



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Wirtschaft, Bildung und Forschung WBF

Bundesamt für Landwirtschaft BLW
Direktionsbereich Produktionssysteme und natürliche Ressourcen

Anne Dietzel, Pascal Zaffarano, Christian Stamm

Dezember 2015

Zukunftsfähige gewässerschonende landwirtschaftliche Produktion in der Schweiz

Schlussbericht zum Projekt AProWa

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	6
1 Einleitung	7
1.1 Ausgangslage und Motivation	8
1.2 Projektziele	9
2 Methodisches Vorgehen	10
3 Resultate	15
3.1 Strukturierung Entscheidungsproblem	15
3.2 Zielhierarchie – Ziele, Attribute und Wertfunktionen	16
3.3 Handlungsoptionen.....	39
3.4 Qualitative Analyse	40
3.5 Quantitative Analyse – Beispiel konservierende Bodenbearbeitung.....	45
4 Diskussion	53
4.1 Allgemeine Diskussion	53
4.2 Spezifische Forschungsdefizite	54
5 Ausblick	55
6 Anhang	56
6.1 Handlungsoptionen (detailliert).....	56
6.2 Qualitative Analyse (Excel-Sheet)	60
6.3 Qualitative Analyse (detailliert)	62
6.4 Quantitative Vorhersage (Daten).....	66
6.5 Involvierte Personen	70
6.6 Danksagung.....	70
6.7 Glossar	71
6.8 Bibliographie.....	72

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Methodischer Ansatz im Projekt AProWa, angelehnt an die Methoden der multi-kriteriellen Entscheidungsanalyse (Grafik abgeändert aus Schuwirth, Reichert, & Lienert, 2012). Die Hauptresultate des Projekts sind farblich hervorgehoben.	10
Abbildung 2: Wandbild des ersten Vorschlags für eine Zielhierarchie als Diskussionsgrundlage beim ersten Projekt-Workshop am 27. Juni 2013 an der Eawag.	11
Abbildung 3: Beispielhafte (lineare, ansteigende) Wertfunktion für ein Ziel mit einem Attribut mit einem möglichen Attributbereich zwischen 0 und 100. Jedem Attributwert wird ein dimensionsloser Wert oder „value“ zwischen 0 und 1 zugewiesen.	14
Abbildung 4: Schematische Darstellung des Artikels 104 der Schweizerischen Bundesverfassung in Form einer Zielhierarchie. Die hervorgehobenen Ziele sind Thema des Projektes AProWa.	16
Abbildung 5: Oberziele der AProWa-Zielhierarchie.	17
Abbildung 6: Oberziel 1 der AProWa-Zielhierarchie mit den dazugehörigen Unterzielen.	17
Abbildung 7: Oberziel 2 der AProWa-Zielhierarchie mit den dazugehörigen Unterzielen.	20
Abbildung 8: Oberziel 3 der AProWa-Zielhierarchie mit den dazugehörigen Unterzielen.	23
Abbildung 9: Oberziel 4 der AProWa-Zielhierarchie mit den dazugehörigen Unterzielen. Die Farbgebung ist an das Modul-Stufen-Konzept angelehnt, die Unterziele des „Naturnahen ökologischen Zustands der Flussabschnitte“ und des „Naturnahen ökologischen Zustands der Seen“ sind daraus entnommen. Die Unterziele des „Naturnahen ökologischen Zustands der Grundwasserleiter“ wurden teilweise aus der Teilsynthese 3 des NFP 61 entnommen und noch ergänzt. Ausser für die Kleingewässer gibt es für alle dick geschriebenen Ziele noch weitere Unterziele, die hier in der Abbildung nicht alle aufgeführt werden konnten.	32
Abbildung 10: Unterziele für den Zustand der einzelnen Flussabschnitte, leicht abgeändert nach neueren Vorschlägen zum Modul-Stufen-Konzept, die Farbgebung ist an das MSK angelehnt.	33
Abbildung 11: Unterziele für den Zustand der einzelnen Seen nach Seenkonzept bis zur zweiten Unterzielebene.	34
Abbildung 12: Unterziele für den Zustand der Grundwasserleiter.	35
Abbildung 13: Anzahl Ziele pro Ebene der Zielhierarchie inklusive der Anzahl Attribute für die Ziele auf der jeweils untersten Ebene	37
Abbildung 14: Implementation der AProWa-Zielhierarchie im Statistik-Tool R bis auf Zielebene 7. Die vier Ziele auf der zweiten (Ziel)Ebene „Hohe Ernährungssicherheit“, „Hohe Wettbewerbsfähigkeit“, „Erhalt der Produktionsfaktoren in der Landwirtschaft“ und „Naturnaher ökologischer Zustand der aquatischen Lebensräume“ sind in Abbildung 6, Abbildung 7, Abbildung 8 und Abbildung 9 genauer dargestellt.	38
Abbildung 15: Screenshot eines ausgefüllten Excel-Sheets für die qualitative Bewertung verschiedener Handlungsoptionen auf einige Ziele der Fliessgewässer (Eine grössere Darstellung der Abbildung findet sich in Anhang 6.2; Die Kategorien für den räumlichen Bezug (1. Spalte) konnten aus Tabelle 2 (Kapitel 2) ausgewählt werden, die Kategorien für die Effekte (restliche Spalten) aus Tabelle 1 (Kapitel 2)).	41

