu einer verbesserten Infiltration und einer Erhöhung des pflanzenverfügbaren Wasserspeichers. Zusätzlich kann sich die tiefere Durchwurzelung positiv auf das Porenvolumen auswirken und zu einer verbesserten NFK führen. Unter der Annahme, dass die gleiche Menge an Biomasse mit weniger Wasser erzeugt wird, muss sich auch die Bodenfeuchte erhöhen.

Anlegen von Teichen, Regen auffangen in Rückhaltebecken

Definition: Ein Obstbau ohne Bewässerung bzw. ohne ausreichendes Wasser für die Bewässerung, soll durch das Anlegen von Teichen und Regenrückhaltebecken in einen Obstbau mit optimierter Bewässerung und ausreichender Wasserverfügbarkeit auch für eine Frostschutzberegnung umgestellt werden.

Wirkung: Führt die optimierte Bewässerung zu einem erhöhten Wachstum (z.B. der Neutriebe), dann hat die Pflanze insgesamt mehr Blätter und kann dadurch mehr Wasser auf den Blättern zurückhalten; gleichzeitig erhöht sich jedoch auch die Verdunstung der Pflanzen. Durch eine höhere und dichtere Vegetationsdecke nimmt die Evaporation ab. Durch angepasste Wasserzugabe erhöht sich die Bodenfeuchte.

Humus/Kompost

Definition: Der Obstbau ohne Nutzung von Humus und/oder Kompost, soll in einen Obstbau mit Zugabe von Humus (im Pflanzloch, eingearbeitet oder als Bodenbedeckung) umgestellt werden.

Wirkung: Kompost und/oder Humuszugabe fördern die Bodenfruchtbarkeit und Struktur und führen damit zu einer erhöhten Infiltration. Im Pflanzbereich der Obstbäume/Sträucher bedeckt der Kompost den Boden - wenn als Auflage benutzt - und reduziert damit Direktabflüsse. Zudem wird die Bodenstruktur verbessert, die Infiltration und damit der Speicher ebenfalls (kleinräumig) erhöht. Die verbesserte Bodenstruktur (stabile Krümel) wirkt zusätzlich gegen Verdichtung und verringert die Erosion. Wenn der Kompost zu einem erhöhten Wachstum der Neutriebe führt, dann hat die Pflanze insgesamt mehr Blätter und kann dadurch mehr Wasser auf den Blättern zurückhalten, gleichzeitig jedoch auch verdunsten. Kompost und Humuszugabe fördern die Bodenfruchtbarkeit und Struktur und führen damit zu einer erhöhten Bodenfeuchte.

Praktische Umsetzung – Fallbeispiel Obsthof Drechsle

Auf dem Obsthof Drechsle soll eine kombinierte Maßnahme aus der Erneuerung bzw. Erweiterung eines alten nicht mehr genutzten, aber sehr günstig gelegenen Löschteiches, der sich im Eigentum der Gemeinde befindet, der Anlage eines unterhalb gelegenen weiteren Rückhaltebeckens und aus einer Sammlung von Dachablaufwasser in den Löschteich umgesetzt werden. Der Löschteich wiederum soll zur Nutzung für eine Tröpfchenbewässerung und Frostberegnung vergrößert werden. Aktuell wird er weder in seiner ursprünglichen Form von der Gemeinde als Löschteich verwendet noch vom Betrieb Drechsle als Sammelbecken von Regenwasser für die Bewässerung (Abbildung 21). Der als künstliches Becken betonierte Löschteich befindet sich innerhalb einer Baum-/Buschgruppe.



Abbildung 21: Aktueller Zustand des Löschteichs; Hof Drechsle

Zusätzlich ist auf dem Gelände unterhalb des Löschteiches eine natürliche Mulde vorhanden, die ebenfalls als Rückhalte mulde vertieft und ausgebaut werden soll (Abbildung 22). Beide Retentionsbecken sind überdies wirksam als Rückhalteraum bei Starkregenereignissen. Dafür müssten beide Becken mit einer erweiterten Dammaufschüttung versehen werden, sodass sich temporär die Einstaumenge bei Hochwasserereignissen deutlich vergrößert werden kann.



Abbildung 22: Obsthof Drechsle - Wiese mit Blick auf natürlich vorhandene Retentionsmulde.

Im Vordergrund der derzeit verdohlte Oberlauf des Baches, der das Tal vom Löschweiher her entwässert und ab dem Gebüsch in der Mitte des Bildes offen und rasch steiler abfließt.

Die mögliche Lage der Wasserbecken wird in Abbildung 23 dargestellt. Aktuell existiert ausschließlich der Löschweiher, dessen Größe in der Abbildung als rote Fläche dargestellt wird. Bei einer Umsetzung der Maßnahme soll er auf die Größe der blauen Fläche erweitert werden. Die Punkte um den Löschweiher herum stellen die Außengrenze der Baum-/Buschgruppe dar, eine mögliche Erweiterung bis hin zu diesen Punkten wäre aus dem Landschaftsbild heraus möglich. Weiter unten im Bild ist die mögliche Lage der Retentionsmulde eingezeichnet, die sich ebenfalls am Landschaftsbild orientiert (hellblau).



Abbildung 23: Obsthof Drechsle – Angedachte Lage von Lössweiher und Retentionsflächen

Aufgrund der Messungen im Feld kombiniert mit der GIS-Analyse erscheinen die zwei Teiche mit folgenden Größen denkbar: Der Lössweiher soll von seiner aktuellen Fläche von 208 m² auf eine Gesamtfläche von 2.480 m² erweitert werden, die Retentionsmulde soll mithilfe einer Dammaufschüttung in einer Gesamtgröße von 2.570 m² angelegt werden. Der aktuell existierende Lössweiher hat eine durchschnittliche Tiefe von 1,60 m. Wird diese mit der Fläche des erweiterten Teiches multipliziert ergibt sich ein Fassungsvermögen von

rund 4 Mio. Litern. Multipliziert man die Fläche der Retentionsmulde mit 1,6 m, ergibt sich ein mögliches Retentionsvolumen von rund 4,1 Mio. Litern.

Zusätzlich zu dem Sammelsystem im Lössweiher und der Retentionsmulde soll ein Regenauffangsystem der Dächer auf dem Hof und in der Nachbarschaft installiert werden. Um ein ungefähres Speichervolumen zu ermitteln, wurden die Dachflächen der umliegenden Häuser digital ausgemessen. Abbildung 24 zeigt die Dachflächen, die zur Regenwassersammlung aufgrund ihrer Nähe zum Hof, zur Verfügung stehen würden. Werden nur die Dächer in nächster Nähe einbezogen (gelb markiert), ergibt sich eine Dachfläche von etwa 3.700m². Werden alle umliegenden Dächer miteinbezogen, die in Abbildung 24 zu sehen sind, ergibt sich eine Dachfläche von rund 9.300 m².

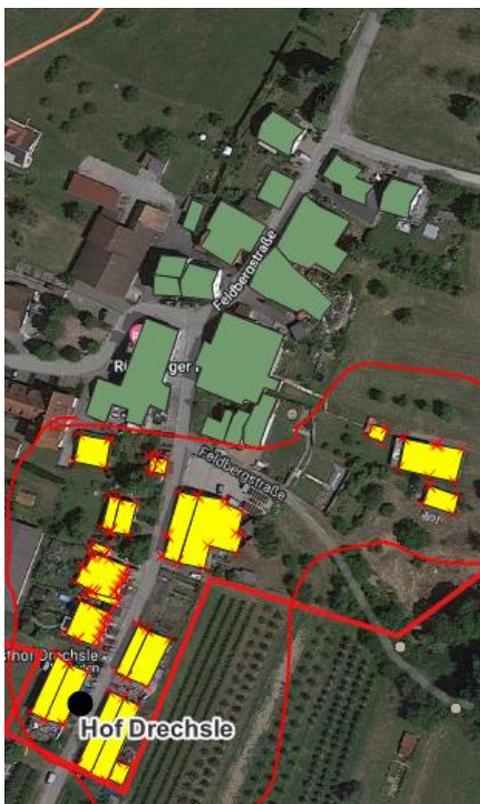


Abbildung 24: Mögliche Dachflächen für Regenwassersammlung

Die Jahresniederschlagsmenge in Grenzach-Wyhlen beträgt etwa 910 mm. Der Regenwasserertrag ergibt sich aus der Dachfläche in m² x Jahresniederschlagsmenge in mm. Der

Dachflächenablauf summiert sich je nach Anzahl der einbezogenen Häuser bei 3.700m² * 910mm/Jahr = 3.3 Mio. Litern /Jahr oder bei 9.100 m² zu 8.4Mio Litern/Jahr. Bezieht man die Art und Neigung der Dächer ein, ergeben sich rund 2.4 Mio. Liter/Jahr bzw. werden alle Dächer miteinbezogen ca. 6.1 Mio. Liter/Jahr.

Investitionen und Kosten Wirksamkeitsanalyse

Die Hauptinvestition der Regenwasseraufbereitung liegt – außer möglichen Erdarbeiten inkl. dem Verlegen von Rohren – in der Erweiterung und Anlage des Löschweihers und der Retentionsmulde. Für die Retentionsmulde soll das ausgehobene Material im Norden für die Aufschüttung des Dammes im Süden der Mulde genutzt werden. So fallen keine zusätzlichen Materialkosten an. Für die Anlage ist der Einsatz eines Baggers nötig, dessen Kosten bei rund 100 € pro Tag liegen. Für einen Teich mit zehn Quadratmetern Oberfläche ist mit 800 Euro zu rechnen. Je nach Materialnutzung (Beton, Folie) können die Kosten steigen oder sinken. Die ungefähren Kosten setzen sich wie folgt zusammen (Tabelle 13):

Tabelle 13: Übersichtstabelle Kosten Maßnahmen Hof Drechsle

Maßnahme	Kosten [€]
Erweiterung Löschweier – Erdarbeiten, Dammaufschüttung	180.000 €
Anlage Retentionsmulde – Erdarbeiten, Dammaufschüttung	150.000 €

Beide Rückhalteflächen sollen durch Baum- und Strauchbestockung beschattet und so als Feuchtgebiete entwickelt werden. Entsprechende Maßnahmen sind oben nicht einkalkuliert, da diese im Vergleich zu den Baumaßnahmen kaum ins Gewicht fallen.

Rechtliche Grundlagen

Retentionsmulden sind als ökologische Vorrangflächen mit einer Größe bis zu 0,2 Hektar in der GAK förderfähig. In beiden Fällen liegen die geplanten Flächen über 0,2 ha. Vor dem Bau muss bei jeder Größe das Wasserwirtschaftsamt einbezogen werden. Da es sich um ein Bauwerk im Außenbereich handelt, muss das diesbezügliche Baurecht beachtet werden sowie Vorgaben des Bodenschutzes berücksichtigt werden. Es ist jeweils im Einzelfall die Anwendung der einschlägigen Regelwerke, wie zum Beispiel der „DIN 19 700“, des „DWA M 522 Kleine Talsperren und kleine Hochwasserrückhaltebecken“ und der „Arbeitshilfe DIN 19 700 für Hochwasserrückhaltebecken“, LUBW 2007 mit der UWB zu klären. (Stand 24.01.2019)

Effekte für das Hochwasser- und Starkregengefahrenmanagement - Fördersynergien

Am Standort des Hofes in Grenzach-Whylen wurde deutlich, dass die geplanten Maßnahmen – Anlage und Erweiterung von Retentionsbecken – selbst im Maßstab dieser zwei Becken von geringer Dimension (0,2 ha) einen Beitrag zum Hochwasser- (HWGK)- und Starkregengefahrenmanagement (SRGK) der Gemeinde leisten können.

Dies wurde sowohl vom Bürgermeisteramt als auch den beiden Fachbüros, die parallel zum Pilotprojekt an der Umsetzung einer Starkregengefahrenkarte nach dem vom Land empfohlenen und geförderten Verfahren (LUBW 2016) (<https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/wasser/starkregen>) arbeiten, bestätigt.

Es gibt ganz konkret die Möglichkeit nicht nur dieser Maßnahmengruppe, sondern nahezu aller Maßnahmen des Maßnahmenkatalogs für die Land- und Forstwirtschaft, die im Gemeindegebiet liegen, zu fördern. Der Effekt der Maßnahmen ist überbetrieblich (Hydrologische Modellierung) und diese sollen in den Katalog des „Handlungskonzepts“ aufgenommen werden.

Zwischenfazit Obstbau/Sonderkulturen

Ein Obstbau mit optimierter Bewässerung führt nicht nur zu einem erhöhten Anteil des pflanzenverfügbaren Bodenwasserspeichers, sondern auch zu einem gesteigerten Ertrag sowie verringertem Risiko durch zunehmend verstärkte Trockenperioden. Zudem führt er zu einer erhöhten Biodiversität durch eine erhöhte Strukturdiversität und fungiert als Lebensraum und Korridor für diverse Tierarten. Auch der Kohlenstoffspeicher wird durch ein verstärktes Wachstum der Obstbäume/Pflanzen deutlich erhöht.

4.4. Modellierungsergebnisse

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Anwendung des einfachen Wasserbilanzmodells für drei der Modellbetriebe dargestellt. Die Modellbetriebe Baur, Bolkart und Kaiser boten sich hierfür an. Hof Bolkart repräsentiert einen durch die Waldbewirtschaftung bestimmten Betrieb. Hier wurde die Wirkung des Waldumbaus beispielhaft modelliert. In der direkten Umgebung der Höfe Baur und Kaiser und auf den von Ihnen selbst bewirtschafteten Flächen lassen sich viele der angedachten und von den beiden Betrieben auch befürworteten Maßnahmen (Grünland, Ackerbau, Agroforst) in einer Kombination und in einem größeren Landschaftsausschnitt (>200 ha umsetzen).

Für diese wurde jeweils die Ist-Situation der Landnutzung und des Landmanagements mit den Szenarien verglichen, bei denen ausgewählte Maßnahmen und Maßnahmenkombinationen umgesetzt wurden.

Die detaillierten grafischen Darstellungen der Ergebnisse der Modellierung der Einzelmaßnahmen und der Maßnahmenkombinationen auf Landschaftsebene befinden sich im Anhang, Kapitel 7.

4.4.1. Modellierungsergebnisse Hof Baur

Für den Hof Baur wurden zunächst Grünland-Maßnahmen: Arten- und Sortenwahl und Anpassung der Bewirtschaftung modelliert. Es folgten die Agroforstsystem-Maßnahmen mit einer Kombination Agroforstsysteme-1: Heckeneinsatz in landwirtschaftlichen Flächen Agroforstsysteme-2: Agroforstsysteme auf ganzer Fläche wie sie in Kap. 4.2.4 beschrieben

werden. Die Ergebnisse für diese Einzelmaßnahmen sind im Anhang (Kap. 8.1.1) im Detail beschrieben.

Anschließend wurde eine Kombination folgender Maßnahmen auf Landschaftsebene modelliert und mit dem Ist-Zustand verglichen:

- **Grünland-1:** Arten- und Sortenwahl
 - Trockenresistente Sortenmischung
- **Grünland-2:** Wiesenmanagement, angepasste Agronomie
 - Veränderte Mahdhäufigkeit und Schnitthöhe
- **Agroforstsysteme-1:** Heckeneinsatz in landwirtschaftlichen Flächen
 - Hangparallele Heckenstreifen
- **Agroforstsysteme-2:** Agroforstsysteme auf ganzer Fläche
 - Agroforstbaumgruppen
- **Retentionsflächen-1:** Retentionsgehölze
 - Anlage und Erweiterung von Retentionsgehölzen entlang der Gerinne und Bäche

Die Anordnung der Maßnahmen im Modellbetrieb Baur veranschaulicht die Karte in Abbildung 25. Die resultierenden Flächenanteile für die Baseline und die Umsetzung der Maßnahmen sind in Tabelle 14 dargestellt.

Tabelle 14: Maßnahmenflächen – Modellierung Hof Baur

Szenario	Maßnahme	Wiese	Weide	Agroforst	Wald	Gesamt
Baseline	Fläche in ha	38	215		15	268
	Flächenanteil	14%	80%		6%	100%
Wassermaßnahmen	Fläche in ha	38	175	40	15	268
	Flächenanteil	14%	65%	15%	6%	100%

Ergebnisse der Modellierung von Retentionsgehölzen

Die folgende Abbildung 25 zeigt im Gebiet von Hof Baur identifizierte Retentionsgehölzflächen. Die Flächen werden durch die Angaben mit blauem Rand in „ha“ dargestellt. Anhand einer Analyse über das digitale Geländemodell (DGM) sind Fließwege im Gebiet und dem Umfeld ermittelt worden. Fließbrinnen sind als sehr feine „Adern“ erkennbar. In den vor Ort ermittelten Flächen wurden in der Karte Punkte für die Retentionsflächen gesetzt, anhand derer die Summe für das Einzugsgebiet ermittelt wurde. So ist z.B. erkennbar, dass das Einzugsgebiet der Retentionsfläche im Nordwesten nahe dem Panoramaweg mit 6,38 ha (grün umrandeter Wert) größer ist als die Fläche der Retentionsfläche mit 1,27 ha (blau umrandet).

Der mittlere pflanzenverfügbare Bodenwasserspeicher steigt in allen Modelljahren durch die Umsetzung der Maßnahmen deutlich an und erhöht sich um bis zu 18 % im modellierten Normaljahr 2012. Auch die Anzahl an Trockentagen verringert sich durch die Maßnahmen. Besonders stark zeigt sich das im Jahr 2018. Hier geht die Anzahl an Trockentagen um bis zu 31 % mit Umsetzung der Maßnahmen zurück. Ein positiver Trend zeigt sich auch in der Anzahl der zusammenhängenden Trockentage, der sogenannten maximalen Trockenperiode. Diese liegt selbst im trocken-warmen „Zukunftsjahr“ 2050 um 42% niedriger gegenüber der Baseline. Auch das Retentionsvolumen der Landschaft kann durch die Umsetzung der Maßnahmen deutlich vergrößert werden. In den drei ausgewählten Jahren steigt es um mehr als 50 mm.

Tabelle 15: Übersicht Modellierungsergebnisse Hof Baur auf Landschaftsebene

	Modelljahre	Baseline	Maßnahmen	Änderung*
Mittl. Bodenwasserspeicher April-Oktober [mm]	2012 = normal	31,90 mm	37,77 mm	+ 18%
	2018 = trocken	25,69 mm	30,18 mm	+ 17%
	2050 = trocken-warm	22 mm	26 mm	+ 16%
Trockentage [Tage]	2012 = normal	0	0	--
	2018 = trocken	24	17	- 31%
	2050 = trocken-warm	30	29	- 4%
Max. Trockenperiode [Tage]	2012 = normal	0	0	--
	2018 = trocken	9	8	- 12%
	2050 = trocken-warm	18	11	- 42%
Retentionsgehölze – Retentionsvolumen [mm]	2012 = normal	0 mm	55 mm	+ 55 mm
	2018 = trocken	0 mm	52 mm	+ 52 mm
	2050 = trocken-warm	0 mm	52 mm	+ 52 mm

* rundungsbedingte Abweichungen

Bewertung der Modellierungsergebnisse

Durch das Einbringen der verschiedenen und teils tiefwurzelnden Arten kann eine verbesserte Durchwurzelung des Bodens und somit eine erhöhte Kapazität zur Wasserspeicherung erreicht werden. Hierdurch können die Schäden durch Trockenphasen abgepuffert werden, bei starken Trockenperioden wird jedoch keine substanzielle Verbesserung erwartet. Eine erhöhte Vitalität des Bewuchses bietet neben einem höheren Futterertrag auch besseren Schutz vor Erosion. Die Ergebnisse der Modellierung bestätigen den erwarteten Effekt, dass sich der Bodenwasserspeicher durch das Einbringen der verschiedenen tiefwurzelnden Arten deutlich erhöht. Auswirkungen durch die veränderte Schnitthöhe lassen sich durch das Modell nicht aufzeigen.