Abbildung 16: Histogramme der qualitativ eingeschätzten Effekte der Handlungsoption 13a (Düngung; Vermeidung unnötiger Düngung/Berücksichtigung der Nährstoffvorräte im Boden) auf alle Ziele der Agrarproduktion (links) und die Ziele des Gewässerschutzes (rechts). Es ist die relative Häufigkeit (zwischen 0 und 1) jedes einzelnen Eintrags über alle Ziele gezeigt. (Die y-Achse wurde bei 0.6 abgeschnitten, da die meisten Histogramme durch nicht vorhandene Effekte („0“) dominiert werden und die anderen Effekte sonst in der Grafik nicht sichtbar sind.).....	42
Abbildung 17: Histogramme der qualitativ eingeschätzten Effekte der Handlungsoption 19biv (Thema Bewässerung; Effizienzsteigerung Bewässerung; Kombination aus Steuerung und Applikation) auf alle Ziele der Agrarproduktion (links) und die Ziele des Gewässerschutzes (rechts). Es ist die relative Häufigkeit (zwischen 0 und 1) jedes einzelnen Eintrags über alle Ziele gezeigt. (s.o.).....	42
Abbildung 18: Histogramme der qualitativ eingeschätzten Effekte der Handlungsoption 24d (Fütterung (Tierhaltung); Fütterung mit Fertigfuttermischungen) auf alle Ziele der Agrarproduktion (links) und die Ziele des Gewässerschutzes (rechts). Es ist die relative Häufigkeit (zwischen 0 und 1) jedes einzelnen Eintrags über alle Ziele gezeigt. (s.o.)	43
Abbildung 19: Histogramme der qualitativ eingeschätzten Effekte der Handlungsoption 14g (Pflanzenschutz; Fruchtfolge optimiert für den Pflanzenschutz) auf alle Ziele der Agrarproduktion (links) und die Ziele des Gewässerschutzes (rechts). Es ist die relative Häufigkeit (zwischen 0 und 1) jedes einzelnen Eintrags über alle Ziele gezeigt. (s.o.)	43
Abbildung 20: Bewertung des Ist-Zustands an Hand der Abschätzung des aktuellen Zustands der verschiedenen Ziele, visualisiert in der Zielhierarchie. Die schwarzen Striche innerhalb der Boxen geben die Bewertung auf einer Skala zwischen 0 und 1 definiert durch die jeweilige Wertfunktion an. Die Boxen sind in der Farbe der zugehörigen Zustandsklasse eingefärbt.	46
Abbildung 21: Bewertung des Ist-Zustands an Hand der Abschätzung des aktuellen Zustands der verschiedenen Ziele, visualisiert in der Zielhierarchie, mit Unsicherheit. Der Farbverlauf innerhalb der Boxen zeigt das 90%-Vertrauensintervall für die Zustandsklasse, die schwarze Markierung den Median. Je breiter die Zustandsklassen für ein Ziel streuen, desto grösser ist die Einschätzung seiner Bewertung.	48
Abbildung 22: Bewertung des Direktsaat-Verfahrens, visualisiert in der Zielhierarchie. Die schwarzen Striche innerhalb der Boxen geben den Wert zwischen 0 und 1 der jeweiligen Wertfunktion an.....	50
Abbildung 23: Bewertung des Direktsaat-Verfahrens, visualisiert in der Zielhierarchie, mit Unsicherheit. Der Farbverlauf innerhalb der Boxen gibt das 90%-Vertrauensintervall für die Zustandsklasse an.	51
Abbildung 24: Vergleich der Bewertung des Ist-Zustands für zwei verschiedene Gewichtungen. Die linke Grafik zeigt die Gesamtbewertung für das dreifache Gewicht für die Ernährungssicherheit im Vergleich zu den anderen 3 Zielen. Die rechte Grafik zeigt die Bewertung für ein dreifaches Gewicht der aquatischen Lebensräume.....	52
Abbildung 25: Vergleich der Bewertung der Unterzielhierarchie für die Bodenproduktivität für zwei verschiedene Aggregationstypen. Die linke Grafik zeigt die Bewertung mit Minimum-Aggregationen und gleichen Gewichten für alle Aggregationen. Die rechte Grafik zeigt das Ergebnis für additive Aggregationen und gleiche Gewichte.	53

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Auswahlmöglichkeiten im Excel-Sheet für die qualitative Vorhersage.....	12
Tabelle 2: Auswahlmöglichkeiten für den räumlichen Bezug der Handlungsoptionen	12
Tabelle 3: Anzahl Ziele und Attribute je Hauptziel der Zielhierarchie, sowie die Anzahl der Ziele und Attribute zu denen bisher keine Angaben, nur eine Zieldefinition, ein Attribut, eine numerische Anforderung oder bereits eine Wertfunktion vorhanden war (in der eine eventuelle numerische Anforderung eingeflossen ist).....	36
Tabelle 4: Anzahl von Handlungsoptionen, die je Themenbereich den einzelnen Kategorien zugeordnet wurden („Prod“/“P“: landwirtschaftliche Produktion; „GSch“/“G“: Gewässerschutz).	44
Tabelle 5: Auf Grund ihres Raumbezugs und der quant. Datenlage prioritäre Handlungsoptionen	44

Zusammenfassung

Im Spannungsfeld der landwirtschaftlichen Produktion und des Schutzes der Gewässer in der Schweiz, hatte das Projekt AProWa zum Ziel, Entscheidungshilfen zu generieren, aber auch Forschungslücken für die zukünftige Zusammenarbeit zwischen landwirtschaftlicher Verwaltung und Wasserforschung zu identifizieren. Um dieses komplexe Themenfeld zu bearbeiten und dabei Forschungsergebnisse sowie Wertvorstellungen zu berücksichtigen, wurde eine Methode angewendet, die auf der multi-kriteriellen Entscheidungsanalyse basiert und deren Produkte über das Projekt hinaus von Nutzen sein können.

Eine systematische Aufstellung und Gliederung von Produktions- und Schutzziele und ein Vorschlag an messbaren Indikatoren diente als Bewertungssystem für einen umfassenden Katalog an landwirtschaftlichen und gewässerschützerischen Handlungsoptionen. Aus der Experteneinschätzung zu den Effekten dieser Handlungsoptionen, konnten konfliktfreie und konfliktreiche Optionen, sowie inhaltliche Forschungslücken identifiziert werden.

Die für eine gewässerschonende Landwirtschaft konfliktfreien Optionen fielen grösstenteils in den Themenbereich des Weidemanagements.

Zwischen den gesellschaftlichen Zielen der Agrarproduktion und des Gewässerschutzes schienen vor allem

- Massnahmen der Revitalisierung,
- des Nährstoffmanagements
- und der ökologischen Ausgleichsflächen

Konflikte auszulösen. Aber auch innerhalb der verschiedensten Themenbereiche der Agrarproduktion oder des Gewässerschutzes zeigte sich bei der Analyse, dass Konflikte bestehen.

Die identifizierten Forschungslücken konzentrierten sich auf Handlungsoptionen in den Themenbereichen

- Einsatz von Pflanzenschutzmitteln,
- Bodenbearbeitung,
- Erosionsschutz
- und Reduktion der Gewässerkonnektivität.

Weiterhin wurde beispielhaft eine spezifische Handlungsoption mit Hilfe der erarbeiteten Methode detaillierter analysiert, ihre quantitativen Effekte abgeschätzt und diese mit dem Ist-Zustand verglichen. Das Verfahren der Direktsaat schien vielversprechend, die Ergebnisse sind aber im vorgestellten, stark aggregierten Bewertungssystem schwierig zu interpretieren. Zudem fehlten, trotz vorhandener Studien, weiterhin eindeutige Daten für eine quantitative Einschätzung.

Sowohl die qualitative, als auch die quantitative Analyse, zeigten Schwierigkeiten in der Anwendung der Methode. Die hohe Komplexität der Thematik, die fehlenden Zieldefinitionen und die oftmals schlechte Datenlage erwiesen sich als Hürden in der Durchführung. Daraus ergaben sich weitere wichtige, methodische Forschungslücken. Eine Vereinfachung der Methode und die Überprüfung der messbaren Indikatoren und der Formalisierung der Wertungen von Zielen sollten angegangen werden. Weiterhin wäre eine umfassendere Sammlung von Daten zum aktuellen Zustand und der Auswirkungen der Handlungsoptionen sinnvoll. Zudem sollte das Bewertungssystem in den Bereichen der stehenden Kleingewässer, des Grundwassers und der Bodenproduktivität weiterentwickelt werden.

Die methodischen wie auch inhaltlichen Forschungslücken sind sinnvolle Anknüpfungspunkte für die künftige Zusammenarbeit hin zu einer gewässerschonenden Agrarproduktion. Die im Projekt AProWa definierten Ziele, dazugehörige Indikatoren und Bewertungsfunktionen, die gesammelten Handlungsoptionen und die Implementation des Bewertungssystems sind gute Grundlagen für zukünftige Projekte und die politische Entscheidungsfindung.

1 Einleitung

Die Landwirtschaft ist für die Herstellung genügender und qualitativ hochstehender Lebensmittel und Rohstoffe auf die wertvolle Ressource Wasser angewiesen. Der Verfassungsauftrag an die Schweizer Landwirtschaft sieht vor, für diese und die anderen Ressourcen einen grösstmöglichen Schutz sicherzustellen. Die landwirtschaftliche Nutzung des Wassers und die Nähe von landwirtschaftlichen Flächen zu aquatischen Lebensräumen führen jedoch zu einer quantitativen und qualitativen Beanspruchung dieser Ressource. Dies kann Zielkonflikte zwischen Landwirtschaft und Gewässerschutz auslösen. Beispielsweise können durch Wasserentnahmen aus Grund- und Oberflächengewässern für die Bewässerung, das Drainieren von Feldern, den Einsatz von Düngern, Pflanzenschutz- und Tierarzneimitteln und verschiedene Bodenbearbeitungstechniken die aquatischen Lebensräume beeinträchtigt werden. Andererseits kann beispielsweise bei Revitalisierungen von kanalisierten Fließgewässern landwirtschaftliche Nutzfläche verloren gehen.

In einem hoch industrialisierten und dicht besiedelten Land wie der Schweiz kommen solche Konflikte besonders zum Tragen. Obwohl das Land typischerweise als sehr wasserreich angesehen wird (Björnsen Gurung & Stähli, 2014), gibt es lokal und saisonal auftretende Einschränkungen für die Wasserentnahmen, die mit den Auswirkungen des Klimawandels noch zunehmen werden (Fuhrer, Holzkämper, Klein, & Lehmann, 2013). Auch der stoffliche, biologische sowie ökomorphologische Zustand von Grund- und Oberflächengewässern ist weiter zu verbessern (BAFU, 2009b; Dönni & Guthruf, 2014; Zeh Weissmann, Könitzer, & Bertiller, 2009).

Die landwirtschaftliche Produktion und der Schutz der aquatischen Lebensräume ist ein breites Themenfeld. Um Zielkonflikte zu vermeiden und Optimierungspotentiale für das Gesamtsystem aufzeigen zu können, ist ein ganzheitlicher Ansatz nötig. Es ist deshalb wichtig, dafür Experten und Expertinnen sowie Entscheidungsträger und Entscheidungsträgerinnen aus dem gesamten Themenspektrum zu involvieren.

Vor diesem Hintergrund wollten das Bundesamt für Landwirtschaft (BLW), das Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs (Eawag) und die landwirtschaftliche Forschungsanstalt Agroscope mit dem gemeinsamen Forschungsprojekt AProWa („Agrarproduktion und Wasser“; voller Projektname: Zukunftsfähige gewässerschonende landwirtschaftliche Produktion in der Schweiz) die Grundlage für eine Zusammenarbeit schaffen.

Es stellte sich die Frage, wie prioritäre Themen für die strategische Planung der Zusammenarbeit identifiziert werden könnten, ohne dabei zu sehr durch die aktuellen Forschungsthemen beeinflusst zu sein. Um herauszufinden, welche Themen wichtig und welche Massnahmen für eine gewässerschonende Landwirtschaft am effektivsten sind, wäre unter anderem eine reine Expertenbefragung möglich gewesen. Diese Methode wurde beispielsweise in der „Foresight Study“ (Last, Buchmann, Gilgen, Grant, & Shreck, 2015), einem gemeinsamen Forschungsprojekt des BLWs und des World Food System Centers der ETH, angewendet. Bei dieser Vorgehensweise bleibt allerdings unklar, worauf die Einschätzung der Bedeutung eines bestimmten Themas und der Wirkung der Massnahmen durch die Befragten genau beruht. Zum einen könnte sich die Einschätzung auf Forschungsergebnisse stützen, die die Wichtigkeit oder Wirkung belegen. Zum anderen könnte sie auch durch persönliche oder gesellschaftliche Wertungen bestimmt sein.

Eine Methode, die diese beiden Schritte konzeptionell trennt und dadurch transparent darstellen kann, ist die multi-kriterielle Entscheidungsanalyse. Sie unterscheidet die Vorhersage, wie sich eine Handlung auswirkt, von der Bedeutung, die einer solchen Auswirkung beigemessen wird, also von der subjektiven Präferenz über die Auswirkung. Die multi-kriterielle Entscheidungsanalyse dient vor allem der Unterstützung von schwierigen Entscheiden, kann aber auch für die Priorisierung von Forschungsthemen und eine erste Identifikation von vielversprechenden Lösungsvorschlägen für komplexe und konfliktreiche Themenfelder verwendet werden.

Die Methode bietet vor allem auch eine ganzheitliche Sicht, da zunächst alle im Entscheidungskontext wichtigen Ziele gesammelt werden, die dann als Bewertungssystem für verschiedene Handlungsopti-

onen verwendet werden. Dies ist in der alltäglichen Entscheidungsfindung meist nicht möglich. Viele Entscheide werden beruhend auf der Kenntnis einiger weniger Zusammenhänge gefällt. Oft reicht die Zeit nicht aus oder eine Sachlage ist zu komplex, um auch die Auswirkungen auf andere Ziele zu berücksichtigen, oder gesicherte Kenntnisse über diese Auswirkungen fehlen gänzlich.

Um daher eine möglichst umfassende Zusammenstellung des vorhandenen und bisher fehlenden Wissens zu erstellen, wurden im Projekt AProWa im Sinne der multi-kriteriellen Entscheidungsanalyse alle wichtigen Ziele sowohl der Agrarproduktion als auch des Gewässerschutzes beschrieben. Ein umfangreicher Katalog fasst des Weiteren Massnahmen zur Erreichung dieser Ziele zusammen, die auf landwirtschaftlichen Betrieben oder im Rahmen von Projekten für den Gewässerschutz durchgeführt werden. Die Konsequenzen der Umsetzung solcher Handlungsoptionen auf einzelne Ziele sowie exemplarisch auf das Gesamtsystem wurden analysiert. Es wurde so weit wie möglich evaluiert, welche dieser Handlungsoptionen einige der aufgestellten Ziele zu erreichen scheinen, für welche weitere Forschung nötig ist, um deren Effekt abzuschätzen, und welche (basierend auf dem vorhandenen Wissen) die grössten Zielkonflikte auslösen.