Die drei Agroforst-Szenarien stellen wichtige Anpassungsmaßnahmen im Zuge des Klimawandels dar, die den Trockenstress in der Landschaft verringern, indem sie den Bodenwasserspeicher konstant über das Jahr hinweg erhöhen. Zudem weisen sie eine Vielzahl an ökologischen Vorteilen auf und sorgen für eine Verbesserung des Mikroklimas auf der

Fläche. Die Annahme, dass sich der positive Einfluss der Durchwurzelung auf die Bodeneigenschaften auch auf die maximale Infiltration gegenüber der Weide erhöht, konnte durch das Modell nicht bestätigt werden. Positive Einflüsse auf die Verdunstung durch Beschattung und Windschutz konnten mit dem Modell anhand der Verringerung der Trockenstresstage gezeigt werden. Es geht klar hervor, dass das Einbringen von agroforstlichen Strukturen in allen drei ausgewählten Beispieljahren zu einer deutlichen Erhöhung des Bodenwasserspeichers führt.

Die Retentionsflächen sind vor Ort an Stellen erkannt worden, die in Bezug auf wirtschaftliche Nutzung als Grünland nur einen untergeordneten Wert haben. Die Maßnahmen der Retention in den Muldenlagen werden über einen erhöhten Bewuchs, Kaskaden aus Steinen, dem Verbleib von Totholz oder dem aktiven Einbringen z.B. von Ästen oder Baumstubben in den Fließweg erreicht. Dies setzt keine ingenieurbaulichen Maßnahmen oder den Einsatz von Fremdmaterialien voraus. Der Einsatz kann durch die Arbeitsleistung des Bewirtschafters mit der landwirtschaftlich üblichen Maschinenausstattung erfolgen.

4.4.2. Modellierungsergebnisse Kolbenhof Bolkart

Für den von Waldbewirtschaftung geprägten Modellbetrieb wurde die Wirkung der Umsetzung der folgenden beiden Waldumbaumaßnahmen auf die Verbesserung des Wasserspeichers in der Landschaft modelliert:

- **Waldbau-1:** Optimierung der Baumartenzusammensetzung:
 - Bestandesumbau über Laubholzpflanzungen in Bestandeslücken; schon bestehende Plenterstrukturen erhalten und ausbauen.
- **Waldbau-2:** Optimierung der Bestockungsdichte und des vertikalen Aufbaus

Auf den fast 80 ha Waldfläche soll ein Waldumbau erfolgen. Für die Modellierung wurde aus der tatsächlich vorhandenen Bestockung ein sehr deutliches Beispiel für die Wirkung eines Umbaus ausgewählt. Eine solche Bestockung kommt im Modellbetrieb nur noch in geringem Umfang vor, im gesamten Gebiet des Naturparks ist es dagegen noch weiter verbreitet. Ein dichter einschichtiger Fichten-Tannen-Altersklassenwald wird dabei mit einem lockeren und mehrschichtigen und deutlich mit Laubbaumarten gemischten Wald mit kleinflächiger Verjüngung verglichen. Im Gebiet des Naturparks sind solche negativen Ausgangsbedingungen auf ca. 25% der Waldfläche noch vorhanden. Durch die verringerte Interzeption des Kronenraums erreicht mehr Niederschlag den Waldboden. Außerdem werden durch die Etablierung von Dauerwald größere Freiflächen vermieden. Der Zielbestand soll somit in Trockenphasen resilient sein und Schutz vor Erosion bieten.

Die Umsetzung durch Parametereinstellungen im Modell und die Ergebnisse im Detail sind im Anhang 8.1 beschrieben.

Übersicht Ergebnisse

Tabelle 16 gibt einen Überblick über die Modellierungsergebnisse. Dazu gehören der mittlere Bodenwasserspeicher, die Anzahl an Trockentagen sowie die maximale Dauer an zusammenhängenden Trockentagen. Aus Tabelle 16 geht klar hervor, dass sich alle drei Parameter durch die Umsetzung der waldbaulichen Maßnahmen deutlich verbessern. Am stärksten zeigt sich dieser Trend im „Zukunftsjahr“ 2050. Hier steigt der mittlere Bodenwasserspeicher um 15 % an, die Anzahl an Trockentagen reduzieren sich um 36 % und die maximale Dauer an Trockentagen ebenfalls um 16 %.

Tabelle 16: Übersicht Modellierungsergebnisse Kolbenhof Bolkart auf Landschaftsebene

	Modelljahre	Baseline	Maßnahmen	Änderung*
Mittlerer Bodenwasserspeicher April-Oktober [mm]	2012 = normal	60,37 mm	64,56 mm	+ 7%
	2018 = trocken	44,62 mm	46,96 mm	+ 5%
	2050 = trocken-warm	32,86 mm	37,64 mm	+ 15%
Trockentage [Tage]	2012 = normal	0	0	--
	2018 = trocken	23	17	- 26%
	2050 = trocken-warm	70	45	- 36%
Max. Trockenperiode [Tage]	2012 = normal	0	0	--
	2018 = trocken	9	8	- 11%
	2050 = trocken-warm	25	21	- 16%

* rundungsbedingte Abweichungen

Bewertung der Modellierungsergebnisse

Durch die Maßnahmen wird über mehrere Jahrzehnte hinweg ein stufiger Dauerwald aus Laub- und Nadelbäumen gemischter Wald entstehen. Dies reduziert Freiflächen mit positiven Auswirkungen auf die Bodengesundheit und den Erosionsschutz. Hinsichtlich des Wasserhaushalts kann ein deutlicher Effekt des geringeren Interzeptionsverlustes und aufgrund dessen ein höherer Bodenwasserspeicher im Frühling und Frühsommer festgestellt werden. Dies zeigt sich stärker, je deutlicher die Auswirkungen des Klimawandels anhand von Niederschlagsmengen und Temperaturanstieg einbezogen werden. Der Effekt der geringeren Bodenverdichtung durch schonendere Bewirtschaftung wird erst nach mehreren Jahren erwartet, da der Boden durch die frühere Bewirtschaftung bereits verdichtet ist.

Die Ergebnisse der Modellierung zeigen für die Jahre 2018 und vor allem für das Zukunftsjahr 2050 eine starke Verbesserung der Wasserversorgung auf der Fläche. Hinsichtlich der sich weiter verstärkenden Auswirkungen des Klimawandels, stellt die Anpassungsmaßnahme Waldumbau, eine sehr wirkungsvolle Maßnahme dar, den Wald an zukünftig auftretende Trockenperioden anzupassen und den Bestand auch in Zukunft zu sichern.

4.4.3. Modellierungsergebnisse Geflügelhof Kaiser

Für die Modellierung wurden nahezu die gleichen Maßnahmen ausgewählt wie für den Hof Baur. Auch für die Modellierung des Landschaftsausschnitts um den Hof Kaiser wurden zunächst Grünland-Maßnahmen: Arten- und Sortenwahl und Anpassung der Bewirtschaftung modelliert. Es folgten die Agroforstsystem-Maßnahmen mit einer Kombination Agroforstsysteme-1: Heckeneinsatz in landwirtschaftlichen Flächen Agroforstsysteme-2: Agroforstsysteme auf ganzer Fläche wie sie in Kap. 4.3.3 beschrieben werden. Ebenso wurde die Wirkung der bereits umgesetzten pfluglosen Bewirtschaftung zunächst als Einzelmaßnahme modelliert. Die Ergebnisse für diese Einzelmaßnahmen sind im Anhang (Kap. 8.1.3) im Detail beschrieben.

Anschließend wurde eine Kombination folgender Maßnahmen auf Landschaftsebene modelliert und mit dem Ist-Zustand verglichen:

- **Grünland-1:** Arten- und Sortenwahl
 - Hitze- und trockenresistente Sorten
- **Grünland-2:** Wiesenmanagement
 - Veränderte Schnitthöhe, Reduktion der Mahd-Frequenz
- **Ackerbau-1:** Konservierende Landwirtschaft (Mulch/Direktsaat)
 - Bodenkonservierende Bearbeitung durch Mulchsaatverfahren, im Idealfall mit Direktsaat oder nur oberflächlicher Bearbeitung.
- **Agroforstsysteme-1:** Heckeneinsatz in landwirtschaftlichen Flächen
 - Hecken auf Grünlandflächen für Geflügel
- **Agroforstsysteme-2:** Agroforstsysteme auf ganzer Fläche
 - Installation eines neuen Hühnerstalls in Verbindung mit KUP aus Weiden und Pappeln
 - Anbau von Obstbäumen auf Acker- und Grünlandflächen
- **Retentionsflächen-1:** Retentionsgehölze
 - Anlegen oder Erweitern von Retentionsgehölzen entlang der Bäche im Grünland.

Die Anordnung der Maßnahmen im Modellbetrieb Kaiser veranschaulicht die Karte in Abbildung 13. Die resultierenden Flächenanteile für die Baseline und die Umsetzung der Maßnahmen ist in Tabelle 17 dargestellt. Es wurden ebenfalls die Modelljahre 2012, 2018 sowie das Zukunftsjahr 2050 modelliert. Im Ergebnisteil werden ausschließlich die Ergebnisse auf Landschaftsebene anhand der drei Output-Parameter Bodenwasserspeicher, Anzahl an Trockentagen und Länge der Trockenperiode dargestellt und besprochen.

Tabelle 17: Maßnahmenflächen – Modellierung Hof Kaiser

Szenario	Maßnahme	Wiese	Acker	Agroforst	KUP-Hühnerauslauf	Retentionsgehölze	Gesamt
Baseline	Fläche in ha	314	230				544
	Flächenanteil	58%	42%				100%
Wassermaßnahmen	Fläche in ha	265	210	55	7	6	544
	Flächenanteil	49%	39%	10%	1%	1%	100%

Die Annahmen und Parametersetzung für die einzelnen Maßnahmengruppe sind im Anhang 8.1.3 detailliert wiedergegeben.

Ergebnisse der Modellierung auf Landschaftsebene

Tabelle 18 stellt eine Übersicht der modellierten Ergebnisse des Geflügelhofs Kaiser auf Landschaftsebene dar. Je nach Output-Parameter unterscheiden sich hier die Ergebnisse von den Modellierungen der Maßnahmen auf dem Hof Bauer sowie Hof Bolkart. Der Bodenwasserspeicher steigt bei Umsetzung der verschiedenen Maßnahmen zwar deutlich an, sowohl die Zahl der Trockentage als auch die Dauer einer zusammenhängenden Periode, kann sich je nach Maßnahme verlängern.

Tabelle 18: Übersicht Modellierungsergebnisse Geflügelhof Kaiser auf Landschaftsebene

	Modelljahre	Base-line	Maßnahmen	Änderung*
Mittlerer Bodenwasserspeicher April-Oktober [mm]	2012 = normal	50	71	+ 44 %
	2018 = trocken	37	53	+ 43 %
	2050 = trocken-warm	13	19	+ 45 %
Trockentage [Tage]	2012 = normal	0	0,75	nicht eindeutig
	2018 = trocken	34	39	+ 16 %
	2050 = trocken-warm	195	195	nicht eindeutig
Max. Trockenperiode [Tage]	2012 = normal	0	0,75	nicht eindeutig
	2018 = trocken	29	29	nicht eindeutig
	2050 = trocken-warm	115	131	+ 13 %

* rundungsbedingte Abweichungen

Bewertung der Modellierungsergebnisse

Auf den flach- bis mittelgründigen Böden im modellierten Gebiet um den Hof Kaiser kommt es in der Klimawandel Zukunft bei einem Trockenjahr – Modelljahr 2050 – zu einem drastischen Einbruch der pflanzenverfügbaren Bodenwassermenge. Es stehen mit dem Mix der derzeitigen Landnutzung nur noch ca. 25% der Wassermenge und bei Umsetzung der Maßnahmen für ein verbessertes Wassermanagement noch 38% der Bodenwassermenge zu Verfügung. Unter den 3 Höfen hat der Hof Kaiser die größte Trockenheit zu befürchten.

Im Gegensatz zu den Modellierungsergebnissen für den Hof Baur sowie den Kolbenhof, zeigen die Ergebnisse für den Geflügelhof Kaiser nicht ausschließlich positive Resultate. Zwar steigt der durchschnittliche Bodenwasserspeicher über alle Szenarien sowie Modelljahre hinweg deutlich (um ca. 45%) an, jedoch nehmen bei einigen Umsetzungsmaßnahmen auch Anzahl sowie Dauer der Trockentage für die Pflanzendecke leicht zu. Dies liegt vor allem an der zum Teil niedrigeren Gründigkeit bzw. Durchwurzelungstiefe und damit geringeren NFK der Böden, die im Bereich des Muschelkalks als limitierender Faktor wirkt. Die Böden auf dem Geflügelhof Kaiser sind auf den höhergelegenen, ebenen Plateau-

lagen flachgründiger, wodurch auch die größere potenzielle Wurzeltiefe der Gehölze bei Agroforstmaßnahmen Limitierungen in der Gründigkeit erfährt. Anders als in den Plateaulagen ergeben sich in den Hang- und Tallagen aber auch hier gegenüber der Baseline Verbesserungen in der Bodenwasserverfügbarkeit, da die Böden durch die Gehölzpflanzen (Agroforsthecken, Agroforstgehölze, Obstbaumwiesen) tiefer durchwurzelt werden und mehr Wasser genutzt werden kann. Der Anstieg zeigt sich in den verschiedenen Modelljahren jedoch nur in einer sehr geringen Prozentzahl. Je nach Jahr, Maßnahme und Periodendauer, steigen die Ergebnisse lediglich um zwischen 0,75 und 16 % an. Der positive Effekt auf die Erhöhung des pflanzenverfügbaren Bodenwasserspeichers von ca. 45% bleibt über alle Jahre und Maßnahmen erhalten.

5. Wirkung und Relevanz auf Naturparkebene

5.1. Maßnahmen und deren Wirksamkeit auf Naturparkebene

Die Machbarkeitsstudie hat im Maßnahmenkatalog Vorschläge für ein verbessertes Wassermanagement in der land- und forstwirtschaftlichen Bewirtschaftung als Antworten auf den Klimawandel entwickelt. Für fünf unterschiedliche Landnutzungsarten wurden insgesamt rund 20 verschiedene Maßnahmen ausgewählt und bewertet. Die Gründe und Einschätzung für die Umsetzbarkeit dieser Maßnahmen auf Ebene der Modellbetriebe wurde im vorangegangenen Kapitel erstellt. Dieser Kapitel enthält die Beschreibung und Bewertung aller Maßnahmen.

Für die Einschätzung der Wirksamkeit beruht auf fünf Indikatoren zu einer verbesserten Wasserverfügbarkeit bzw. verhinderten Erosion sowie 4 Indikatoren zu einer verbesserten Bodengesundheit. Für alle Maßnahmen auf der Ebene des Naturparks Südschwarzwald wurde die Flächenrelevanz ermittelt. Je positiver die Wirkung und je größer die anwendbare Fläche einer Maßnahme ist, desto wirksamer ist die Umsetzung im Gebiet des Naturparks, um die Ziele des Projektes zu erreichen. Es wurden nur Maßnahmen betrachtet, die auch eine flächenhafte Wirkung entfalten können.

Tabelle 19 stellt das Ergebnis der Bewertung der Maßnahmen dar. Die Tabelle umfasst zudem die Bewertungen der Einflüsse der Maßnahmen auf Kosten, Ertrag und Produktqualität und zieht diese als Mittelwert der „Wirtschaftlichkeit“ zusammen. Zuletzt werden die Bewertungsergebnisse in Bezug auf die Indikatoren Biodiversität und Kohlenstoffspeicher angeführt.

Im Ergebnis zeigt sich, dass wegen ihrer Flächenrelevanz vor allem Maßnahmen im Wald- und auf Grünland im Gebiet des Naturparks wirksam sind; eine hohe potenzielle Flächenbedeutung besitzen Agroforstmaßnahmen.

Tabelle 19: Maßnahmenkatalog mit der Bewertung der Maßnahmenwirksamkeit auf Ebene des gesamten Naturparks

(es bestehen rundungsbedingte Abweichungen bei einzelnen Werten)

Maßnahme	existierende Fläche (ha)	anwendbare Fläche (ha)	Wirksamkeit	Wirtschaftlichkeit				Bio-diversität	Kohlenstoff
				Gesamt	Kosten	Ertrag	Produktqualität		
Grünland-1: Arten- und Sortenwahl	105.052	105.052	2,1	1,1	-1,3	2,3	2,3	2,5	2,7
Grünland-2: Wiesenmanagement, angepasste Agronomie			1,5	0,8	1,3	0,7	0,3	0,7	0,5
Grünland-3: Weidemanagement (Rotation, Anpassung der Besatzdichte)			2,2	0,0		1,0	-1,0	2,5	2,7
Grünland-4: Trinkwasserversorgung			0,3	-1,5	-3,0	0,0		0,0	0,0
Ackerbau-1: Konservierende Landwirtschaft (Mulch/Direktsaat)	1.468	1.468	2,5	0,7	-2,0	2,3	1,8	2,8	3,0
Ackerbau-2: Trockenresistente Kulturen			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7
Agroforstsysteme-1: Heckeneinsatz in landwirtschaftlichen Flächen	1.468	106.493	1,2	-0,3	-2,0	1,0	0,0	3,0	1,0
Agroforstsysteme-2:Agroforstsysteme auf ganzer Fläche			1,2	-0,2	-1,5	1,5	-0,5	4,0	4,0
Retentionsflächen-1: Retentionsgehölze / Pufferflächen	1.485	1.485	1,6	-0,7	0,0	-2,0	0,0	2,7	2,0
Retentionsflächen-2: Abflusssteuerung (Bremsung) von Gewässern		1.485	1,5					2,5	1,0
Retentionsflächen-3: Retentionsmulden		1.485	1,6	0,0	-1,0	1,0		2,5	1,5
Retentionsflächen-4: Management des Wasserhaushalts von Mooren		116	0,8	-2,7	-2,0	-3,0	-3,0	5,0	3,5
Waldwege-1: Berücksichtigung der optimalen Weglage bei Wegeneubau	255.988	3.072	1,7	-1,3	-4,0	1,0	-1,0	0,8	1,0
Waldwege-2: Wegerückbau		1.536	1,6	-0,2	-2,5	2,0	0,0	0,0	1,0
Waldwege-3: Veränderte Wasserableitung / Wassereinleitung in Bestände		1.536	1,8	0,7	-2,8	2,5	2,3	3,0	1,0
Waldbau-1: Optimierung der Baumartenzusammensetzung		127.994	1,1	-0,3	0,0	-1,0	0,0	2,0	-0,3
Waldbau-2: Optimierung Bestockungsdichte und vertikalen Aufbaus	127.994	1,3	-0,2	-0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	
Waldbau-3: Optimierung von Verjüngungsverfahren	2.560	1,0	-0,2	-0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	
Waldböden-1: Erhaltung der Bodenstruktur	25.599	1,2	-0,8	-3,5	1,0	0,0	1,0	2,0	
Obstbau/Sonderkulturen-1: Bewässerung	4.055	4.055	1,0	1,8	-3,0	4,0	4,3	0,0	1,0
Obstbau/Sonderkulturen-2: Trockenresistente Kulturen			0,7	1,2	-1,0	2,0	2,7	0,0	1,0
Obstbau/Sonderkulturen-3: Teiche, Rückhaltebecken			1,2	3,2		3,3	3,0	1,0	1,7
Obstbau/Sonderkulturen-4: Humus / Kompost			1,8	2,3		2,7	2,0	2,0	4,3

Um die Landschaft als Wasserspeicher im Gebiet des Naturparks insgesamt zu verbessern, sollten vor allem die folgenden Maßnahmen auf großer Fläche umgesetzt werden:

- Waldbau-1: Optimierung der Baumartenzusammensetzung
- Waldbau-2: Optimierung der Bestockungsdichte und des vertikalen Aufbaus
- Grünland-1: Arten- und Sortenwahl
- Grünland-2: Wiesenmanagement, angepasste Agronomie
- Grünland-3: Weidemanagement (Rotation, Anpassung der Besatzdichte)
- Agroforstsysteme-1: Heckeneinsatz in landwirtschaftlichen Flächen
- Agroforstsysteme-2: Agroforstsysteme auf ganzer Fläche

Die Wirtschaftlichkeit wird dabei besonders günstig bei einem angepassten Wiesenmanagement und Weidemanagement eingeschätzt. Die notwendigen Investitionen und Ertragsverluste beeinträchtigen die Wirtschaftlichkeit beim Waldumbau (Waldbau 1+2) und auch bei der Einführung von Agroforstsystemen. Allerdings sind dies jeweils moderate Effekte.

Für die Betriebe können einzelne Maßnahmen dagegen eine hohe Wirkung entfalten, wie die hohen Punktzahlen für einige der Maßnahmen zeigen:

- Ackerbau-1: Konservierende Landwirtschaft (Mulch/Direktsaat)
- Grünland-3: Weidemanagement (Rotation, Anpassung der Besatzdichte)
- Obstbau/Sonderkulturen-4: Humusaufbau / Komposteinsatz
- Retentionsflächen-1: Retentionsgehölze

Für fast alle Maßnahmen sind die Wirkungen auf Biodiversität und die Kohlenstoffspeicherung positiv, eine wichtige Synergie mit diesen beiden Umwelt- und Klimaschutzzielen wird deutlich. Lediglich die Anpassung der Baumarten beim Waldumbau wird die Kohlenstoffspeicher leicht reduzieren, da die klimaangepassten, resilienten (Laub)Baumarten nicht die gleiche Produktivität erwarten lassen wie die heutigen Bestockungen, deren Labilität und Umbaunotwendigkeit aber insbesondere die Trockenjahre mit Dürre und Borkenkäferschäden gezeigt haben.

5.2. Umsetzung - Ergebnis der Praxisgespräche für Hof Baur und die Gemeinde Bernau

Die Liste der identifizierten Maßnahmen, die sich für die Hofflächen und Allmendweiden am Kaiserberg eignen, wurde mit Frau Baur und der Gemeinde diskutiert und in einer Exkursion des Beirats am 23.07.2021 vorgestellt. Die Gemeinde hat in den trockenen Jahren 2018 bis 2020 die Veränderungen auf den süd-exponierten Weiden zu spüren bekommen und die Landwirte, die sie nutzen, hatten mit erheblichen Problemen zu kämpfen. Im Jahr 2020 waren Tränkewasserzisternen zum ersten Mal leer, die nach Erinnerung des Betriebs und des Weidewarts „noch nie“ trockengefallen waren. Die Sensibilität für das Thema war bei der Gemeinde groß. In derselben Zeit hatte die Gemeinde ein Gutachten in Auftrag

gegeben, die Quellwasserversorgung der Gemeinde aus dem eigenen Tal heraus zu prüfen und eventuelle Ausweitungen von Quellfassungen und Brunnenanlage zu planen.



Abbildung 26: Präsentation und Diskussion der identifizierten Maßnahmen am 23.07.2021

Quelle: Roland Schöttle, Naturpark Südschwarzwald

Gemeinde und Betrieb sprachen sich für eine Priorisierung und mittelfristige Planung der vorgeschlagenen Maßnahmen aus. Dabei sollen zunächst 1-2 Zisternen für die Versorgung des Weideviehs erweitert werden. Für die Anlage oder Vergrößerung von Zisternen wurden Kunststoff-Tanks diskutiert und empfohlen. Kunststoff Zisternen mit einer Kapazität von 3.000 l liegen preislich bei etwa 1.500 Euro.

In der ersten Phase könnte sich die Gemeinde auch die Anlage von 2-3 der angedachten Retentionsmulden vorstellen. Die bei Drainage der Mähwiesen am Mittel- und Unterhang entstandenen Wasserableitungen waren mit einigen Weihern verbunden. Manche dieser Weiher können aktiviert und vergrößert werden. An mehreren Stellen können am Oberhang durch den Fahrwegbau entstandene Dämme genutzt werden, um dahinter Staufflächen mit geringem Aufwand und guter Regelbarkeit zu erzielen. Auch die konsequente Einbindung von Retentionsgehölzen mit dem Effekt der Beschattung und des Erosionsschutzes war Konsens.

Bei der Anlage von Hecken oder Agroforst Elementen erscheinen die rechtlichen Hürden in der landwirtschaftlichen Flächenförderung als Hindernis für eine rasche Umsetzung noch im Lauf dieses Projekts im Wege zu stehen. Konsens war, dass diese durch Auszäunung, leichte Bodenverwundung und Initialpflanzungen von Bäumen aus der nachfolgenden natürlichen Ansammlung zahlreicher Gehölz- und Baumarten kostengünstig etabliert werden können.

Für alle Maßnahmen galt, dass sie in geringer Anzahl und auf kleinen Flächen testweise und am besten unter fachkundiger Begleitung umgesetzt werden sollen.

5.3. Umsetzungshemmnisse

Die Entwicklung von Agroforstsystemen mit Hecken und Weidfeld-Bestockungen wirft in mehrerer Hinsicht Fragen auf. Zum einen ist es der Bezug zur Flächenförderung. Diese Hecken und Weidfeld-Bestockungen sollen Teil der geförderten Fläche bleiben. Sie werden allerdings nicht mehr als Grünlandfläche bewirtschaftet, also weder gemäht noch beweidet. Dies ist derzeit noch nicht geregelt. Ob sie kartiert werden und in Grenzen eingebettet sein müssen oder sich dynamisch gemeinsam mit den angrenzenden Grünlandflächen als ein Landschaftskomplex mit einer verbesserten Retentionswirkung entwickeln können, ist unklar. Hier kollidieren unterschiedliche Bewirtschaftungsformen mit unterschiedlichen Förderkulissen. Generell wichtig wäre der Erhalt der Förderfähigkeit dieser Flächen innerhalb der landwirtschaftlichen Förderung für Grünland oder speziell für Agroforstsysteme.

Es ist Bewegung in die Thematik Agroforstsysteme – wie Streuobstwiesen, Nussbaumwiesen, Streifen von Energiegehölzen auch Mischung von Wertholz und Fruchtbäumen mit Acker- und Weideflächen als Agroforstsystem – gekommen. Die formalen Hürden für die Beantragung sind aber derzeit immer noch erheblich (Trennung aller Streifen als eigene Flächen und getrennte Beschreibung).

Komplexitätssteigernd ist, dass Grünland häufig auch mit unterschiedlichen Naturschutzkulissen belegt ist. Insbesondere bei FFH-Gebieten (z.B. Bergmähwiesen, Borstgrasrasen) bestehen Restriktionen durch das Verschlechterungsverbot in Bezug auf den Ausgangszustand. Inwiefern die Möglichkeit besteht, Flächen für gezielte Retentionsmaßnahmen herauszunehmen, um so auch ggf. zum Erhaltungszustand des FFH-Gebietsstatus der davon profitierenden Grünlandflächen beizutragen, ist unklar. Auch aus der Perspektive der Veränderung der Standortbedingungen durch den Klimawandel ist eine stärkere Flexibilisierung bei der Betrachtung von FFH-Flächen in jedem Fall begrüßenswert.

Flächige Wirkung erzielen die Maßnahmen durch eine kluge Vernetzung. Die oben dargestellten Ergebnisse aus der Betrachtungsebene eines Wassereinzugsgebietes haben gezeigt, wie wichtig dieser größere Fokus ist. Daher sind gut vernetzte Maßnahmen (wie auch in ihrer Gesamtheit für den Hof Baur beim Flächenbegang diskutiert) sinnvoller als isolierte, singuläre Maßnahmen. Ggf. wäre es im Sinne eines Bewirtschaftungsplans auf Wassereinzugsgebietsebene (oder anderer sinnvoll abgrenzbarer Einheiten) die Formulierung ganzer Maßnahmenbündel wirkungsvoller, wenn diese auch über Eigentums-/ Bewirtschaftungsgrenzen hinweg schwieriger in der Umsetzung sind.

Es muss auch die Akzeptanz zu einer Änderung des Landschaftsbildes und der Abgrenzung der Landnutzungsarten geschaffen werden. Zum einen ist die scharfe Trennung der Landnutzungsarten (Grünland, Ackerland, Wald) schon von jeher kaum passend für die (vorwiegend extensiv) bewirtschafteten Gebiete des Schwarzwaldes. Halboffene Strukturen, im Wechsel von Wald, Offenland und Flächen mit Gehölzstrukturen sind hier oft typischere Landschaftsbilder einer tatsächlichen Nutzung. Mit einem Ansatz von 25 % Agroforst- und Retentionsfläche wurde in dem Beispiel Hof Baur auch ein wesentlicher Teil der Fläche für ein verbessertes Wassermanagement von Grünland hin zu mit Gehölzen bestockten Flächen vorgesehen.

6. Empfehlungen für umsetzungsorientierte Politikmaßnahmen

Aus der Beschäftigung mit dem Thema Landschaft als Wasserspeicher, dem intensiveren Eingehen auf die Flächen Baur und der Modellierung von bestimmten Maßnahmen wurden, neben den bereits angeführten technischen Maßnahmen, nachfolgend Vorschläge für die Politik ausgearbeitet.

Maßnahmenfinanzierung über Förderung

Die Finanzierbarkeit ist entscheidend für den Willen von Betrieben zur Umsetzung von Maßnahmen eines verbesserten Wassermanagements. Drei Komponenten sind hier ausschlaggebend:

- der Ausgleich von Ertragsverlusten auf nicht mehr landwirtschaftlich bewirtschafteten Flächen,
- die investiven Kosten einer erstmaligen Umsetzung der Maßnahmen,
- die Aufwände für die Aufrechterhaltung der Wirkung der Maßnahmen.

Instrumente der Finanzierung liegen zum einen in der Förderung. Es war neben der Höhe insbesondere die Langfristigkeit einer Einkommensverlustprämie für Erstaufforstungen, die eine Anreizwirkung zur Aufforstung (oftmals hofferner und weniger ertragreicher) Standorte entfaltet hatte. Die Berechenbarkeit einer Förderung spielt in der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung insbesondere vor dem Hintergrund von Hofübergaben eine große Rolle.

Daneben geht bei einer Förderung in starkem Maße um die Anerkennung dieser Leistungen für die Gesellschaft. Denn diese Leistungen müssen geplant, umgesetzt und deren Funktionalität aufrechterhalten werden. Die Unklarheit bezüglich der Förderfähigkeit von Agroforst-Maßnahmen – es gibt keine geeignete GAK-Regelung im Jahr 2022 für die vorgeschlagenen Maßnahmen für den Hof Baur – steht exemplarisch für die Herausforderungen im Kontext der Förderung. Denkbar wäre hier ein Fördertatbestand für ein verbessertes Wassermanagement auf Grünland- und Agroforstflächen. Dies könnte in Anlehnung an die „Förderung zur Bewältigung der Folgen von Extremwetterereignissen im Wald“ (NWW Förderbereich F) konzipiert werden.

In Summe muss eine finanzielle Abfederung für Maßnahmen zur Verbesserung eines Wassermanagements die Komponenten Eigenleistung, investive Kosten und Ertragsausfall im Blick haben und langfristig angelegt sein. Nur in diesem Paket dürfte es für die Bewirtschafteter interessant sein, sich dieser Maßnahmen anzunehmen.

Idee einer gebündelten Umweltförderung

Aus dem Kreis der Modellbetriebe wurde angeregt, die kommunale und landwirtschaftliche Förderung für Starkregen und Überflutungsvorsorge, Mittel und Programme für Biotopvernetzung, Gutachten zur Wasserversorgung und Konzepte zur Kohlenstoffbepreisung

zu bündeln. Auf Gemeindeebene sollen die dort ansässigen Betriebe in eine umfassende Umweltförderung einbezogen und Lösungen auf land- und forstwirtschaftlichen Flächen umgesetzt werden.

Dies ist eine ambitionierte Forderung, setzt sie doch auch nicht allein auf eine Umsetzung innerhalb Baden-Württembergs, sondern spricht auch EU-förderrechtliche Aspekte (De-minimis-Beihilfe-Regelung, Notifizierung) an.

Markt-basierte Instrumente und freiwillige Partnerschaften zur Finanzierung von Maßnahmen

Neben einer durch öffentliche Gelder finanzierten Unterstützung für die ausgewählten Maßnahmen, sollten auch markt-basierte Instrumente oder direkte, freiwillige Partnerschaften mit privaten Organisationen oder Unternehmen entwickelt werden. Hierbei sind beispielsweise Ansätze wie beim freiwilligen Kohlenstoffmarkt auch für andere Ökosystemdienstleistungen wie die Bereitstellung von Trinkwasser durch aktive Maßnahmen denkbar (Bauhus 2021).

Dies ist jedoch ein langer und komplexer Weg, da unter anderem glaubwürdig quantifiziert werden muss, welche Aktivitäten eine Zusätzlichkeit zur Bereitstellung von (Trink-)Wasser bzw. zur Reduzierung des heutigen Wasserverbrauches darstellen. Des Weiteren müsste ein offizielles, unabhängiges Instrument entwickelt werden, welches die Maßnahmen dementsprechend zertifiziert und somit einen Markt kreieren würde. Nichtsdestotrotz sind dementsprechende Diskussionen im Rahmen der Inwertsetzung von Ökosystemdienstleistungen bereits im Gange und könnten zukünftige private Gelder zur Umsetzung der hier erwähnten Maßnahmen bereitstellen. Die Bereitschaft von Unternehmen in örtliche Maßnahmen zu investieren, steigt nach Auffassung und Erfahrung der Autoren. Gerade Baden-Württemberg mit einem leistungsstarken Mittelstand könnte hier eine Vorreiterrolle spielen.

Leuchtturmprojekte mit langfristigem Monitoring

Möglichkeiten zur weiteren Entwicklung der Konzepte bieten der Erkenntnisgewinn aus erfolgreichen – aber auch aus nicht erfolgreichen – Umsetzungsbeispielen. Umsetzungsbeispiele aus dem Projektportfolio der Naturparke, aus Leader-Projekten oder aus dem Vorhaben bodenständig in Bayern zeigen, dass aus einer Vielzahl von Maßnahmen in der Praxis wichtige Lernerfahrungen gezogen werden können.

Die diskutierten Verbesserungen im Betrieb Baur in Bernau würden sich für eine derartige Umsetzung des definierten Maßnahmenbündels eignen. In mehreren der Pilotbetriebe haben Bewirtschafter/Landwirte und auch die kommunalen Entscheidungsträger Interesse an einer Fortführung im Sinne einer Umsetzung der vorgeschlagenen Maßnahmen zur Retention formuliert.

Dabei wird deutlich, dass diese Maßnahmen gleichzeitig in ein langfristiges Wirkungsmonitoring eingebunden werden müssen. Nach der Umsetzung ist Monitoring notwendig, das die Wirkungen über einen ausreichend langen Zeitraum misst, um den Nutzen für die Erstinvestition und die Aufrechterhaltungskosten darstellen zu können.

Monitoring lässt sich idealerweise auch Forschungsarbeiten der Hochschulen und Landesforschungsanstalten anbinden. Modellierungsergebnisse, prognostizierte und gemessene Ergebnisse könnten verbunden und für Verbesserungen und eine weitere Übertragbarkeit genutzt werden.

Organisatorische Verstetigung

Projektbezogene Vorhaben besitzen starken Innovationscharakter mit fundiertem Überblick über methodisch-technische Lösungen, haben aber den Nachteil, dass kleinere Maßnahmen mit lokalem Bezug und starker Umsetzungsrelevanz aufgrund von Antragsaufwand und längeren Entscheidungsprozessen nicht zur Umsetzung gelangen. Das Vorhaben boden:ständig versteht es, diese kleineren, lokalen Vorhaben zu fördern und so vielfältige Erfahrungen zu sammeln. Bayernweit laufen aktuell rund 80 Projekte. Dabei ist eine Grundfinanzierung für die Organisation und Projekte gegeben. Die Initiativen für die Projekte kommen von den Akteuren „auf der Fläche“. Das Vorhaben versteht sich als „... eine Ermöglicherplattform, koordiniert von der Bayerischen Verwaltung für Ländliche Entwicklung.“ (<https://www.boden-staendig.eu/ueber-uns>).

Zu einer raschen und unkomplizierten Umsetzung von Ansätzen, wie sie in den Betrieben dieser Machbarkeitsstudie entwickelt wurden, wäre der Aufbau einer organisatorischen Struktur in Baden-Württemberg nötig. Wo diese angehängt werden könne, ob in den kommunalen Strukturen beispielsweise (z.B. bei den LEVen), in bestehenden Organisationen zur Förderung der ländlichen Räume (wie z.B. den Naturparks) sowie die Frage der Finanzierung wäre nach einer grundsätzlichen Zustimmung zu diskutieren. Damit könnten Transaktionskosten gespart werden, vor allem aber könnten innovative Ideen zum Wassermanagements viel schneller Eingang in die Praxis finden.



Abbildung 27: Abschlussveranstaltung des Projekts Landschaft als Wasserspeicher am 23.05.2022

Beratung, Schulung und Öffentlichkeitsarbeit

Um die notwendigen Erfahrungen zu sammeln und auf die Fläche zu bringen, bedarf es geschulter Beraterinnen und Berater bei den unteren Landwirtschafts-, Forst-, Wasser-, Boden- und Naturschutzbehörden. Das Thema Wasser sowie die Nutzung von Landschaft als Wasserspeicher sollten Bestandteil von Schulungsangeboten sein. Dabei geht es insbesondere um Möglichkeiten für die kleiner strukturierten und extensiv wirtschaftenden Betriebe im Schwarzwald ein verbessertes Wassermanagement aufzuzeigen. Dass dies auch Nutzen für die tiefer liegenden Gebieten haben kann, hat die Untersuchung dargelegt.