Die erarbeiteten Ergebnisse können auch für die Evaluation weiterer Handlungsoptionen im Spannungsfeld Gewässerschutz und Landwirtschaft, oder ähnliche Fragestellungen eines verwandten Themengebietes von Nutzen sein. Beispielsweise könnten für die Betrachtung der terrestrischen Lebensräume in Zusammenhang mit der Agrarproduktion Teile des erarbeiteten Bewertungssystems übernommen werden.

Zusammenfassend sollte die Studie das Systemverständnis für politische Diskussionen und Entscheidungsfindungen in diesem Themenfeld fördern, um daraus Optimierungsvorschläge herleiten zu können, die in die Strategie hin zu einer nachhaltigen Schweizer Landwirtschafts- und Ernährungspolitik miteinbezogen werden können.

1.1 Ausgangslage und Motivation

Der Artikel 104 der Schweizerischen Bundesverfassung (SR 101a, 1999) beauftragt die multifunktionale Landwirtschaft der Schweiz, sowohl den natürlichen Lebensgrundlagen grösstmöglichen Schutz zu gewähren als auch die Produktion qualitativ hochwertiger, vielfältiger und marktfähiger Lebensmittel zu garantieren:

Der Bund sorgt dafür, dass die Landwirtschaft durch eine nachhaltige und auf den Markt ausgerichtete Produktion einen wesentlichen Beitrag leistet zur:

- a) *sicheren Versorgung der Bevölkerung;*
- b) *Erhaltung der natürlichen Lebensgrundlagen und zur Pflege der Kulturlandschaft;*
- c) *dezentralen Besiedlung des Landes.*

Der Schutz der natürlichen Ressource Wasser hat dabei eine hohe Priorität, da Wasser Lebensraum und –grundlage für eine Vielzahl von Lebewesen ist, als Trinkwasser für Mensch und Tier genutzt wird und für eine landwirtschaftliche Produktion zur Ernährungssicherung eine Notwendigkeit ist. Einige Produktionsziele stehen aber im Konflikt mit gewissen Zielen des Gewässerschutzes, denn oft ist die Erreichung eines Ziels der landwirtschaftlichen Produktion oder des Gewässerschutzes nur zu Lasten eines anderen möglich. Im Idealfall lassen sich Zielkonflikte lösen oder vermindern, indem ein vorhandenes Optimierungspotential ausgeschöpft wird. Solche Win-win-Situationen existieren jedoch nur in begrenztem Mass. Sind unausweichliche Zielkonflikte vorhanden, kann durch eine Gewichtung zwischen den Zielen eine Kompromisslösung identifiziert werden. Eine solche Gewichtung kann je nach Kontext unterschiedlich ausfallen und macht die unterschiedlichen Interessen und Betroffenheit verschiedener Gruppen transparent.

Oft werden Empfehlungen für ein bestimmtes Entscheidungsproblem gegeben, ohne dabei zu wissen oder transparent zu erläutern, ob und in welcher Weise sich die empfohlenen Massnahmen auf die verfolgten Ziele und persönlichen Interessen auswirken. Denn häufig werden die verschiedenen Ziele, und noch seltener die Gewichtung zwischen ihnen, gar nicht explizit formuliert oder Betrachtungen konzentrieren sich auf einen sehr kleinen Teilbereich dieser Ziele. Bei der Betrachtung eines nur klei-

nen Bereichs des Gesamtsystems werden andere negative (oder auch positive) Auswirkungen von Massnahmen unter Umständen nicht analysiert, wodurch Nebeneffekte ignoriert werden und Entscheidungen weniger gut abgestützt sind.

Diese Art von Problemen ist auch im Spannungsfeld von landwirtschaftlicher Produktion und Gewässerschutz gegeben. Einerseits sind trotz langjähriger Forschung noch zahlreiche Fragen zu Wechselwirkungen zwischen Agrarproduktion und dem Zustand der Wasserressourcen in der Schweiz kaum zu beantworten. Zum anderen werden die Gewichtungen der betroffenen Ziele nur implizit vorgenommen. Damit sind transparente Entscheidungen zur Priorisierung von Massnahmen aber auch von Forschungsvorhaben kaum zu erreichen. Um diese Wissenslücken zu schliessen, ist es sinnvoll, die Synergien zwischen BLW, Eawag und Agroscope zu nutzen. Das Projekt AProWa sollte hierzu einen Beitrag leisten und Empfehlungen geben, welche dieser Forschungslücken prioritär zu untersuchen sind. Dabei wurde durch eine gesamtheitliche Betrachtungsweise versucht, möglichst viele Aspekte der gewässerschonenden Landwirtschaft mit einzubeziehen und die verfolgten Ziele explizit zu formulieren.

1.2 Projektziele

Motiviert durch die oben beschriebene Ausgangslage wurde in Zusammenarbeit der Institutionen Eawag, BLW und Agroscope eine Analyse der aktuellen Situation der Wechselwirkungen im Bereich der landwirtschaftlichen Produktion und des Zustands der Wasserressourcen in der Schweiz erstellt. Defizite in Bezug auf Forschungsthemen und die zur Verfügung stehenden Methoden wurden aufgezeigt. Diese Projektziele verfolgend hat das Projektteam nachstehende Resultate erarbeitet:

- (1) Eine systematische Aufstellung und Gliederung von Produktionszielen (wie z.B. Ertragsmenge, Produktionserlöse oder Flächenerhalt) der Schweizer Landwirtschaft zum einen und von Erhaltungszielen (wie z.B. Artenvielfalt von Seen, geringe Schadstoffkonzentrationen im Grundwasser oder unverbaute Fließgewässer) zum anderen. Zwecks einer transparenten Darstellung von sonst meist nur implizit verfolgten Anliegen wurden die konkreten Unterziele systematisch aufgegliedert. Jedes Unterziel entspricht einem Bewertungskriterium für das Gesamtsystem einer zukunftsfähigen gewässerschonenden Landwirtschaft in der Schweiz
- (2) Einen Vorschlag an messbaren Indikatoren (im Folgenden „Attribute“ genannt) zur Quantifizierung der Zielerreichung bzw. der Messung der Effekte einzelner Massnahmen auf die Zielerreichung
- (3) Eine Sammlung von landwirtschaftlichen Aktivitäten, gewässerschützerischen Massnahmen und Produktionstechniken, die im Kontext einer gewässerschonenden Landwirtschaft in der Schweiz berücksichtigt werden sollten. Durch Experteneinschätzungen zu deren qualitativen Effekten auf die aufgestellten Ziele wurden diese Handlungsoptionen eingeteilt in solche:
 - a. die den aquatischen Ökosystemen den grösstmöglichen Schutz gewähren und gleichzeitig die landwirtschaftlichen Produktionsziele bestmöglich unterstützen,
 - b. die heute das grösste Konfliktpotential zwischen Produktions- und Erhaltungsfunktion oder schon innerhalb eines der beiden Zielbereiche verursachen
 - c. die relevante Wissenslücken und Forschungsdefizite darstellen.
- (4) Demonstration der Verwendung und Testen der methodischen Ansätze zur quantitativen Bewertung verschiedener Handlungsoptionen an Hand eines Beispiels
- (5) Vorschläge für zukünftige Zusammenarbeiten und Forschungsrichtungen basierend auf dem durch das Projekt insgesamt aufgedeckten Forschungsbedarf