Während sich die Maßnahmen im Wald nur wenig auf Waldbilder und Gesamteindruck auswirken bedeuten Agroforstmaßnahmen einen Eingriff in das Landschaftsbild. Der Strukturreichtum nimmt zu, Offenlandflächen werden wesentlich stärker durch Gehölzstreifen und durchbrochen. Enthurstungsansätze, die mit der Extensivierung der Landwirtschaft im Schwarzwald über Jahrzehnte verfolgt wurden, um Flächen offen zu halten und auch die landwirtschaftliche Förderfähigkeit zu erhalten, werden durch die Empfehlung von Agroforstsystemen konterkariert. Dieser Wechsel wird zu Irritationen führen. Daher ist es notwendig, Überlegungen und erst recht Planungen zur gezielten Teilbestockung von Grünlandflächen in die Öffentlichkeit zu bringen, zu informieren und um Akzeptanz zu werben.

Ergebnisse des Projektes „Landschaft als Wasserspeicher“ wurden in diversen Medien und bei Vor-Ort-Veranstaltungen beworben. Durch das Engagement der Landwirtinnen und Landwirte findet das Thema auch in den Medien Resonanz (siehe Beitrag SWR 2022).

7. Literaturverzeichnis

- Agrarpolitik & Förderung, Infodienst Landwirtschaft-Ernährung-Ländlicher Raum (2020). Nachhaltige Waldwirtschaft (NWW). Online verfügbar https://foerderung.landwirtschaft-bw.de/pb/,Lde/Startseite/Foerderwegweiser/Nachhaltige+Waldwirtschaft+_NWVW_.
- Agrarpolitik & Förderung, Infodienst Landwirtschaft-Ernährung-Ländlicher Raum (2020). Stärkung des ökologischen Landbaus. Online verfügbar <https://foerderung.landwirtschaft-bw.de/pb/,Lde/Startseite/Foerderwegweiser/Staerkung+des+oekologischen+Landbaus>.
- Agrarpolitik & Förderung, Infodienst Landwirtschaft-Ernährung-Ländlicher Raum (2022). Agrarumwelt, Klimaschutz und Tierwohl (FAKT): F-Freiwillige Maßnahmen zum Gewässer- und Erosionsschutz. Online verfügbar https://foerderung.landwirtschaft-bw.de/pb/,Lde/Startseite/Foerderwegweiser/F_Gewaesserschutz.
- Agrarpolitik & Förderung, Infodienst Landwirtschaft-Ernährung-Ländlicher Raum (2022). Direktzahlungen. Online verfügbar <https://foerderung.landwirtschaft-bw.de/pb/,Lde/Startseite/Foerderwegweiser/Betriebspraemie>.
- Agrarpolitik & Förderung, Infodienst Landwirtschaft-Ernährung-Ländlicher Raum (2022). Förderung von Investitionen in kleinen landwirtschaftlichen Betrieben (IkB). Online verfügbar <https://foerderung.landwirtschaft-bw.de/pb/,Lde/Startseite/Foerderwegweiser/Foerderung+kleiner+landwirtschaftlicher+Betriebe>.
- Assmann, S., & Oelke, M. (2010). AFS als Erosionsschutz. Multifunktionale Bewertung von Agroforstsystemen. Freiburg, 16-37. Online verfügbar <https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-22437.pdf>.
- Bauhus, J. et al. (2021): Die Anpassung von Wäldern und Waldwirtschaft an den Klimawandel. Berichte über Landwirtschaft - Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft Sonderheft 233. November 2021 doi:10.12767/BUEL.VI233.386.
- Baumgärtel (2018) Tipps zur zum Umgang mit dürrebeschädigtem Grünland. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft 2018. Online verfügbar http://www.tll.de/www/daten/pflanzenproduktion/futterbau_gruenland/dgl0818.pdf.
- Bender et al. (2009). Moderne Agroforstsysteme mit Werthölzern. Leitfaden für die Praxis. Online verfügbar <https://www.agroforst.uni-freiburg.de/download/agroforstsysteme.pdf>.
- BMEL 2019. Hygienische Qualität von Tränkwasser. Orientierungsrahmen zur futtermittelrechtlichen Beurteilung. Online verfügbar <https://www.bmel.de/DE/themen/tiere/futtermittel/orientierungsrahmen-traenkwasser.html>.
- BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2019). Nationale Waldschutzpolitik-Nationale Prozesse und Initiativen.
- Bundesforschungszentrum für Wald (2014). Durchforstung 2.0. Online verfügbar http://www.bfw.ac.at/webshop/index.php?controller=attachment&id_attachment=182.
- Bundesinformationszentrum Landwirtschaft (2022). Online verfügbar <https://www.praxis-agrar.de/pflanze/ackerbau/ackern-gegen-die-duerre>.
- Cornelius (2020) Weidetranke: So klappt's mit der Wasserversorgung. Agrarheute (08.05.2020). Online verfügbar <https://www.agrarheute.com/tier/rind/weidetraenke-so-klappts-wasserversorgung-543836>.
- Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft (2017). Online verfügbar https://e-prints.dbges.de/1598/1/abstracts_DBG2017_306.pdf.

- Deutscher Fachverband für Agroforstwirtschaft (2021) Pro und Contra Agroforst: Was spricht für und gegen Agroforst. Online verfügbar <https://agroforst-info.de/chancen/>.
- Deutscher Wetterdienst (DWD) (o. D. a). Klimawandel. Online verfügbar <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?lv2=101334&lv3=101460>.
- Deutscher Wetterdienst (DWD) (o. D. b). Klimawandel – ein Überblick. Online verfügbar https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimawandel/ueberblick/ueberblick_node.html.
- Deutscher Wetterdienst (DWD) (o. D. c). Extremwetterereignis. Online verfügbar <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?nn=103346&lv2=100652&lv3=100780>.
- Deutscher Wetterdienst (DWD) (o. D. d). Starkregen. Online verfügbar <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/begriffe/S/Starkregen.html>.
- Dietz, P., Knigge, W., Löffler, H. (1984): Walderschließung. Lehrbuch für Studium u. Praxis unter besonderer Berücksichtigung des Waldwegebbaus. Parey. Hamburg.
- Elsäßer M. (2018) Trockenheit und Hitzestress lassen Graserträge schrumpfen. Online verfügbar https://lazbw.landwirtschaft-bw.de/pb/site/pbs-bw-new/get/documents/MLR.LEL/PB5Documents/lazbw_2017/lazbw_gl/Gr%C3%BCnlandwirtschaft_und_Futterbau/Gr%C3%BCnlandbewirtschaftung/Intensiv/Dokumente_intensiv/2018_Trockenheit%20und%20Hitze.pdf?attachment=true.
- FISCHER TEAMPLAN INGENIEURBÜRO GMBH. Website online verfügbar <https://www.fischer-teamplan.de/service/impressum/>.
- Frijlink, M. und K. Piccart (2019) Hoeveel water en energie verbruikt een melkrobot? Boer & Tuinder, 21 November 2019. Online verfügbar <https://www.rundveeloket.be/sites/default/files/inline-files/Hoeveel%20water%20en%20energie%20verbruikt%20een%20melkrobot.pdf>.
- Flaig (2013) Anpassungsstrategie Baden-Württemberg an die Folgen des Klimawandels. Fachgutachten für das Handlungsfeld Landwirtschaft. Online verfügbar file:///C:/Users/S4F36~1.VAN/AppData/Local/Temp/95300-Anpassungsstrategie_an_den_Klimawandel_-_Fachgutachten_f%C3%BCr_das_Handlungsfeld_Landwirtschaft.pdf.
- Glatz, J. (2022) Wasserversorgung in der Milchrinderhaltung richtig gestalten. Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen. Online verfügbar <https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/technik/haltungsverfahren/wasserversorgung.htm>.
- Gebhardt, T., Grams, T., Häberle, K. H., Matyssek, R., Schulz, C., Grimmeisen, W., & Ammer, C. (2012). Helfen Durchforstungen bei Trockenheit? Erste Ergebnisse eines Versuchs zur Verbesserung der Wasserversorgung junger Fichtenbestände. LWF aktuell, 87, 8-10.
- Hartge, K. H., Horn, R., Bachmann, J., & Peth, S. (2014). Einführung in die Bodenphysik.
- Haude, W.: Zur Bestimmung der Verdunstung auf möglichst einfache Weise. Mitt. d. Dt. Wetterd.2, Nr. 11 (1955).
- Hildebrand (1983): Der Einfluss der Bodenverdichtung auf die Bodenfunktionen im forstlichen Standort. Online verfügbar <https://freidok.uni-freiburg.de/fedora/objects/freidok:5830/datasetstreams/FILE1/content>
- Jilg. Wasserversorgung auf der Weide. Landwirtschaftliches Zentrum für Rinderhaltung, Grünlandwirtschaft, Milchwirtschaft, Wild, Fischerei Baden-Württemberg (LAZBW). Online verfügbar https://www.landwirtschaft-bw.info/pb/site/pbs-bw-mlr/get/documents_E-54045258/MLR.LEL/PB5Documents/lazbw_rh/pdf/w/Wasserversorgung%20auf%20der%20Weide.pdf?attachment=true.

- Kempf, J., Billen, N., Assmann, A., Puhmann, H., & Von Wilpert, K. (2017). Klimaanpassung durch Stärkung des Wasser- und Bodenrückhalts in Außenbereichen (KliStar). 10. Deutsche Klimatagung, 21. bis 24. September 2015, Hamburg. Online verfügbar <https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/68225>.
- KLIWA Klimaveränderung und Wasserwirtschaft (2011). Langzeitverhalten von Grundwasserständen, Quellschüttungen und grundwasserbürtigen Abflüssen in Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz. Heft 16. ISBN 978-3-88251-362-2
- KLIWA Klimaveränderung und Wasserwirtschaft (2012). Klimawandel in Süddeutschland: Veränderungen von meteorologischen und hydrologischen Kenngrößen – Klimamonitoring im Rahmen des Kooperationsvorhabens KLIWA – Monitoringbericht 2011. Online verfügbar https://www.kliwa.de/_download/KLIWA_Monitoringbericht_2011.pdf
- KLIWA Klimaveränderung und Wasserwirtschaft (2017). Entwicklung von Bodenwasserhaushalt und Grundwasserneubildung in Baden-Württemberg, Bayern, Rheinland-Pfalz und Hessen (1951-2015). Heft 21. ISBN 978-3-88251-395-0.
- KLIWA Klimaveränderung und Wasserwirtschaft (2019). Starkregenniederschläge: Entwicklungen in Vergangenheit und Zukunft – Kurzbericht (Stand 07/2019). Online verfügbar: https://www.kliwa.de/_download/KLIWA-Kurzbericht_Starkregen.pdf
- KLIWA Klimaveränderung und Wasserwirtschaft (2021). Klimawandel in Süddeutschland: Veränderungen von meteorologischen und hydrologischen Kenngrößen – Klimamonitoring im Rahmen der Kooperation KLIWA – Monitoringbericht 2021. Online verfügbar https://www.kliwa.de/_download/KLIWA_Monitoringbericht_2021.pdf
- KLIWA Klimaveränderung und Wasserwirtschaft (2022a). Bodenwasserhaushalt und Grundwasserneubildung aus Niederschlag. Online verfügbar <https://www.kliwa.de/grundwasser-wasserhaushalt.htm>
- KLIWA Klimaveränderung und Wasserwirtschaft (2022b). Grundwasserstände und Quellschüttungen Langzeitverhalten (Vergangenheit). Online verfügbar <https://www.kliwa.de/grundwasser-wasserstaende-langzeitverhalten.htm>
- KLIWA Klimaveränderung und Wasserwirtschaft (2022c). Grundwasserstände und Quellschüttungen Zukünftige Veränderungen. Online verfügbar <https://www.kliwa.de/grundwasser-wasserstaende-zukunft.htm>
- KLIWA Klimaveränderung und Wasserwirtschaft (2022d). Grundwasserstände und Quellschüttungen. Online verfügbar <https://www.kliwa.de/grundwasser-wasserstaende.htm>
- Kopp, B., Baumeister, C., Guder, T., Hergsell, M., Kampf, J., Morhard, A., Neumann, J. (2018). Entwicklungen von Bodenwasserhaushalt und Grundwasserneubildung in Baden-Württemberg, Bayern, Rheinland-Pfalz und Hessen von 1951 bis 2015. doi: 10.5675/HyWa_2018,2_1
- Kosanin, O., Kostadinov, S., Markart, G. (2016). Improved Forest Management Planning in Serbia – runoff and erosion. Workshop “Forest Sites and Water”, Banja Koviljaca, 10.02.2016. Bundesforschungszentrum für Wald – Institut für Naturgefahren.
- Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie 2016: Schädliche Bodenverdichtung vermeiden. Online verfügbar <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/26307>.
- Landratsamt Lörrach (2021) Tränkewasserversorgung im Höhengebiet des Südschwarzwalds. Ist-Situation und Bedarf. Vorstellung Bedarfsermittlung im Beratungsgebiet Lörrach.
- Landratsamt Schwarzwald Baar Kreis (2016). Naturverträgliche Regenwasserbewirtschaftung. Online verfügbar https://www.lrasbk.de/media/custom/2961_942_1.PDF?1528810979.

- LAZBW (2018). FFH-Mähwiesen. Grundlagen – Bewirtschaftung – Wiederherstellung. Online verfügbar: https://fortbildung-lazbw.lgl-bw.de/lazbw/webbasys/download/Shop/2018_GL_la-zbw_FFH_Maehwiesen_Grundlagen.pdf
- LGRB (2014). Integrierte Geowissenschaftliche Landesaufnahme (GeoLa) 2014.
- LUBW (2016) Leitfaden Kommunales Starkregenrisikomanagement in Baden-Württemberg Online verfügbar <https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/47871>
- LUBW (2021) Klimazukunft Baden-Württemberg - Was uns ohne effektiven Klimaschutz erwartet! Online verfügbar <https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/10200>
- Lundgren, B. & Raintree, J. B (1982). Agroforestry, presented at the conference of Directors of National Agroforestry Research Systems in Asia, Jakarta.
- Müller, J. (2013). Die Bedeutung der Baumarten für den Landschaftswasserhaushalt. Bericht/15. Gumpensteiner Lysimetertagung: Lysimeterforschung als Bestandteil der Entscheidungsfindung, 16, 17
- Natkhin, M. (2010). Modellgestützte Analyse der Einflüsse von Veränderungen der Waldwirtschaft und des Klimas auf den Wasserhaushalt grundwasserabhängiger Landschaftselemente. Universität Potsdam. Online verfügbar: <https://publishup.uni-potsdam.de/frontdoor/index/index/docId/4831?msckid=e41cd9aecf9f11ecaba99576fe4ad598>
- Naturpark Südschwarzwald (2018) Naturpark-Plan 2025. Online verfügbar https://www.naturpark-suedschwarzwald.de/eip/eip_media.php?f=254_NP-Plan_web.pdf&m=2657&i=0&f=26027392
- Ökolandbau.de (2020) Reduzierte Bodenbearbeitung – schont Boden und Klima. Online verfügbar <https://www.oekolandbau.de/landwirtschaft/pflanze/grundlagen-pflanzenbau/boden/reduzierte-bodenbearbeitung/>
- Schmidt (2019) Unterschiedliche Bodenbearbeitungssysteme und die Auswirkungen für den Bodenwasserhaushalt. Fachinformationsveranstaltung FBZ Kamenz – 04.02.2019. Online verfügbar https://www.lfulg.sachsen.de/download/lfulg/Nachlese_KAM_Bearbeitungssysteme-Wasserhaushalt.pdf.
- Steinberger (2010) Die Wasserversorgung auf den Weiden optimieren. Den Herbst zur Anlage einer stationären Wasserversorgung auf der Weide nutzen. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft: Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft. Online verfügbar https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ite/dateien/31200_die_wasserversorgung_auf_den_weiden_optimieren.pdf.
- SWR (2022): Beitrag Landesschau Baden-Württemberg vom 6. September 2022. <https://www.swrfernsehen.de/landesschau-bw/landesschau-baden-wuerttemberg-vom-692022-100.html>
- Vandré (2020) Erosion verhindern, Bodenleben fördern. Strategien zum Erhalt der Bodenfruchtbarkeit, demonstriert an einem besonderen Boden. Projekt Boden: Ständig. Online verfügbar <https://www.boden-staendig.eu/nachrichten/erosion-verhindern-bodenleben-foerdern>
- Wiedenau (2020) More crop per drop: So steigern Sie die Wassereffizienz. Agrando 2020. Online verfügbar <https://agrando.com/de-de/magazin/wassereffizienz-steigern>
- Zindel et al. (2017) Waldbauliches Leitbild. Hessisches Forstamt Wolfhagen. Online verfügbar https://www1.uni-kassel.de/uni/fileadmin/datas/uni/umwelt/CliMA/04_Projekte_KLIM-WALD/Waldbauliches_Leitbild.pdf.

8. Anhang

8.1. Modellierungsergebnisse - Einzelmaßnahmen und Modellparameter

8.1.1. Hof Baur

Grünland: Mähwiesenbewirtschaftung

Um die Vitalität des Grasbewuchses während der Trockenphasen zu verbessern und somit den Futterertrag der Mähwiesen zu sichern, werden im Folgenden die beiden Maßnahmen Arten- und Sortenwahl und Anpassung der Bewirtschaftung gemeinsam betrachtet.

Umsetzung im Modell

Da neben Klimafaktoren, Parameter wie Hangneigung, Typ der Landnutzung sowie die Art der Bewirtschaftung, Auswirkungen auf die Infiltrationskapazität und somit Bodenerosion haben (KliStar Klimopass 2017), wurden die Parameter im WasserspeichermodeLL angepasst. Im Modell werden die veränderte Artenzusammensetzung und die Anpassung der Bewirtschaftung durch eine tiefere Durchwurzelung des Bodens von 50 Zentimeter dargestellt. Außerdem wird der maximale Interzeptionsspeicher aufgrund des höheren Grasbewuchses von einem Millimeter auf 1,5 Millimeter angehoben und ein höherer BFI in den Sommermonaten angewendet. Es wird angenommen, dass die gegenläufigen Effekte einer höheren Transpiration durch längeres Wachstum der Vegetation und einer verminderten Evaporation durch eine geschlossene Grasnarbe und ein früher geschlossene Stomata bei trockenresistenten Arten in einer geringeren Verdunstung der Wiese resultieren. Die maximale Infiltration ist für die Nutzungsform Mähwiese auf 75 % der Kapazität des vorherrschenden Bodens reduziert. Die Hangneigung wird für das Szenario der Mähwiese, wie auch für alle weiteren folgenden Szenarien auf dem Hof Baur, durch eine Reduktion der maximalen Infiltrationskapazität um 10 % berücksichtigt.

Modellergebnisse - Baseline

Die folgende Abbildung stellt Niederschlag, Exfiltration, Infiltration und den Bodenspeicher über das Jahr 2012 als so genannte Baseline dar. Das bedeutet, die Werte für das Modell wurden so angenommen, wie sie bei einer klassischen Mähwiesenbewirtschaftung auf dem Hof Baur vorliegen. Die Modellergebnisse der ausgewählten Jahre werden im Szenario Mähwiesenbewirtschaftung ausführlich beschrieben.