Entsprechend angepasst sind diese Resultate auch für die politische Entscheidungsfindung in anderen Themenfeldern der Landwirtschaft einsetzbar. Durch die transparente Darstellung von Wissensstand und Bewertung können sie auch der Kommunikation mit Entscheidungsträgern dienen. Mit dem Projekt AProWa wurde übergeordnet auch das Ziel verfolgt, dass die beteiligten Institutionen ein gemeinsames Problemverständnis entwickeln und sich mit Hilfe der verwendeten Methoden der multi-kriteriellen Entscheidungsanalyse über Sachverhalte und Präferenzen austauschen können. Die daraus gewonnene Erfahrung kann in den Aufbau von Zusammenarbeiten mit weiteren Institutionen einfließen.

2 Methodisches Vorgehen

Der methodische Ansatz im Projekt AProWa lehnt sich an die Methoden der multi-kriteriellen Entscheidungsanalyse an. Dieser Begriff fasst eine Vielzahl von Verfahren zusammen, die für ein bestimmtes Entscheidungsproblem Handlungsmöglichkeiten identifizieren, analysieren und Entscheidende dabei unterstützen sollen, die bestmögliche Option zu ermitteln. Allen Verfahren ist dabei gemein, dass sie mehrere, also multiple, Kriterien zur Bewertung der Optionen berücksichtigen können. Solche Verfahren sind für Entscheidungsprobleme geeignet, für die es viele Handlungsmöglichkeiten gibt, die sehr interdisziplinär, zu wichtig oder zu komplex für eine Ad-hoc-Entscheidung sind und in deren Entscheidungsprozess verschiedene Akteure involviert sind, die unterschiedliche und unter Umständen entgegengesetzte Ziele verfolgen (Keeney, 1982; Lienert, 2013).

Die Vorgehensweise bei AProWa stützt sich auf verschiedene Aspekte der multi-kriteriellen Entscheidungsanalyse, speziell auf methodische Ansätze der multi-attributiven Werte-Theorie (Multi-Attribute Value Theory (MAVT), Eisenführ, Weber, & Langer, 2010). Das methodische Vorgehen ist in *Abbildung 1* schematisch dargestellt und wird im Folgenden genauer beschrieben. Eine Sammlung von Begriffen, die in diesem Bericht im Sinne der multi-kriteriellen Entscheidungsanalyse benutzt werden, finden sich im Glossar in Anhang 6.7.

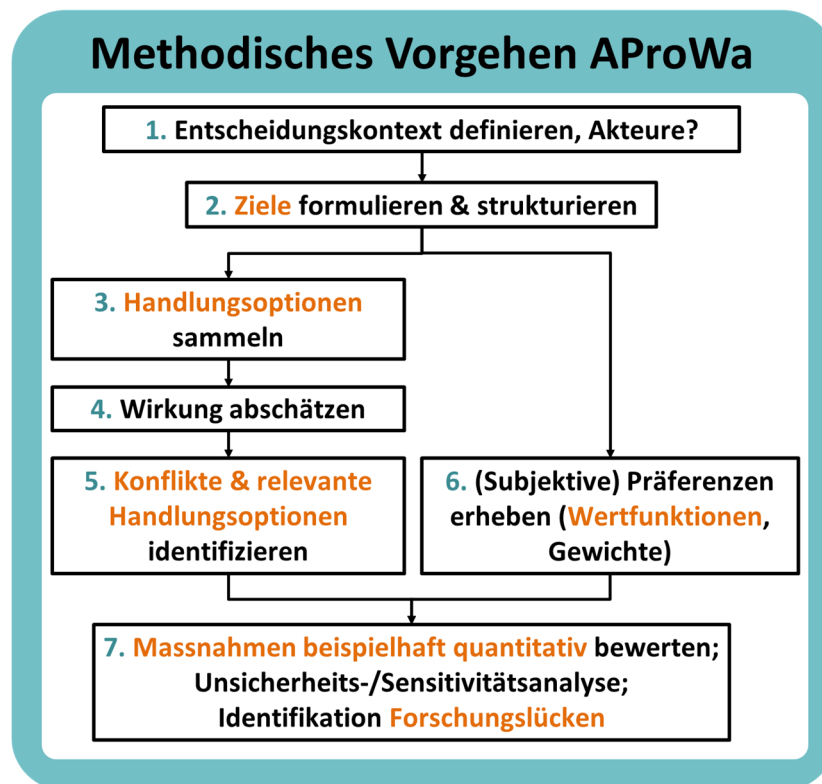


Abbildung 1: Methodischer Ansatz im Projekt AProWa, angelehnt an die Methoden der multi-kriteriellen Entscheidungsanalyse (Grafik abgeändert aus Schuwirth, Reichert, & Lienert, 2012). Die Hauptresultate des Projekts sind farblich hervorgehoben.

Schritt 1. Für AProWa wurde als Erstes der genaue Entscheidungskontext des Projekts basierend auf dem Verfassungsauftrag der Landwirtschaft definiert und die zu involvierenden Akteure bestimmt (*Abbildung 1*, Schritt 1). Dabei wurde durch die Projektleitung entschieden, welche Aspekte berücksichtigt werden sollen und welche ausserhalb der Systemgrenzen liegen. Dieser Schritt wird auch „Framing“ genannt.

Schritt 2. In einem zweiten Schritt (*Abbildung 1*, Schritt 2) wurden die Ziele, die im betrachteten Themenkomplex erreicht werden sollen, identifiziert. Diese Ziele stellen die Kriterien dar, nach denen verschiedene Handlungsoptionen (oder „Alternativen“) bewertet werden. Sie wurden in einer sogenannten Zielhierarchie strukturiert zusammengefasst. In der Zielhierarchie werden Ziele auf einer höheren

Ebene der Zielhierarchie durch ihre Unterziele auf den darunter liegenden Ebenen genauer definiert. Für diesen Schritt wurde durch Literaturrecherche und Überlegungen von Teilen des Projektteams ein erster Vorschlag für eine Zielhierarchie mit dem Oberziel der „Zukunftsfähigen gewässerschonenden Landwirtschaft in der Schweiz“ aufgestellt. Im ersten Projekt-Workshop am 27. Juni 2013 wurde dem Projektteam zunächst noch einmal die Projektidee, die Projektziele und das geplante Vorgehen vorgestellt, sowie eine Einführung in die Methode der multi-kriteriellen Entscheidungsanalyse gegeben. Der erste Vorschlag für eine Zielhierarchie wurde für eine thematische Einführung ebenfalls kurz erläutert. Danach hatten die Mitglieder des Projektteam die Möglichkeit, sich die Ziele der gewässerschonenden Landwirtschaft mit der Nominal Group Technique (Delbecq & Van de Ven, 1971) erst alleine zu überlegen und dann im Plenum zu diskutieren. Während der Diskussion wurde direkt versucht, die genannten Ziele mit Hilfe eines Wandbildes (*Abbildung 2*) hierarchisch zu strukturieren, es wurden alle Vorschläge des Projektteams diskutiert.



Abbildung 2: Wandbild des ersten Vorschlags für eine Zielhierarchie als Diskussionsgrundlage beim ersten Projekt-Workshop am 27. Juni 2013 an der Eawag.

Nach dem Workshop fanden bilaterale Treffen mit Mitgliedern des Projektteams, die nicht am Workshop teilnehmen konnten, sowie mit Experten und Expertinnen, deren Themengebiet noch zu wenig durch das Projektteam abgedeckt wurde, statt. Dabei wurde die Zielhierarchie weiter diskutiert, angepasst und erweitert. Das anschliessend erstellte Protokoll über die Erarbeitung der Zielhierarchie wurde von allen Projektteam-Mitgliedern gegengelesen und die Zielhierarchie wurde entsprechend der Rückmeldungen in einigen Fällen noch einmal abgeändert.

Jedem Ziel der Zielhierarchie wurde ausserdem ein Attribut, also ein messbarer Indikator, zugewiesen, der anzeigen kann, wie gut das Ziel erreicht ist. Ein intuitives Beispiel dafür ist das Attribut „Schweizer Franken pro Jahr“ für das Ziel „Geringe Kosten“.

Schritt 3. Bei den folgenden Schritten 3-5 handelt es sich um den objektiven Teil der Methode, der eine Trennung von subjektiven, im Fall von AProWa vor allem gesellschaftlichen und weniger persönlichen, Präferenzen (Schritt 6) erlaubt. Als Schritt 3 wurde ein Katalog von Handlungsoptionen, die als Alternativen für die Erreichung einer zukunftsfähigen gewässerschonenden Landwirtschaft berücksichtigt werden sollten, aufgestellt (*Abbildung 1*, Schritt 3). Dabei war das Ziel, möglichst alle potentiellen Tätigkeitsbereiche innerhalb der landwirtschaftlichen Produktion und des Gewässerschutzes abzudecken. Im Laufe des weiteren Vorgehens wurden hierzu auch Rückmeldungen und Änderungsvorschläge des Projektteams berücksichtigt und der Katalog konnte so laufend angepasst und verbessert werden.

Schritt 4. In einem vierten Schritt (*Abbildung 1*, Schritt 4) wurde versucht vorherzusagen, wie sich die verschiedenen gesammelten Alternativen auf die Ziele der untersten Ebene der Zielhierarchie auswirken. Dieser Teil beruht im Idealfall auf gut abgestützten und sicheren Forschungsergebnissen. Im Projekt AProWa wurde versucht, den heutigen Kenntnisstand bei Experten und Expertinnen abzufragen. Es wurde davon ausgegangen, dass die Einschätzungen des Projektteams und weiteren Experten

und Expertinnen möglichst auf ihrem Wissen über Forschungsergebnisse wie Resultate von Experimenten, Feldbeobachtungen und Modellierungsstudien beruhen. Es war aber nicht auszuschliessen, dass auch gewisse persönliche Präferenzen für bestimmte Handlungsoptionen in die Einschätzungen mit einfließen. Denn bevorzugt ein Experte eine Handlungsoption gegenüber einer anderen, dann kann dies unter Umständen seine Einschätzung darüber, wie sich diese Handlungsoption auf ein Ziel auswirkt, beeinflussen, z.B. in dem er ihr einen höheren Wirkungsgrad beimisst als sich dies objektiv aus Forschungsergebnissen ableiten liesse. Trotzdem trennt dieser Schritt die, mit mehr oder weniger Unsicherheit behaftete, Vorhersage, wie sich eine Handlungsoption auf ein Ziel auswirkt, von der Wertung welche Ausprägung der verschiedenen Ziele je nach Interessensgruppe bevorzugt wird. Die Wertung erfolgt in Schritt 6.

Um für die lange Liste an Handlungsoptionen eine Einschätzung der Effekte auf die sehr umfassenden Ziele unserer Zielhierarchie zu erhalten, haben wir uns in diesem Schritt zunächst auf eine qualitative Vorhersage der Auswirkungen konzentriert. So konnten wir einen Gesamtüberblick über das Thema der gewässerschonenden Landwirtschaft erhalten. Jedem Experten/jeder Expertin wurde eine Auswahl an Handlungsoptionen zugeteilt, die möglichst seinem/ihrem Arbeitsgebiet entsprach. Um die Ergebnisse besser abzustützen, wurde versucht, jede Handlungsoption möglichst zwei bis drei Personen zuzuteilen. Für diese Auswahl an Handlungsoptionen haben die Expertinnen und Experten versucht, die Effekte auf die Ziele qualitativ einzuschätzen und in einem Excel-Sheet einzutragen. Dabei konnte ausgewählt werden, ob die Massnahme einen positiven, negativen oder keinen Effekt auf das jeweilige Ziel hat oder ob sie einem Effekt dazwischen zuzuordnen ist. Ausserdem konnte angegeben werden, ob die Auswirkung als unsicher einzuschätzen ist, da sie beispielsweise stark abhängig ist von den Standortbedingungen oder der Art der Durchführung der Massnahme, oder ob die Auswirkung (dem Experten/der Expertin) generell unbekannt ist (s. *Tabelle 1*).

Tabelle 1: Auswahlmöglichkeiten im Excel-Sheet für die qualitative Vorhersage

(++)	Die Massnahme scheint für dieses Ziel besonders vielversprechend
(+)	Der Effekt der Massnahme auf die Zielerreichung geht eindeutig in eine positive Richtung
(0+)	Die Massnahme hat keinen oder einen leicht positiven Effekt
0	Die Massnahme hat keinen Effekt auf die Zielerreichung
(-0)	Die Massnahme hat keinen oder einen leicht negativen Effekt
(-)	Der Effekt der Massnahme auf die Zielerreichung geht eindeutig in eine negative Richtung
(--)	Die Massnahme ist für dieses Ziel besonders ungünstig
(-) - (+)	Die Auswirkung der Massnahme kann negativ, neutral oder positiv sein
?	Die Auswirkung der Massnahme auf die Zielerreichung ist (mir) unbekannt

Tabelle 2: Auswahlmöglichkeiten für den räumlichen Bezug der Handlungsoptionen

FI	flächendeckend
Lo	lokal
Sp	unter speziellen Bedingungen
JU	Biogeographische Region: Jura
MP	Biogeographische Region: Mittelland
NA-SA	Biogeographische Regionen: Alpenraum gesamt
T1-3	Landwirtschaftliche Zone: Talzone
T4	Landwirtschaftliche Zone: Hügelzone
B1-4	Landwirtschaftliche Zone: Bergzonen I-IV
S	Landwirtschaftliche Zone: Sömmerungsgebiet

Zudem konnte für jede Handlungsoption eine Einschätzung zu ihrem räumlichen Bezug gegeben werden. Damit konnten wir abfragen, wie prioritär man die jeweiligen Handlungsoptionen behandeln sollte. Eine sich besonders positiv auswirkende Massnahme ist vielleicht weniger relevant, wenn sie nur in einem sehr kleinen Teil der Schweiz überhaupt anwendbar ist. Dafür kann sie interessant sein, wenn es darum geht, in einem lokalen Kontext oder unter bestimmten Bedingungen eine vielversprechende Massnahme zu finden. *Tabelle 2* fasst die Auswahlmöglichkeiten für den räumlichen Bezug zusammen.