Das Jahr 2012 war von regelmäßigen Niederschlägen, besonders in der Vegetationsperiode geprägt. Die Tageswerte des Niederschlags, welcher als Regen oder Schnee fällt, sind in der Grafik abgebildet (Abbildung 28:). Wenn der Niederschlag als Regen fällt, infiltriert dieser, sofern die maximale Infiltrationskapazität des Bodens von 400 mm/d nicht überschritten wird. Wird die maximale Infiltrationskapazität überschritten, entsteht Oberflächenabfluss, was 2012 jedoch nie der Fall war. Als Schnee gefallener Niederschlag, der bedingt

durch die Temperatur nicht sofort schmilzt, wird in der Schneehöhe dargestellt. Bei der Schneeschmelze entsteht somit Infiltration ohne tagesaktuellen Niederschlag. Das infiltrierte Wasser füllt den Bodenwasserspeicher, welcher durch die Vegetationsdecken spezifische Wurzeltiefe und die bis zu dieser Tiefe sich ergebende nutzbare Feldkapazität des Bodens bestimmt ist. Das modellierte Szenario der Ausgangssituation Mähwiese hat eine Wurzeltiefe von 0,4 m und der Boden auf dem Gebiet des Hofes Baur eine maximale NFK von 100 mm/m, weshalb der Bodenwasserspeicher den Wert von 40 mm nicht überschreiten kann. Überschüssiges Wasser fließt dem Interflow und der Exfiltration zu. Aufgrund von geringer Gründigkeit und felsigem Untergrund ist die Exfiltration wiederum auf 5 mm/d beschränkt. Im Jahr 2012 war der Bodenwasserspeicher stets gut gefüllt, weshalb die Pflanzen nie unter Trockenstress litten. Ein Trockenstresstag im Modell ist – sehr stark simplifiziert – durch einen Bodenwassergehalt definiert, der unter 30 % der maximalen NFK liegt. Dies entspricht in der Grafik einem Wert von 12 mm, der 2012 nie unterschritten wurde. Die längste Trockenstressperiode ergibt sich aus der maximalen Anzahl von Trockenstressstagen in einer Reihe. Die untere Grenze des Bodenwasserspeichers wird durch die Verdunstung der Vegetation bestimmt. Da im Modell angenommen wird, dass die Pflanzen ab einem Bodenwasserspeicher, der unter 20 % der maximalen NFK liegt, ihre Verdunstung einstellen, kann der Bodenwasserspeicher nicht weiter entleert werden. Eine getrennte Betrachtung von Evaporation und Transpiration ist im Modell nicht berücksichtigt.

Im Jahr 2018 fiel in der Vegetationsperiode deutlich weniger Niederschlag. Besonders im Juni und Juli litten die Pflanzen unter der Trockenheit, was sich in der Anzahl von 26 Trockenstressstagen und einer maximalen Trockenstressperiode mit einer Länge von 10 Tagen widerspiegelt. Nur das Schmelzwasser der großen Schneemenge aus dem Winter und einige Regentage im Mai und August konnten die durch die Trockenheit verursachten Schäden abmildern (Abbildung 29:). Damit bildet das Jahr 2018 bereits Elemente des Klimawandels ab und gibt einen Blick in zukünftige „Normaljahre“.

Um die Bedingungen im Klimawandel verschärft abzubilden, wurde ein beispielhaftes Jahr 2050 herangezogen (Abbildung 30). Auf Basis der Daten des niederschlagsarmen Sommers des Jahres 2018 wurden die Niederschläge im Mai und August halbiert und in die Wintermonate verschoben sowie die Temperatur um einen Grad angehoben. Infolge sinkt die Menge des Schnees und die Infiltration aus Schmelzwasser in den Frühlingsmonaten. Dies führt zu einer weiteren Reduktion des pflanzenverfügbaren Wassers während der Vegetationsperiode.

Die Baseline

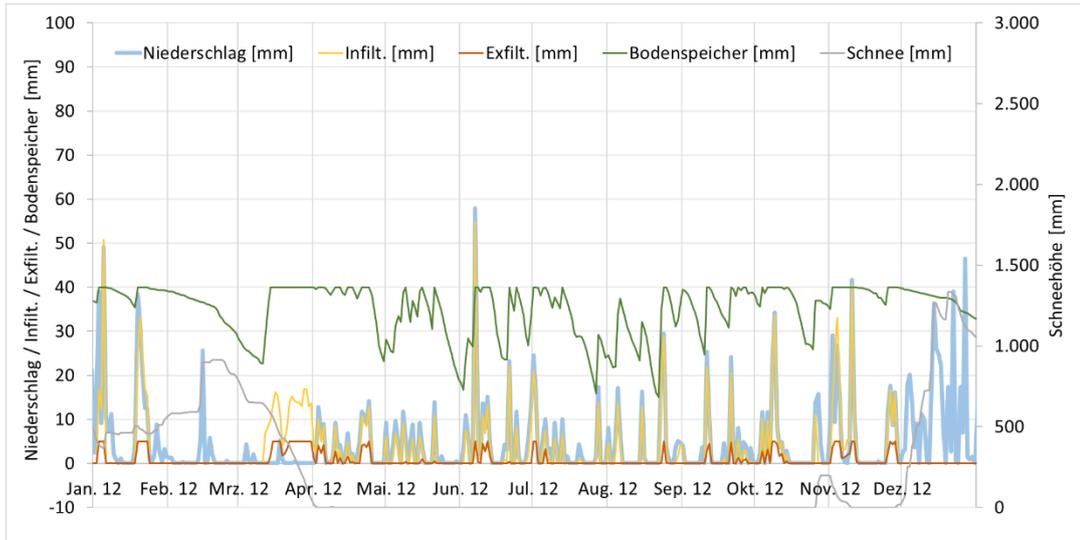


Abbildung 28: Wasserbilanz Mähwiese Baseline 2012, Hof Baur

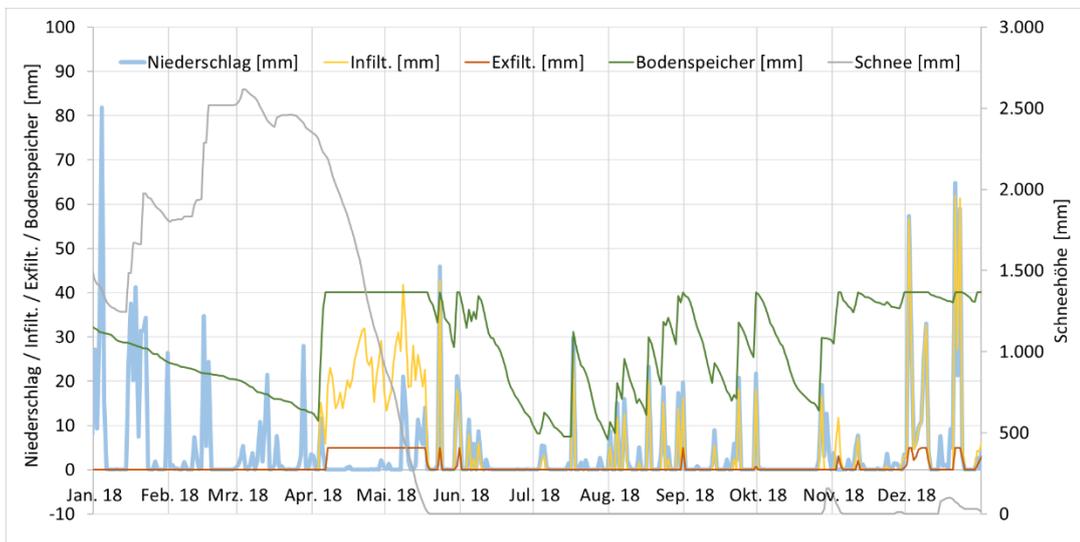


Abbildung 29: Wasserbilanz Mähwiese Baseline 2018, Hof Baur

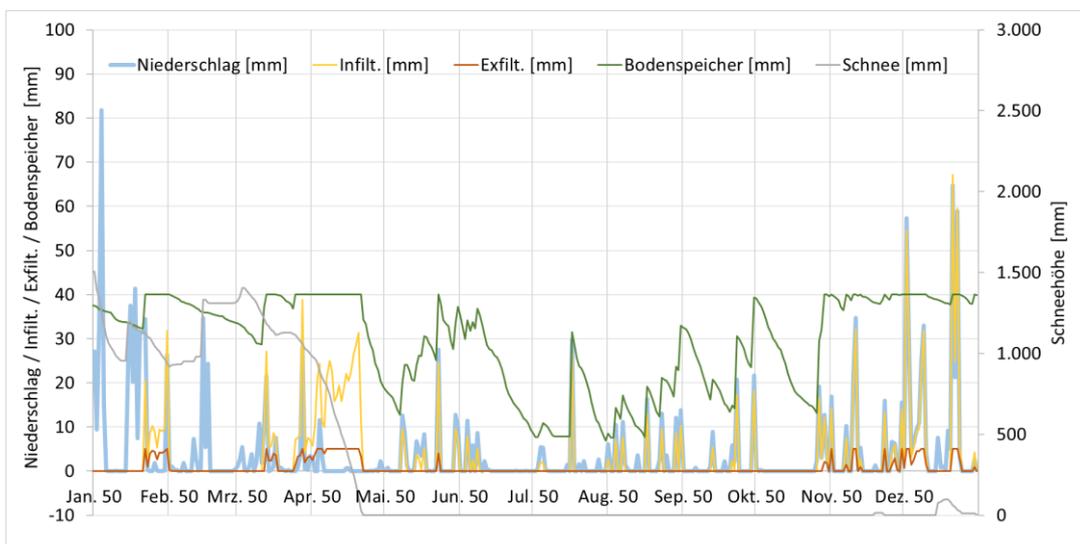


Abbildung 30: Wasserbilanz Mähwiese Baseline 2050, Hof Baur

Die Maßnahmenumsetzung

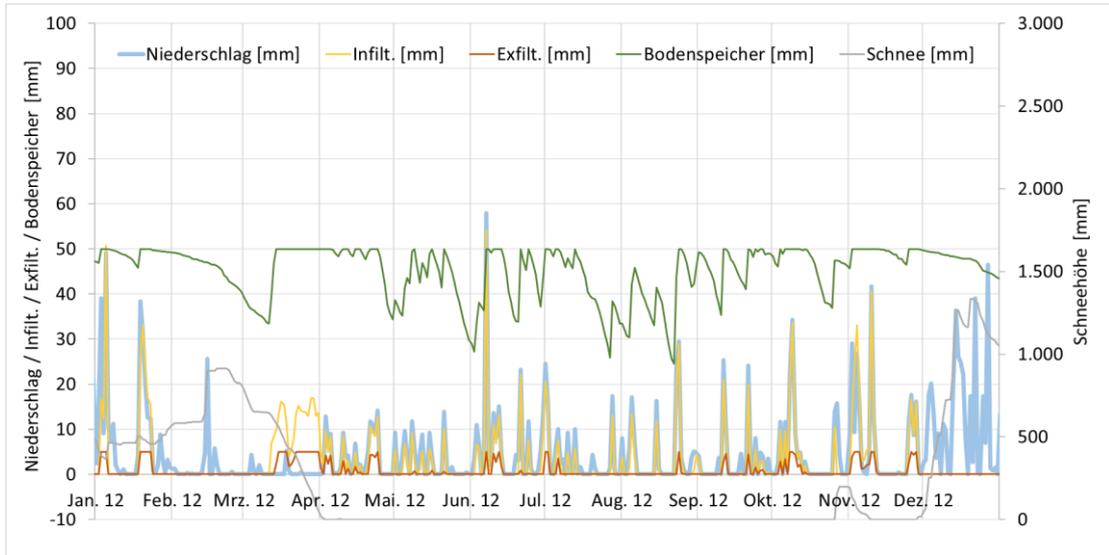


Abbildung 31: Wasserbilanz Mähwiese angepasst 2012, Hof Baur

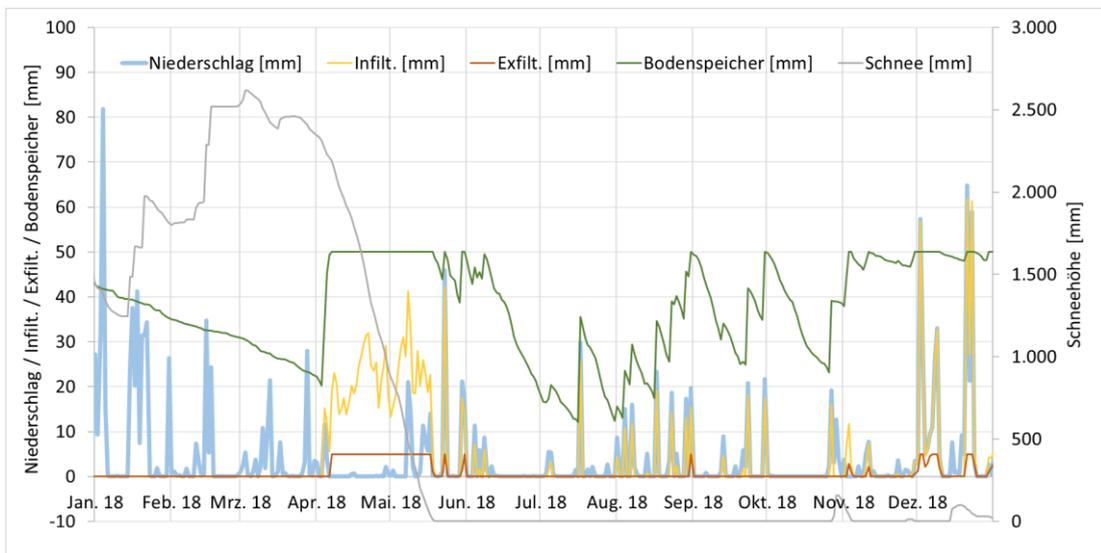


Abbildung 32: Wasserbilanz Mähwiese angepasst 2018, Hof Baur

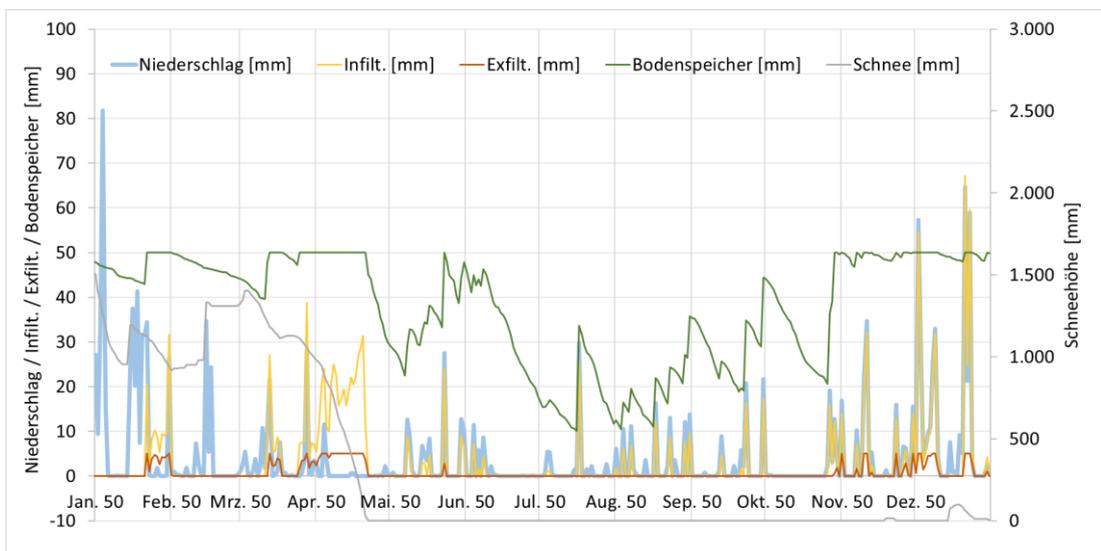


Abbildung 33: Wasserbilanz Mähwiese angepasst 2050, Hof Baur

Die vorangegangenen Grafiken (Abbildung 31, Abbildung 32 und Abbildung 33) zeigen die Modellierungsergebnisse nach Umsetzung der angepassten Mähwiesenbewirtschaftung. Die Anpassungen in der Artenwahl und der Bewirtschaftung der Mähwiese zeigen sich in der Modellierung besonders in der Erhöhung des maximalen Bodenwasserspeichers auf 50 mm. Aufgrund der tieferen Durchwurzelung des Bodens, können die Pflanzen mehr Wasser im Boden nutzen. Die Anhebung der Schnitthöhe zeigt im Modell keinen merklichen Effekt.

Tabelle 20: Übersichtstabelle Trockenstresstage Mähwiese

Jahr		2012	2018	2050
Trockenstresstage	Mähwiese Baseline	0	26	33
	Mähwiese angepasst	0	9	21
Längste Trockenperiode	Mähwiese Baseline	0	10	19
	Mähwiese angepasst	0	5	9

Durch das Einbringen der verschiedenen und teils tiefwurzelnden Arten kann eine verbesserte Durchwurzelung des Bodens und somit eine erhöhte Kapazität zur Wasserspeicherung erreicht werden. Hierdurch können die Schäden durch Trockenphasen abgepuffert werden, bei starken Trockenperioden wird jedoch keine substantielle Verbesserung erwartet. Eine erhöhte Vitalität des Bewuchses bietet neben einem höheren Futterertrag auch besseren Schutz vor Erosion.

Die Ergebnisse der Modellierung bestätigen den erwarteten Effekt, dass sich der Bodenwasserspeicher durch das Einbringen der verschiedenen tiefwurzelnden Arten deutlich erhöht. Auswirkungen durch die veränderte Schnitthöhe lassen sich durch das Modell nicht aufzeigen.

Agroforstsysteme

Die Anwendung von agroforstlichen Systemen auf den Weideflächen des Hof Baur umfasst das Einbringen von Agroforstgruppen, so genannte Weidfeld-Baumbestockung, das Anpflanzen von Heckenstreifen sowie die Anlage von Retentionsgehölzen.

Innerhalb der Maßnahmenbeschreibung fallen die Retentionsgehölze eigentlich unter das Kapitel 4.3.7 Retention. Da es sich um Gehölzstrukturen handelt, die in ihrer Parametrisierung sehr den Baumgruppen und Heckenstreifen ähneln, wurden sie für die Modellierung unter dem Kapitel Agroforstsysteme abgehandelt.

Im folgenden Abschnitt werden die Modellierungsergebnisse der drei Szenarien dargestellt und die Ergebnisse hinsichtlich ihrer Auswirkung auf Wasserspeicher und Oberflächenabfluss näher beschrieben.

Umsetzung im Modell

Da sich die drei Szenarien in ihrer Umsetzung sowie den etwaigen Auswirkungen auf den Wasserspeicher im Boden sehr ähneln, werden die Parameter für das Modell gemittelt und ein repräsentativ gewähltes Szenario berechnet. Das Szenario Agroforst betrachtet

ausschließlich die Fläche von 25 %, auf denen agroforstliche Maßnahmen umgesetzt werden. Das Szenario „Weide nach Einbringung der Agroforstmaßnahmen“ betrachtet den Anteil der Weidefläche von 75 %, die durch die benachbarten Agroforstmaßnahmen beeinflusst werden. Als Ausgangszustand der Modellierung wird die aktuelle Weidebewirtschaftung herangezogen, welche dem Szenario Mähwiese Baseline im vorherigen Kapitel entspricht.

Die Modellierung der Agroforstmaßnahmen erfolgt gebündelt und flächengewichtet anhand der folgenden Parameter: Die Wurzeltiefe der Gehölze wird auf 80 cm erhöht. Eine tiefere Durchwurzelung wird hier durch die Gründigkeit des Bodens beschränkt. Die Mischung von Nadel- und Laubbäumen sowie Heckengehölzen begründet einen höheren Interzeptionsspeicher von 2,1 mm und einen veränderten BFI in den Sommermonaten. Die Gehölze weisen im Vergleich zum Grünland eine erhöhte Verdunstung auf, was bei den Agroforstmaßnahmen besonders aufgrund von Randeffekten durch Wind und Strahlung verstärkt wird. Der Faktor Verdunstung wird für die Kalibrierung entsprechend angehoben. Die maximale Infiltrationskapazität des Bodens ist durch die Bestockung nicht eingeschränkt. Die bei der Gehölzpflanzung bewirkten Verebnungen erhöhen den Muldenspeicher auf 3 mm.

Die „Weide nach Einbringen der Agroforstmaßnahmen“ ist im Modell durch eine verminderte Verdunstung parametrisiert, was durch Beschattung und Windschutz zu begründen ist.

In Tabelle 21 werden die Unterschiede in der Parametrisierung zwischen dem Szenario „Weide mit Einbringung der Agroforstmaßnahmen“ und „Agroforst“ dargestellt.

Tabelle 21: Übersichtstabelle Anpassung Parameter Agroforstmaßnahmen

Parameter	Einheit	Weide mit Agroforstmaßnahmen	Agroforst
max. Infiltration	mm/d	270,00	360,0
Interzeption	mm	1,00	2,1
Muldenspeicher	mm	2,00	3,0
Wurzeltiefe	m	0,40	0,8
Kalibrierung Verdunstung	-	0,75	1,3

Modellergebnisse - Ist-Zustand der Landnutzungsarten

Die folgenden Grafiken (Abbildung 34, Abbildung 35 und Abbildung 36) zeigen die Modellierung der Baseline Weidebewirtschaftung auf 100 % der Fläche. Da sich diese nicht von der Baseline Mähwiesenbewirtschaftung unterscheiden, wird an dieser Stelle nicht weiter darauf eingegangen. Im Folgenden dienen sie dem Vergleich mit den angepassten Maßnahmen für die jeweiligen Jahre.

Baseline

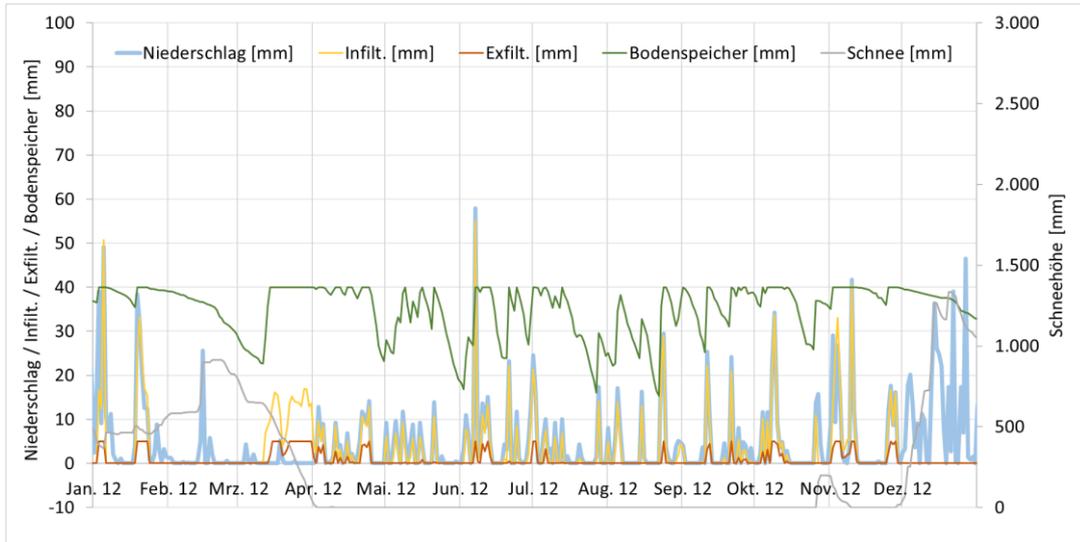


Abbildung 34: Wasserbilanz Weide Baseline 2012, Hof Baur

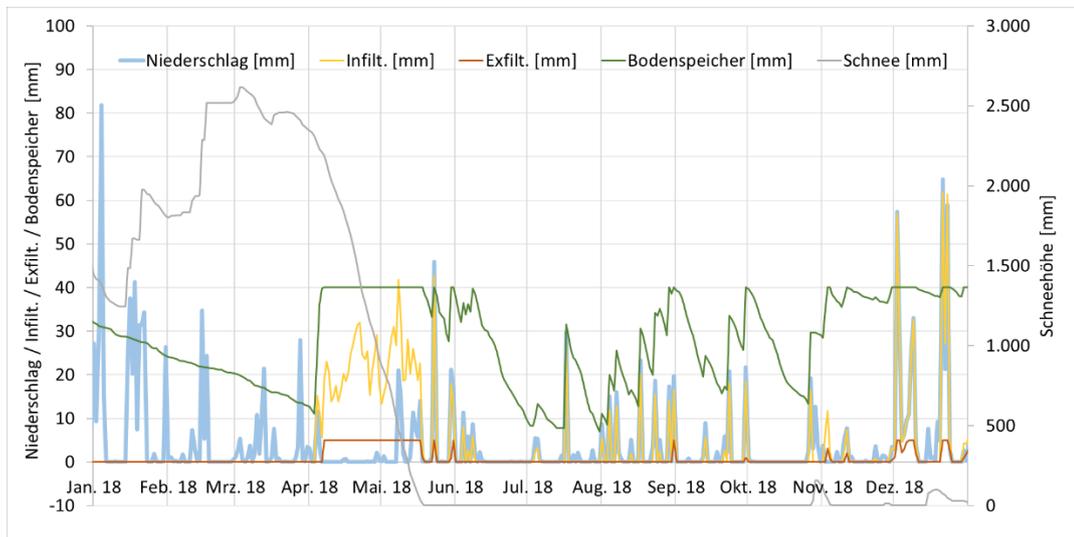


Abbildung 35: Wasserbilanz Weide Baseline 2018, Hof Baur

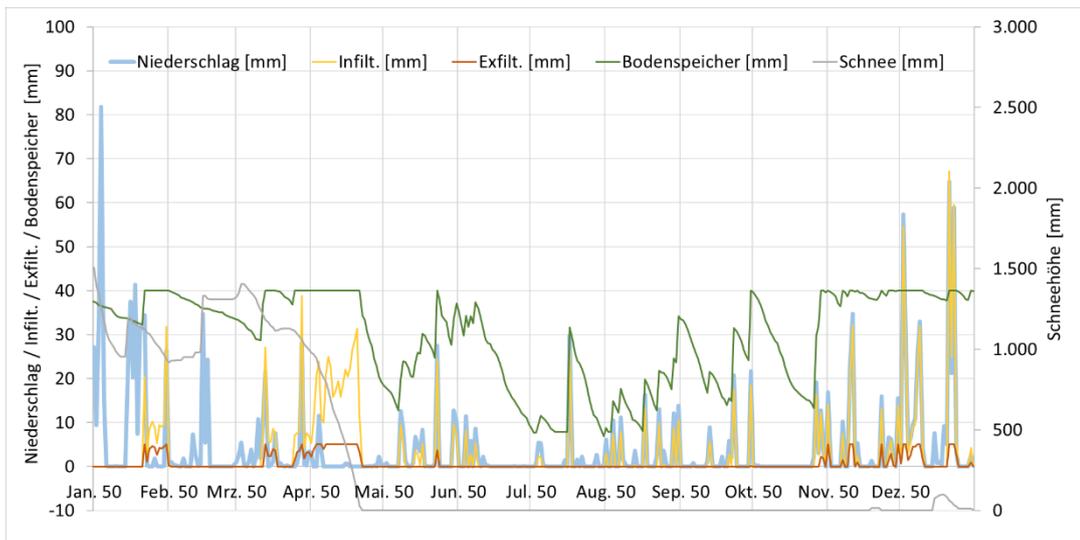


Abbildung 36: Wasserbilanz Weide Baseline 2050, Hof Baur

Modellergebnisse – Agroforstliche Elemente

Die folgenden Grafiken (Abbildung 37, Abbildung 38 und Abbildung 39) zeigen die Jahre 2012, 2018 und das Zukunftsjahr 2050 für die Agroforstelemente – Hecken und Baumgruppe - auf den Weideflächen, getrennt von den Weideflächen selbst.

Agroforstlichen Strukturen und Retentionsgehölze zeigen sich in der Modellierung besonders im höheren maximalen Bodenwasserspeicher von 80 mm. Aufgrund der tieferen Durchwurzelung des Bodens, können die Pflanzen mehr Wasser im Boden nutzen. Im Jahr 2012 (Abbildung 37) ist neben dem Anstieg zwar auch ein deutlicher Abfall des Bodenspeichers zwischen Juli und September von 80 mm auf 20 mm zu sehen, im Vergleich zum Baseline-Szenario (Ist-Zustand der Landnutzungsarten) liegt der durchschnittliche Bodenspeicher jedoch deutlich höher und sinkt zu keinem Zeitpunkt unter den des Baseline-Szenarios ab. Bei der maximalen Infiltrationskapazität des Bodens zeigen sich bei veränderter Bewirtschaftung der Weideflächen, also dem Einbringen von agroforstlichen Gruppen, keine Veränderungen.

Abbildung 38 zeigt die modellierten Ergebnisse für die agroforstlichen Maßnahmen für das Jahr 2018. Hier zeigt sich ein sehr ähnliches Ergebnis wie für das Jahr 2012. Der maximale Bodenspeicher steigt auf 80 mm an und fällt zu keinem Zeitpunkt unter den der Baseline.

Abbildung 39 stellt die modellierten Ergebnisse für das Zukunftsjahr 2050 dar. Selbst bei stark verringertem Niederschlag und angehobener Temperatur, steigt der Bodenwasserspeicher in den Winter- und Herbstmonaten auf ein Maximum von 80 mm an. Selbst in den Sommermonaten Juli bis September bleibt der Bodenspeicher mit einem Minimum von 15 mm deutlich höher als im Baseline Szenario, in dem der Bodenwasserspeicher im Sommer auf unter 10 mm sinkt.

Agroforstliche Elemente

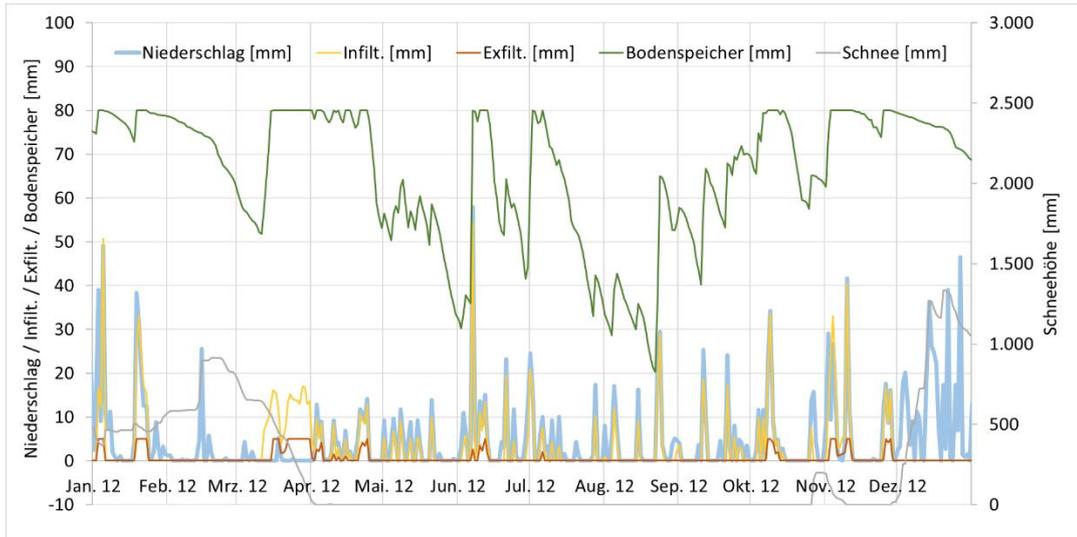


Abbildung 37: Wasserbilanz Agroforstmaßnahmen 2012, Hof Baur

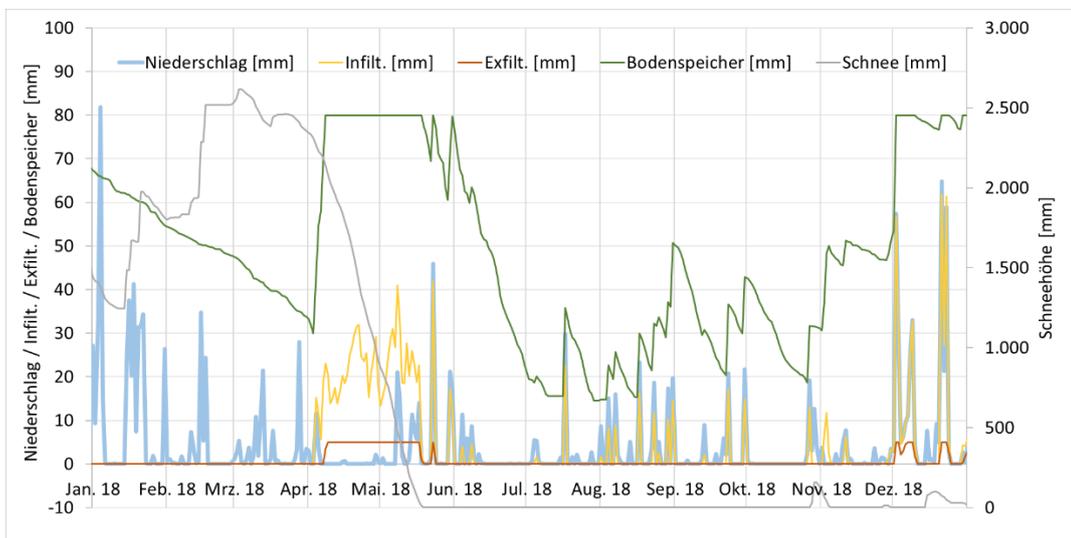


Abbildung 38: Wasserbilanz Agroforstmaßnahmen 2018, Hof Baur

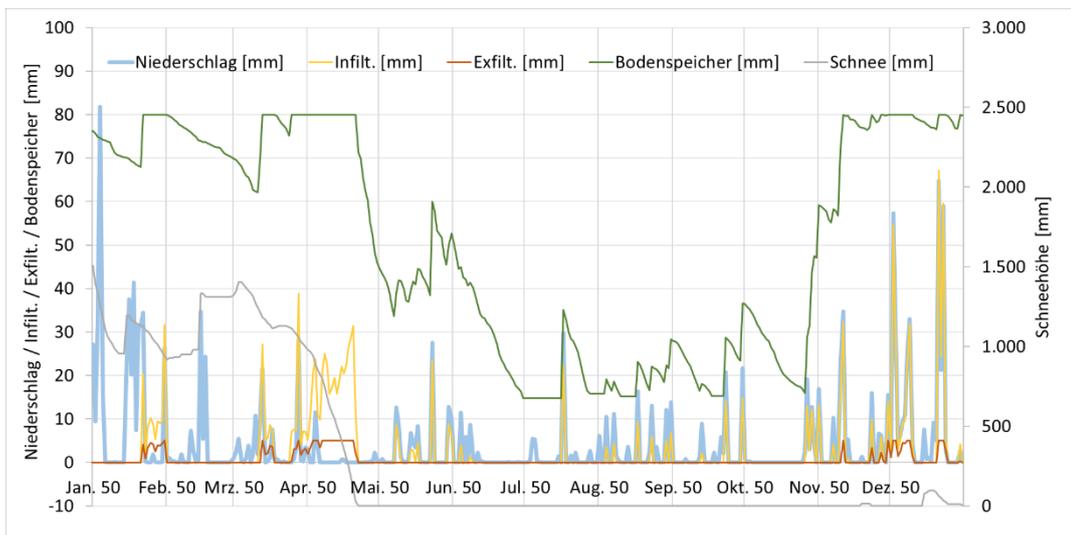


Abbildung 39: Wasserbilanz Agroforstmaßnahmen 2050, Hof Baur

Modellergebnisse – Weideflächen nach Umsetzung der Agroforstmaßnahmen

Die folgenden drei Grafiken (Abbildung 40, Abbildung 41 und Abbildung 42) zeigen die Jahre 2012, 2018 und das Zukunftsjahr 2050. Dargestellt wird das Ergebnis nur für die Weideflächen, die sich dann auf 75 % der Fläche gemischt mit den agroforstlichen Elementen befinden.

Auf das Jahr 2012 (Abbildung 40) hat die Umsetzung der agroforstlichen Maßnahmen innerhalb der Weidefläche keine ausschlaggebenden Auswirkungen. Der Wasserspeicher im Boden erreicht weiterhin sein Maximum mit 40 mm, die Höhen und Tiefen verlaufen ähnlich wie im Baseline-Szenario Weidefläche (Abbildung 34). Auch die Anzahl an Trockenstressstagen sowie die längste Trockenstressperiode bleiben beide bei 0 Tagen (Tabelle 15).

Für das Jahr 2018 sehen die Ergebnisse ähnlich aus (Abbildung 41), jedoch mit dem Unterschied, dass sich sowohl die Anzahl an Tagen mit Trockenstress als auch die längste Trockenstressperiode mit dem Einbringen von Agroforstmaßnahmen verringern. Die Tage verringern sich von 24 auf 17 Tage, die längste Trockenstressperiode von 9 auf 8 Tage (vgl. Tabelle 15 in Kap. 4.4.1).

Das Zukunftsjahr 2050 führt ebenfalls zu keinen starken Auswirkungen auf die genannten Faktoren (Abbildung 42). Durch das Einbringen der agroforstlichen Strukturen, sinkt jedoch die Anzahl an Trockenstressstagen von 30 auf 29 sowie die längste Trockenperiode von 18 Tagen auf 11. Vor allem letzteres stellt eine bedeutende Verbesserung dar (vgl. Tabelle 15 in Kap. 4.4.1).