Für das Ausfüllen der Excel-Sheets haben wir uns zunächst mit den meisten Experten und Expertinnen einzeln getroffen, um eine kurze Einführung in die Datei zu geben und zu erklären, in welcher Art sie ausgefüllt werden soll.

Schritt 5. Nach Erhalt der ausgefüllten Dateien konnten die Ergebnisse der qualitativen Vorhersagen durch das Projektteam ausgewertet werden (*Abbildung 1*, Schritt 5). Für eine Aufteilung aller Handlungsoptionen in sinnvolle Kategorien wurden verschiedene Clusteranalysen, die hierarchischen Clusterverfahren „Ward“ und „Complete“, sowie der „K-Means-Algorithmus“ (Jain, 2010) und „Partitioning Among Medoids (PAM)“ (Kaufman & Rousseeuw, 1990) als zwei partitionierende Verfahren getestet. Da die meisten der Einschätzungen durch leere Einträge oder keine Effekte dominiert wurden, konnten die Algorithmen keine aussagekräftigen Kategorien bilden. Daher wurde letztlich eine manuelle Kategorisierung durchgeführt. Als Kriterien wurde dabei die Präsenz von positiven oder negativen Auswirkungen, von beiderlei Effekten beziehungsweise die Dominanz von neutralen Auswirkungen, Nichtwissen oder Unsicherheit verwendet.

Die Handlungsoptionen konnten so in insgesamt 3 Hauptkategorien in empfehlenswerte Massnahmen, Forschungslücken und solche, die Konflikte auslösen, eingeteilt werden. Die konfliktreichen Massnahmen konnten noch einmal unterteilt werden. Konfliktreich waren zum einen solche, die bereits innerhalb eines der beiden Zielbereiche des Gewässerschutzes oder der Agrarproduktion einen Konflikt auslösen. Zum anderen gab es Massnahmen, die positive Auswirkungen in einem und zugleich negative Effekte im anderen Zielbereich bewirken. Schliesslich wurde eine Gruppe von Handlungsoptionen identifiziert, für die für beide Bereiche (aquatische Lebensräume und Landwirtschaft) sowohl positive als auch negative Auswirkungen prognostiziert wurden.

Mit Hilfe der Analyse des eingeschätzten räumlichen Bezugs der Massnahmen und an Hand einer Literaturrecherche zur quantitativen Datenlage der Massnahmen wurde im Anschluss eine Vorauswahl von Massnahmen getroffen, die sich für eine quantitative Analyse eignen. Für die Literaturrecherche wurde versucht, zu jeder Massnahme Forschungsergebnisse zu finden, die eine Einschätzung zulassen, wie stark sich die Massnahme auf eines oder mehrere der gesammelten Ziele auswirkt.

Schritt 6. In einem sechsten Schritt (*Abbildung 1*, Schritt 6) wurden die Präferenzen über die genau gewünschte Zielerreichung mit einbezogen, getrennt von den Abschätzungen der Auswirkungen der Alternativen auf die Ziele in den Schritten 3 bis 5. Dabei wurde für jedes Ziel auf der untersten Ebene der Zielhierarchie versucht zu ermitteln, welche Attributausprägung erwünscht ist, also zum Beispiel wieviel Schweizer Franken als gute Erfüllung des Ziels „geringe Kosten“ und welche Kosten als gesellschaftlich inakzeptabel anzusehen sind. Diese Wertung konnte dann in sogenannten Wertfunktionen dargestellt werden. Die Wertfunktionen sind ein essentieller Teil der Methode, durch die die verschiedenen Messgrössen der einzelnen Ziele so normiert werden (auf einen Wert zwischen 0 und 1), dass sie untereinander vergleichbar sind (siehe z.B. Langhans, Lienert, Schuwirth, & Reichert, 2013). Es ist zusätzlich auch eine Klasseneinteilung möglich, in der beispielsweise ein Wert zwischen 0 und 0.2 einer „sehr schlechten“ Bewertung (im Bericht rot markiert) entspricht, ein Wert zwischen 0.2 und 0.4 einer „schlechten“ (orange markiert), zwischen 0.4 und 0.6 einer „mässigen“ (gelb markiert), zwischen 0.6 und 0.8 einer „guten“ (grün) und ein Wert zwischen 0.8 und 1 einer „sehr guten“ (blau) Bewertung entspricht. Durch die kontinuierliche Bewertung zwischen 0 und 1 lassen sich auch noch Verbesserungen (oder Verschlechterungen) erkennen, die sich innerhalb einer dieser Klassen abspielen. Damit ist es beispielsweise möglich einen bestimmten Nährstoffgehalt eines Fliessgewässers gegen den Gewinn eines Betriebes abzuwägen.

Abbildung 3 zeigt beispielhaft eine solche Wertfunktion. Das hier gezeigte Ziel wird an Hand eines Attributes gemessen, das Werte zwischen 0 und 100 annehmen kann. Jedem Attributwert wird ein dimensionsloser Wert (wir verwenden im Folgenden das englische Wort „value“ aus der MAVT) zwischen 0 und 1 zugewiesen. Es ist eine steigende Wertfunktion gezeigt; je grösser der Attributwert, desto besser ist die Bewertung der Zielerreichung. Die Wertfunktion ist ausserdem linear, das heisst eine Verbesserung oder Verschlechterung des Attributs um den gleichen Wert wird im ganzen Attributbereich gleich bewertet.