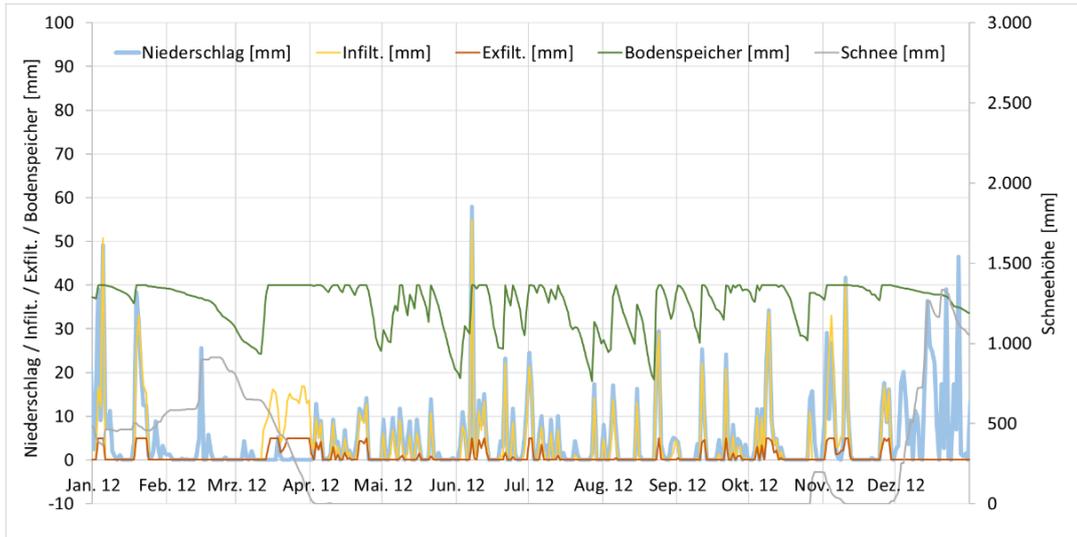


Abbildung 40: Wasserbilanz der Weide nach Einbringung der Agroforstmaßnahmen 2012

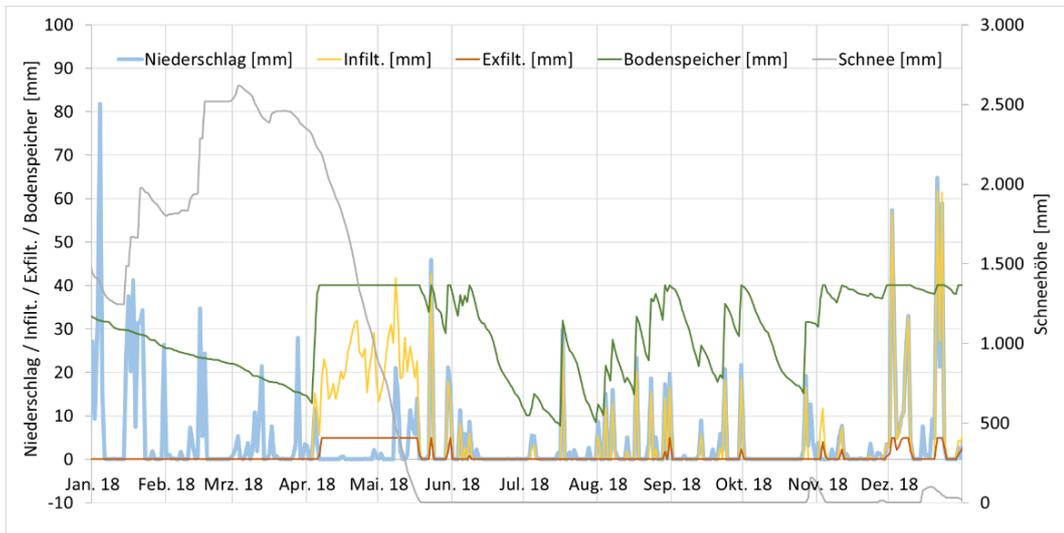


Abbildung 41: Wasserbilanz der Weide nach Einbringung der Agroforstmaßnahmen 2018

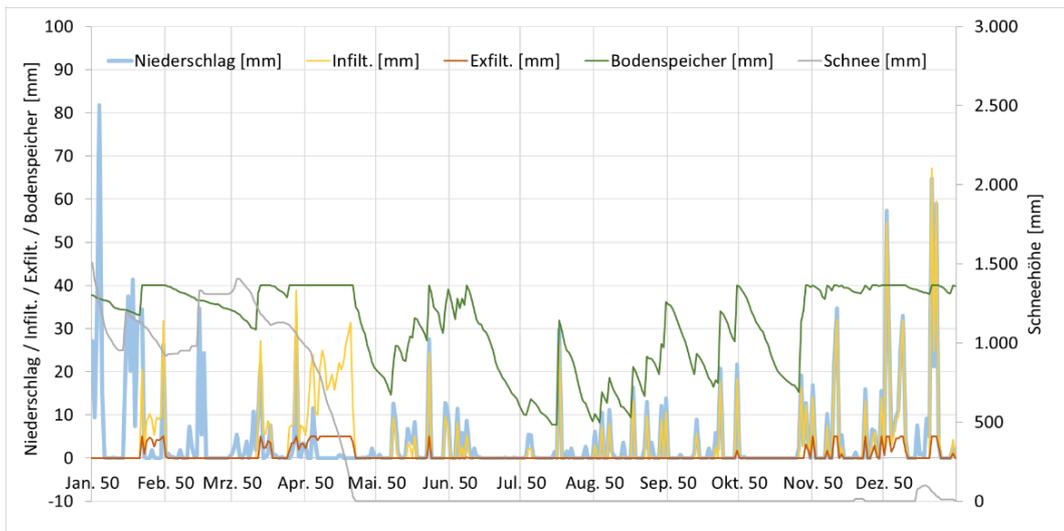


Abbildung 42: Wasserbilanz der Weide nach Einbringung der Agroforstmaßnahmen 2050

Bewertung Modellergebnisse Einzelmaßnahmen

Das Szenario Agroforst als Einzelmaßnahme führt im Gegensatz zum Weideszenario mit agroforstlichen Strukturen zu einem klaren Anstieg, sowohl der Trockenstresstage als auch der längsten Trockenperiode. Dies liegt daran, dass ein Trockenstresstag – sehr vereinfacht - im Modell durch einen Bodenwassergehalt definiert, der unter 30 % der maximalen NFK liegt. Die Bäume erschließen durch eine erhöhte Durchwurzelungstiefe ein größeres Volumen an pflanzenverfügbarem Wasser im Boden, ihr Wasserverbrauch ist aber durch die Verdunstung etwas überproportional höher. Damit reduzieren die Agroforst-Gehölze den Bodenwasserspeicher etwas rascher als die Weidevegetation. Da sie aber den Verdunstungsdruck der Weidevegetation in ihrem Umfeld reduzieren, ergibt sich für die Kombination angepasste Weide und Agroforst ein positiver Einfluss auf die Anzahl und Dauer der Trockentage. Durch eine Auswahl an den Klimawandel angepasster(alternativer) Baumarten lässt sich die Wassereffizienz der Agroforstsysteme noch verbessern.

8.1.2. Hof Bolkart

Waldumbau

Beim Waldumbau soll ein dichter einschichtiger Altersklassenwald in einen lockeren und mehrschichtigen Bestand mit kleinflächiger Verjüngung überführt werden. Durch die verringerte Interzeption des Kronenraums erreicht mehr Niederschlag den Waldboden. Außerdem werden durch die Etablierung von Dauerwald größere Freiflächen vermieden. Der Zielbestand soll somit in Trockenphasen resilient sein und Schutz vor Erosion bieten.

Umsetzung im Modell

Für die Modellierung wurde als Ausgangszustand ein gleichaltriger mittelalter Nadelbaumbestand mit vollständigem Vegetationsschluss gewählt. Der angestrebte Mischwald besteht im modellierten Szenario aus einer Mischung von Nadel- und Laubbäumen sowie einer Kraut- und Strauchschicht, wobei die Bäume verschiedenen Altersklassen angehören. Für Nadelbäume wird ein Interzeptionsspeicher von 3,5 mm und für Laubholz von 2 mm angenommen, bei jüngeren Bäumen ist die Speicherkapazität etwas reduziert. Jahreszeitliche Schwankungen werden durch den BFI ausgedrückt. Die Wurzeltiefe ist durch die Gründigkeit des Bodens auf 0,8 m begrenzt. Bei der Verdunstung wird sowohl die erhöhte Transpiration von Wald im Vergleich zu Grünland als auch die geringeren Transpirationsraten von Laubbaumbeständen im Vergleich zu Nadelbaumbeständen berücksichtigt. Für jüngere, stufige Bestände wird gemäß der Literatur eine höhere Transpiration angenommen. Für Mischbestände reduziert sich der gemittelte Interzeptionsspeicher von 3,5 mm beim Ausgangszustand auf 2,4 mm. Auch die Verdunstung wird herabgesetzt. Die maximale Infiltrationskapazität des Bodens ist für die Nutzungsform Wald nicht eingeschränkt.

Modellergebnisse - Wald

Die folgenden Grafiken (Abbildung 43, Abbildung 44 und Abbildung 45) stellen die Baseline des Szenarios Waldumbau in den ausgewählten Jahren 2012, 2018 und 2050 dar. Da sich die Baseline dieser Maßnahme von den anderen unterscheidet, werden die angewandten Parameter im Folgenden erklärt.

Die maximale Infiltrationskapazität wird aufgrund der Bodeneigenschaften mit 360 mm/d angesetzt. Wird diese überschritten, entsteht Oberflächenabfluss. Als Schnee gefallener Niederschlag, der bedingt durch die Temperatur nicht sofort schmilzt, wird in der Schneehöhe dargestellt. Bei der Schneeschmelze entsteht somit Infiltration ohne tagesaktuellen Niederschlag. Das infiltrierte Wasser füllt den Bodenwasserspeicher, welcher durch die Wurzeltiefe und die maximale NFK des Bodens bestimmt ist. Das modellierte Szenario der Ausgangssituation Waldumbau hat eine Wurzeltiefe von 0,8 m und der Boden auf dem Gebiet des Hofes eine maximale NFK von 100 mm/m, weshalb der Bodenwasserspeicher den Wert von 80 mm nicht überschreiten kann. Überschüssiges Wasser fließt dem Interflow und der Exfiltration zu. Aufgrund von geringer Gründigkeit und felsigem Untergrund ist die Exfiltration auch bei diesem Szenario auf 5 mm/d beschränkt (Abbildung 43).

Auch 2018 kommt der Bodenspeicher bis an 80 mm heran. Laut Modell gab es jedoch 23 Tage, an denen die Gehölzvegetation unter Trockenstress litt. Besonders niedrig war der Bodenwasserspeicher in den Sommermonaten Juli und August (Abbildung 44).

Die Modellierung des Zukunftsjahres 2050 zeigt, dass die Pflanzen 70 Tage lang Trockenstress ausgesetzt sind (vgl. Tabelle 16 im Kap. 4.4.2). Zwar kommt auch hier der Bodenwasserspeicher an sein Maximum von 80 mm heran, jedoch kann eine starke und langanhaltende Trockenperiode von 25 Tagen am Stück festgestellt werden (Abbildung 45).

Baseline

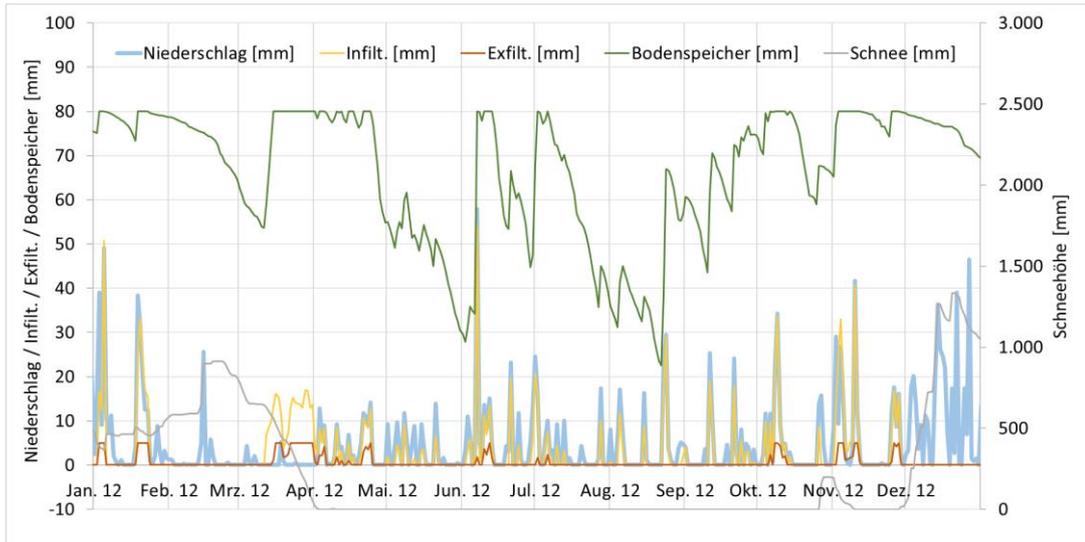


Abbildung 43: Wasserbilanz Wald Baseline 2012, Hof Bolkart

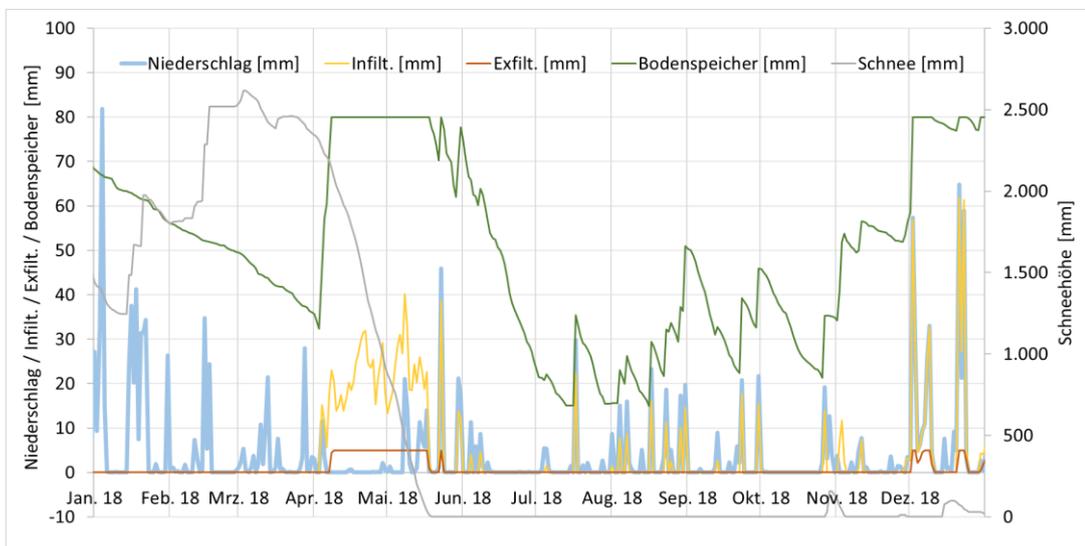


Abbildung 44: Wasserbilanz Wald Baseline 2018, Hof Bolkart

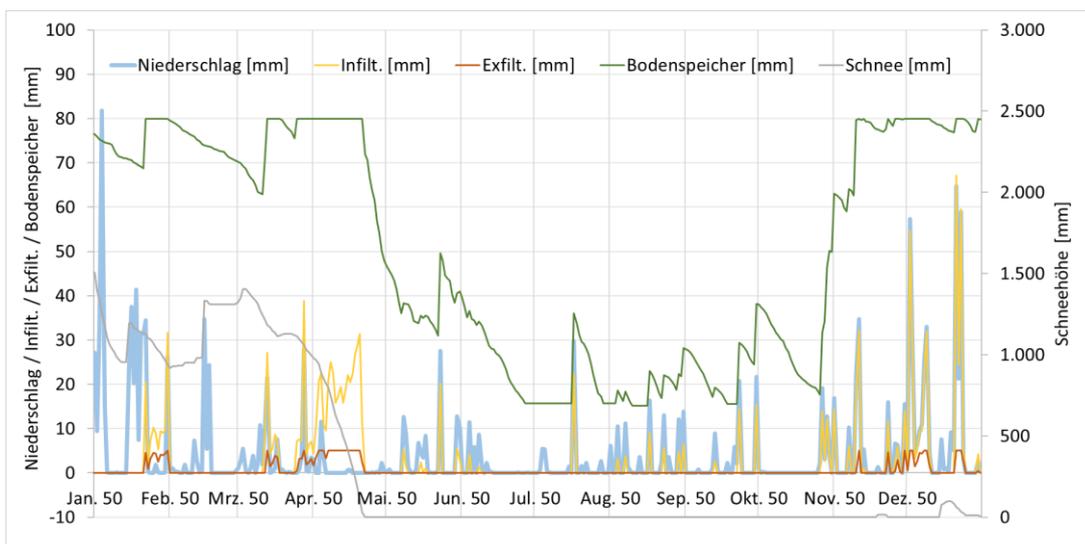


Abbildung 45: Wasserbilanz Wald Baseline 2050, Hof Bolkart

Die folgenden drei Grafiken (Abbildung 46, Abbildung 47 und Abbildung 48) zeigen die modellierten Ergebnisse der Anpassungsmaßnahme Waldumbau – Überführung eines dichten einschichtigen Altersklassenwaldes in einen lockeren und mehrschichtigen Bestand mit kleinflächiger Verjüngung.

Im Jahr 2012 zeigt die Modellierung des angepassten Mischwalds eine ausreichende Wasserversorgung. Der Bodenwasserspeicher wurde auch während der Sommermonate regelmäßig bis zum Maximum von 80 mm wieder aufgefüllt (Abbildung 46). Es liegt kein Tag vor, an dem die Vegetation unter Trockenstress litt (vgl. Tabelle 16 im Kap. 4.4.2)).

Im Jahr 2018 hingegen kann der Bodenwasserspeicher während der Sommermonate nicht wieder aufgefüllt werden (Abbildung 47). Das Modell zeigt, dass sich durch den Waldumbau die Tage, an denen die Bäume unter Trockenstress leiden von 23 auf 17 reduzieren. Auch die längste Trockenperiode verkürzt sich von 9 auf 8 Tage (vgl. Tabelle 16 im Kap. 4.4.2)). Vor allem die geringere Interzeption im Frühjahr führt zu einer Verbesserung des Bodenwasserspeichers.

Besonders für das Zukunftsjahr 2050 zeigt die Anpassungsmaßnahme Waldumbau eine stark positive Wirkung. Die Anzahl an Tagen mit Trockenstress können durch die Maßnahme um gut ein Drittel reduziert werden und sinken von 70 auf 45 Tage. Die längste Trockenperiode verkürzt sich von 25 auf 21 Tage (vgl. Tabelle 16 im Kap. 4.4.2)).

Modellierungsergebnisse - Wald

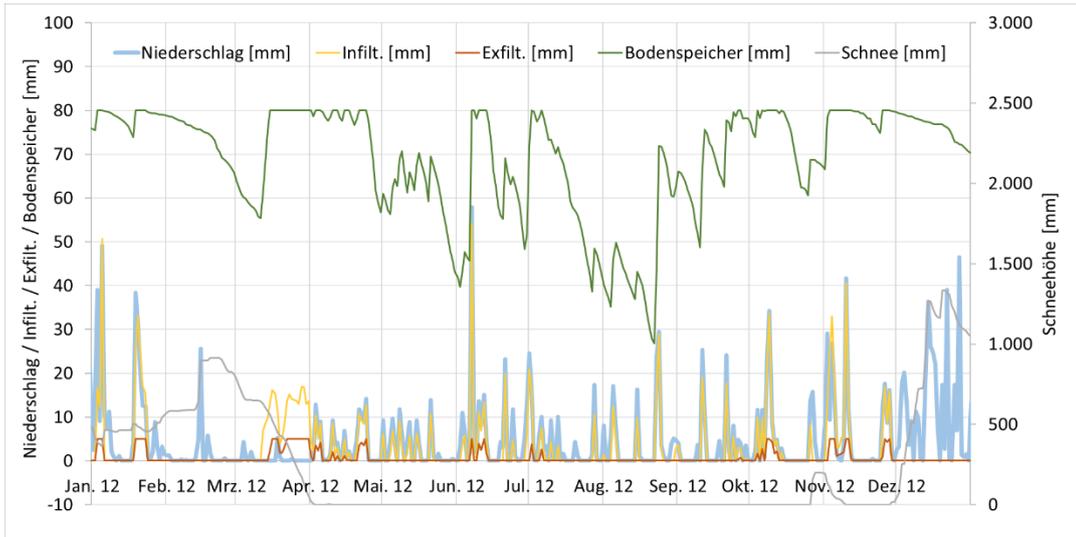


Abbildung 46: Wasserbilanz Wald angepasst 2012, Hof Bolkart

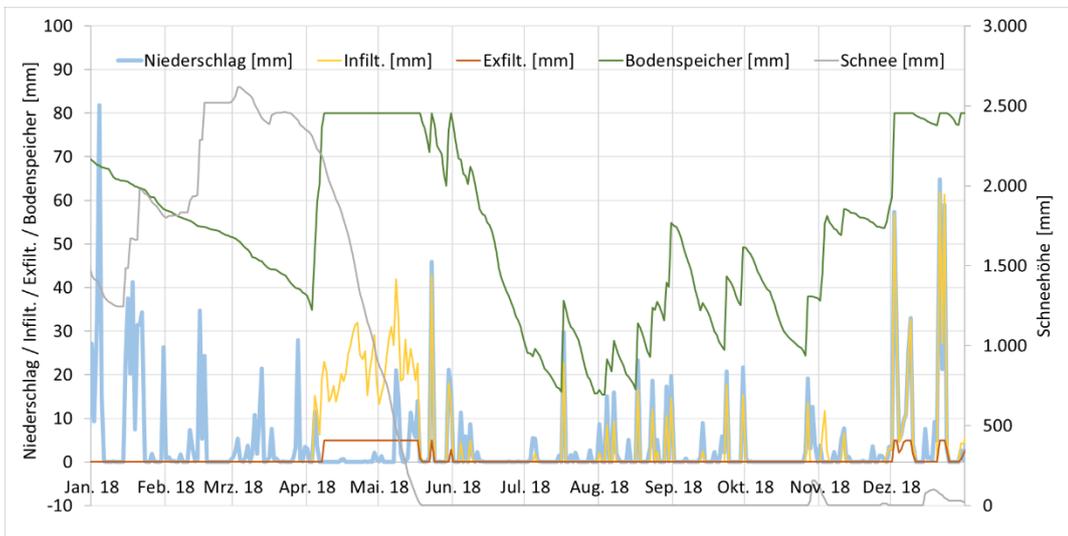


Abbildung 47: Wasserbilanz Wald angepasst 2018, Hof Bolkart

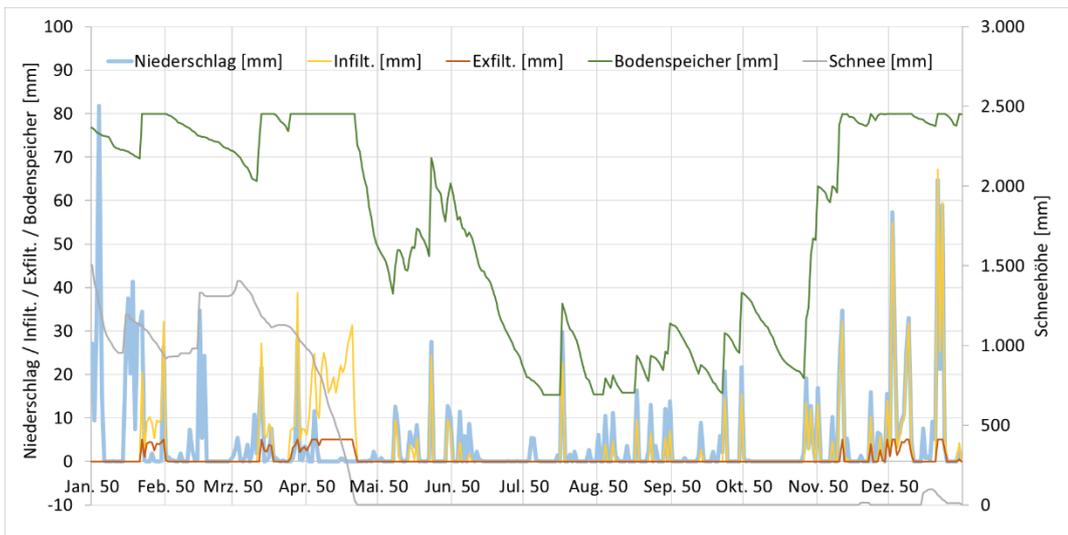


Abbildung 48: Wasserbilanz Wald angepasst 2050, Hof Bolkart

8.1.3. Geflügelhof Kaiser

Die Modellierung der Maßnahmen für den Hof Kaiser wurde analog den Modellierungen für den Hof Baur sowie den Kolbenhof durchgeführt. Es wurden ebenfalls die Modelljahre 2012, 2018 sowie das Zukunftsjahr 2050 ausgewählt. Aus Wiederholungsgründen wurde hier auf die Darstellung der einzelnen Ganglinien pro Maßnahme und Jahr verzichtet. Im Ergebnisteil werden ausschließlich die Ergebnisse auf Landschaftsebene anhand der drei Output-Parameter Bodenwasserspeicher, Anzahl an Trockentagen und Länge der Trockenperiode dargestellt und besprochen. Im Folgenden wird auf Einzelmaßnahmen eingegangen, bevor die Ergebnisse in der Übersichtstabelle gesammelt dargestellt werden.

Grünland

Um die Wasserversorgung im Grünland auch mit zunehmender Trockenheit zu gewährleisten, sind für den Geflügelhof Kaiser verschiedene Maßnahmen geplant. Aktuell werden die Flächen 3 bis 4-mal im Jahr geschnitten und durch eine optimierte Düngung mit hoher Leistung und auf hohem Ertrag ausgerichtet, bewirtschaftet. Es erfolgt zudem eine periodische Nachsaat alle 2 bis 3 Jahre. Diese Art der Bewirtschaftung soll in eine extensive Bewirtschaftung mit maximal 3 Schnitten und längerem Mahd Rhythmus umgewandelt werden. Durch eine extensivere Pflege entstehen weniger Störungen durch die Bodenbearbeitung, gleichzeitig wird auch der Schutz der Flächen durch seltenere Eingriffe erhöht. Die Umsetzung der Grünlandmaßnahmen soll auf einer Fläche von rund 20 Hektar stattfinden.

Umsetzung im Modell

Im Modell wird die Anpassung der Bewirtschaftung durch eine tiefere Durchwurzelung des Bodens von 40 auf 50 Zentimeter dargestellt. Außerdem wird der maximale Interzeptionspeicher aufgrund des höheren Grasbewuchses von einem Millimeter auf 1,5 Millimeter angehoben und ein höherer BFI in den Sommermonaten angewendet. Auch hier wird angenommen, dass die gegenläufigen Effekte einer erhöhten Transpiration durch längeres Wachstum der Vegetation und einer verminderten Evaporation durch eine geschlossene Grasnarbe und ein früheres Schließen der Stomata bei trockenresistenten Arten in einer geringeren Verdunstung der Wiese resultieren. Die maximale Infiltration ist für die Nutzungsform Mähwiese auf 75 % der Kapazität des vorherrschenden Bodens reduziert. Die Hangneigung wird mit einer um 10% reduzierten maximalen Infiltrationskapazität berücksichtigt.

Modellergebnisse

Die Anpassungen in der Bewirtschaftung der Mähwiese zeigen sich in der Modellierung besonders in der Erhöhung des maximalen Bodenwasserspeichers (vgl. Tabelle 18 in Kap. 4.4.3). Aufgrund der tieferen Durchwurzelung des Bodens, können die Pflanzen mehr Wasser im Boden nutzen. Die Anhebung der Schnitthöhe zeigt im Modell keinen merklichen Effekt. Zudem ist auch eine deutliche Reduktion der Anzahl der Trockenstresstage sowie der Länge der Trockenperiode zu erkennen.

Agroforst

Auch für den Geflügelhof Kaiser sind verschiedene Maßnahmen im Agroforstbereich geplant. Zum einen sollen Obstbäume auf den Wiesen im Unterhang auf rund 5 Hektar gepflanzt sowie Heckenstreifen in Konturlinien auf der Hochebene auf Acker- und Grünlandflächen auf rund 3 Hektar eingebracht werden. Zudem soll ein weiterer Hühnerauslauf in Verbindung mit einer Kurzumtriebsplantage (KUP) aus Pappeln und Weiden (rund 2 Hektar), die in Streifen auf der Hochebene um den Auslauf gepflanzt wird, installiert werden. An den Gewässern in der Ebene sowie um die Bäche im Tal ist die Pflanzung von Retentionsgehölzen geplant (etwa 3 Hektar über die Hoffläche verteilt).

Umsetzung im Modell

Im Modell werden die verschiedenen Maßnahmen durch Veränderungen der maximalen Infiltrationskapazität sowie des Interzeptions- und Muldenspeichers dargestellt. Befindet sich die betreffende Fläche am Hang, wird die Infiltrationskapazität um 10 % reduziert. Bei Hecken sowie Retentionsgehölzen wird der Muldenspeicher vergrößert. Im Vergleich zum reinen Grünland wird auch der Interzeptionsspeicher bei allen agroforstlichen Maßnahmen vergrößert.

Modellergebnisse

Das Einbringen von agroforstlichen Strukturen sowohl im Grün- als auch im Ackerland zeigt sich ebenfalls besonders in der Erhöhung des durchschnittlichen Wasserspeichers. Dieser steigt mit Einbringung der agroforstlichen Strukturen deutlich an (vgl. Tabelle 18).

Ackerbau

Im Ackerbau sollen die bereits in Kapitel 4.3.2 Ackerbau beschriebenen Anpassungsmaßnahmen modelliert werden.

Umsetzung im Modell

Im Modell wurden die Infiltrationskapazität sowie der Interzeptions- und Muldenspeicher angepasst. Bei der Umsetzung der Maßnahmen im Ackerbau wird ein deutlich höherer Interzeptionsspeicher als im Baseline Szenario angenommen. Auch die maximale Infiltrationskapazität steigt.

Modellergebnisse

Die Anpassungsmaßnahmen im Ackerbau zeigen sich im Modell ebenfalls besonders stark im Anstieg des Bodenwasserspeichers (vgl. Tabelle 18). Gleichzeitig kommt es auch zu Reduktion der Anzahl und Länge der Trockentage. Dieser zeigt sich vor allem in den trockeneren Jahren 2018 und 2050, in denen sich die Anzahl der Tage um bis zu 7 reduziert. Im Normaljahr 2012 hingegen, bleiben Anzahl und Dauer sowohl im Baseline-Szenario als auch in der Umsetzung bei null.

8.2. Glossar

Aquifer: Gesteinskörper der geeignet ist, Grundwasser weiterzuleiten und abzugeben. Aquifere werden auch als Grundwasserleiter bezeichnet. Bei der Abgrenzung der Begriffe Aquiclude, Aquifuge, Aquitarde und Aquifer wird oftmals die Wirtschaftlichkeit des Gesteinskörpers hinsichtlich der Wasserergiebigkeit mit einbezogen. Aquifere sind dann solche Gesteinskörper, die Grundwasser in wirtschaftlich bedeutsamen Mengen liefern.
Aquifer - Lexikon der Geowissenschaften (spektrum.de)

Basisabfluss: (Base Flow) werden die Teile des Wassers bezeichnet, die den Vorfluter erst mit erheblicher Zeitverzögerung erreichen. Er setzt sich aus Grundwasserabfluss und dem verzögerten Zwischenabfluss zusammen.
WikiDer > Abflussganglinie (wikinew.wiki)

Bodenspeicher: (Bodenwasserspeicher) Die Menge Wasser, die der Boden gegen die Schwerkraft halten kann und die damit z.B. den Pflanzen längerfristig zur Verfügung steht.
Wasserspeicher (uni-oldenburg.de)

Bodenwasserhaushalt: Wasserhaushalt bezogen auf ein definiertes Bodenvolumen. Er besteht aus der Summe aller herein- und herausgehenden Wasserflüsse sowie der Änderungen des Wasservorrats im Boden als Funktion der Zeit.
Bodenwasserhaushalt - Lexikon der Geowissenschaften (spektrum.de)

Direktabfluss: direkter Abfluss, Wasser, das nach einem Niederschlagsereignis oder nach der Schneeschmelze unmittelbar oder nur mit kurzer Zeitverzögerung einem Fließgewässer zufließt (Effektivniederschlag).
Direktabfluß - Lexikon der Geowissenschaften (spektrum.de)

Evapotranspiration: Summe von Evaporation (Bodenverdunstung und Interzeptionsverdunstung) und Transpiration. Die Verdunstungskomponenten werden beeinflusst von Boden- und Pflanzenart, Pflanzenentwicklung und Witterung. Es muss zwischen der potentiellen und der tatsächlichen Evapotranspiration unterschieden werden.
Evapotranspiration - Lexikon der Geowissenschaften (spektrum.de)

Exfiltration: auf der Landoberfläche als Quellwasser oder returnflow (hangaufwärts in den Boden infiltriertes Niederschlagswasser) austretendes sowie das dem Wasserlauf aus dem Grundwasser direkt zufließende Wasser.
Exfiltration - Lexikon der Geowissenschaften (spektrum.de)

gesättigte Bodenzone: Bereich im Erdstoff in dem alle Poren mit Wasser gefüllt sind (wassergesättigte Bodenzone), im Gegensatz zur ungesättigten Bodenzone; trifft zu für Grund- und Stauwasserbereich einschließlich darüber befindlichem geschlossenem Kapillarsaum.
gesättigte Bodenzone - Lexikon der Geowissenschaften (spektrum.de)

Grundwasserabfluss: (Grundwasserabstrom) Wasser, das einem Fließgewässer über die Grundwasserneubildung und horizontale Wasserflüsse in der gesättigten Bodenwasserzone (Grundwasserspeicher) zufließt.
Grundwasserabfluß - Lexikon der Geowissenschaften (spektrum.de)

Grundwasser: Wasser unterhalb der Erdoberfläche, das durch Versickern von Niederschlägen und teilweise auch durch Versickern des Wassers aus Seen und Flüssen dorthin gelangt.
Grundwasser – Wikipedia

Grundwasserleiter: (Aquifer) Ein Gesteinskörper, der Hohlräume aufweist und daher geeignet ist Grundwasser weiterzuleiten.
Grundwasserleiter - Lexikon der Geowissenschaften (spektrum.de)

Grundwasserneubildung: Zufluß von infiltriertem Wasser zum Grundwasser, i.d.R. das an der Oberfläche einsickernde Niederschlagswasser abzüglich des Evapotranspirationsverlustes.
Grundwasserneubildung - Lexikon der Geowissenschaften (spektrum.de)

Grundwasserspiegel (GWS): die gegen die Atmosphäre druckmäßig ausgeglichene Grenzfläche des Grundwassers, wie sie z.B. in Brunnen oder Grundwassermeßstellen bestimmt werden kann.

Grundwasserspiegel - Lexikon der Geowissenschaften (spektrum.de)

Interzeption: Verdunstungsverlust bei Niederschlag, i.e.S. der Anteil des Niederschlagswassers, der an den Pflanzen haftet (Benetzung; Benetzbarkeit) und wieder verdunstet.

Interzeption - Lexikon der Biologie (spektrum.de)

Infiltrationsrate: Wasservolumen, das pro Zeit- und Flächeneinheit in den Boden eindringt (mm/h). Die Infiltrationsrate ist eine Funktion der Regenintensität, der Beschaffenheit der Bodenoberfläche (Verschlammung, Verkrustung), der Wasserdurchlässigkeit sowie des Wassergehaltes des Bodens. Im Verlauf des Niederschlages ist die Infiltrationsrate zunächst konstant und nimmt bei einsetzender Bodenwassersättigung exponentiell bis zu einem Gleichgewichtswert ab, der in etwa der gesättigten Wasserleitfähigkeit des Bodens entspricht.

Infiltrationsrate - Lexikon der Geowissenschaften (spektrum.de)

Interflow: (Zwischenabfluss, hypodermischer Abfluss) oberflächennahe, laterale Wasserflüsse in der ungesättigten Bodenzone. Dieser Prozess spielt sich meist oberflächennah im Bereich von Berghängen ab. Zwischenabfluss kann entweder durch laterale Flüsse im Makroporensystem oder durch Mikroporenabfluss entstehen.

Zwischenabfluß - Lexikon der Geowissenschaften (spektrum.de)

Muldenspeicher: Die Menge Wasser, die auf der Bodenfläche in kleinen Unebenheiten gespeichert werden kann, ohne Oberflächenabfluss zu erzeugen.

Wasserspeicher (uni-oldenburg.de)

nutzbare Feldkapazität: (nFK) Differenz zwischen dem Wassergehalt bei Feldkapazität (pF etwa 1,8 bis 2,5) und beim permanenten Welkepunkt ($pF=4,2$) aus der pF -Kurve. Die nFK wird üblicherweise als der Wasservorrat eines Bodens angesehen, der von den Pflanzen genutzt werden kann.

nutzbare Feldkapazität - Lexikon der Geowissenschaften (spektrum.de)

Quellschüttung oder Schüttung: (Abfluss) Aus einer Quelle austretende Wasservolumen pro Zeiteinheit [l/s].

Quellschüttung - Lexikon der Geowissenschaften (spektrum.de)

Sickerwasser: ein unter dem Einfluss der Schwerkraft sich in den Bodenporen (Groporen) vertikal abwärts bewegendes (versickerndes) Bodenwasser. Die Sickerwassermenge hängt ab von der Niederschlagshöhe und -verteilung, vom Bodentyp und damit den hydraulischen Bodeneigenschaften, der Evapotranspiration und dem Relief. Da unterhalb der Wurzelzone gewöhnlich kein Wasserentzug mehr erfolgt, wird Sickerwasser im Allgemeinen zum Grundwasser gezählt und ist damit die Quelle der Grundwasserneubildung.

Sickerwasser - Lexikon der Geowissenschaften (spektrum.de)

Starkregenereignis: (Starkniederschlag) Niederschlag hoher Niederschlagsintensität und einer Mindestmenge von 5 mm Niederschlagshöhe in 5 Minuten Niederschlagsdauer bzw. (7,1 mm/10 min), (10 mm/20 min), (17,1 mm/60 min).

Starkniederschlag - Lexikon der Geowissenschaften (spektrum.de)

Transpiration: (Pflanzenverdunstung) Verdunstung an Pflanzenoberflächen aufgrund biotischer Prozesse.

Transpiration - Lexikon der Geowissenschaften (spektrum.de)

Trockenheitsindex: ist eine Maßzahl, welche Niederschlag und Temperatur ins Verhältnis setzt. Es ist umso trockener, je weniger Niederschlag gefallen ist. Zudem verdunstet bei höherer Temperatur mehr Feuchtigkeit, so dass es bei gleich viel gefallenem Niederschlag bei einer höheren Temperatur trockener ist als bei einer niedrigeren Temperatur.

Trockenheitsindices - Bedeutung - enzyklo.de

ungesättigte Bodenzone: Bodenbereich, in dem meist nur eine teilweise Sättigung des Porenvolumens mit Wasser vorkommt und in dem kein Stau- oder Grundwasser mit Wassersättigung auftritt.

ungesättigte Bodenzone - Lexikon der Geowissenschaften (spektrum.de)