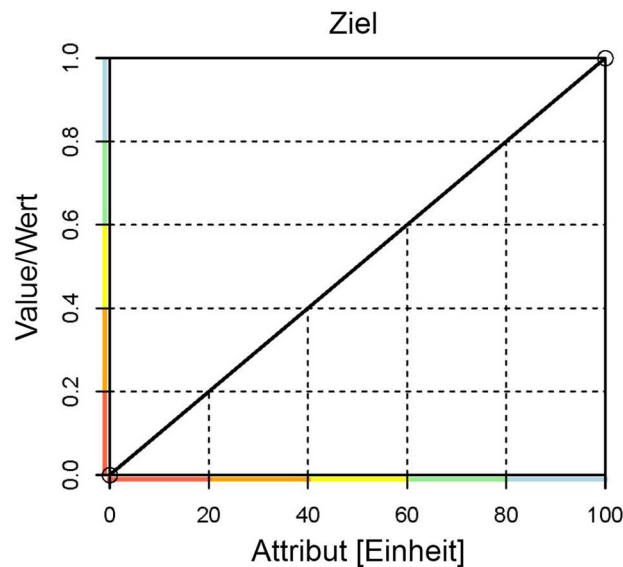


Abbildung 3: Beispielhafte (lineare, ansteigende) Wertfunktion für ein Ziel mit einem Attribut mit einem möglichen Attributbereich zwischen 0 und 100. Jedem Attributwert wird ein dimensionsloser Wert oder „value“ zwischen 0 und 1 zugewiesen

Für eine Aggregation der Unterziele bis hin zum Oberziel auf der obersten Ebene der Zielhierarchie können zudem Gewichte erhoben werden, die angeben, welche Ziele die Akteure als prioritär betrachten und welche als weniger wichtig. Die Erhebung der Wertfunktionen und Gewichte kann individuell für jeden Entscheidungsträger/jede Entscheidungsträgerin separat durchgeführt werden. So wird zudem transparent, in welchem Bereich Konflikte zwischen den Stakeholdern bestehen, was dazu dienen kann, Ansätze für eine Kompromisslösung zu finden.

Bei diesem MCDA-Schritt wird ausserdem entschieden, in welcher Art die Ziele aggregiert werden sollen. Die durch die Wertfunktionen erreichte Normierung der Attribute macht eine Aggregation erst möglich. Eine additive Aggregation ergibt sich beispielsweise aus der Mittelwertbildung der Werte zwischen 0 und 1 aller Ziele auf der nachfolgenden Ebene der Zielhierarchie. Der Mittelwert wird gewichtet nach den erhobenen Gewichten der Unterziele. Im einfachsten Fall sind alle Gewichte gleich. Andere Aggregationstypen verhindern eine Kompensation der Unterziele untereinander, also dass eine schlechte Zielerreichung durch eine gute Bewertung eines anderen Ziels ausgeglichen werden kann (Minimum- oder „worst-case“-Aggregation) oder stellen einen Kompromiss zwischen diesen beiden Extrema dar (Langhans, Reichert, & Schuwirth, 2014). Da für andere Annahmen meist die Anhaltspunkte fehlten, haben wir in den meisten Fällen eine additive Aggregation mit gleichen Gewichten angenommen. Dies bedeutet, dass ein Ziel durch ein anderes auf gleicher Ebene ausgeglichen werden kann. Wo andere Aggregationsformen sinnvoll waren, erläutern wir dies explizit.

Zu verschiedenen Zielen konnten beispielhaft Wertfunktionen mit der „Bisection-Methode“ (Eisenführ, Weber, & Langer, 2010) bei Experten für bestimmte Ziele erhoben werden. Die anderen Wertfunktionen wurden aus Gesetzesgrundlagen und anders dokumentierten Zielwerten abgeleitet, um die bisher dokumentierten gesellschaftlichen Präferenzen zu den Zielen abzubilden. Dazu wurde sich am Vorgehen der Übersetzung des Modul-Stufen-Konzepts (MSK) (BUWAL, Eawag, BWW, & AWEL, 1998) orientiert. Das MSK ist ein Beurteilungskonzept ursprünglich für Fließgewässer, inzwischen auch für Seen, und wurde in eine Zielhierarchie und Wertfunktionen umformuliert. Vorgeschriebenen Grenzwerten wurde der Wert 0.6 in der Wertfunktion zugewiesen, also die Grenze zwischen einem „mässig-

gen“ und einem „guten“ Zustand. Die Orientierung der Wertfunktion war schon durch die Zielformulierung definiert. Für das Ziel „geringe Kosten“ ist beispielsweise eine fallende Wertfunktion angenommen, da geringere Kosten eine bessere Bewertung, also höheren Wert, höhere Kosten eine schlechtere Bewertung, also niedrigeren Wert, erhalten. Die einfachste Form der Wertfunktion ist linear. Wenn es keine Anhaltspunkte für eine andere Wahl gab, haben wir diese gewählt, zwischen aus Grenzwerten abgeleiteten Stützwerten wurde ebenfalls linear interpoliert.

Die Wertfunktionen wurden dann mit dem Paket „utility“ (Reichert, Schuwirth, & Langhans, 2013) der Statistik-Software „R“ (R Development Core Team, 2011) erstellt. Die Wertfunktionen der Teilzielhierarchie zur Zustandsbewertung der Flussabschnitte, basierend auf dem MSK, konnten aus dem R-Paket „ecoval“ (Langhans, Lienert, Schuwirth, & Reichert, 2013; Langhans, Reichert, & Schuwirth, 2014) direkt übernommen werden.

Gewichte konnten aus zeitlichen Gründen nicht mehr erhoben werden. Deshalb wurden gleiche Gewichte angenommen. Im nächsten Schritt wurde jedoch deren Einfluss beispielhaft analysiert.

Schritt 7. Im siebten Schritt (*Abbildung 1*, Schritt 7) wurde schliesslich aus der oben beschriebenen Vorauswahl von Massnahmen in einem zweiten Projekt-Workshop am 03. Februar 2015 am BLW eine Auswahl an Massnahmen getroffen. Es wurde beschlossen, sich für eine beispielhafte quantitative Analyse auf die konservierende Bodenbearbeitung, speziell auf das Verfahren der Direktsaat zu konzentrieren. Es konnte eine Gegenüberstellung des Ist-Zustands und der alternativen Vergrösserung der Direktsaatfläche in der Schweiz erstellt werden. Diese basierte auf einer Literaturrecherche und vereinfachenden Annahmen. Die Zielhierarchie mit ihren Wertfunktionen diente als das Bewertungssystem.

In einer Sensitivitätsanalyse wurde der Effekt auf die Bewertung verschiedener Unterziele und auf die Gesamtbewertung der Massnahme durch eine Änderung der Gewichte und Aggregationstypen untersucht. Die unterschiedliche Sensitivität der Ergebnisse gegenüber diesen Parametern konnte so analysiert werden. Zudem ist auch die Vorhersage der Attributwerte der einzelnen Ziele ausgelöst durch die betrachtete Massnahme mit einer Unsicherheit behaftet. Diese ist grösser je schlechter die quantitative Datenlage ist. Je Attributwert wurde daher auch eine Unsicherheit angenommen. Diese konnte in einer Unsicherheitsanalyse durch die Zielhierarchie propagiert werden. So konnte ein Eindruck davon gewonnen werden, wie gross die Unsicherheit der Bewertung auf allen Ebenen der Zielhierarchie ist. Darauf aufbauend könnte untersucht werden, wie sich die Unsicherheit der Gesamtbewertung ändert, wenn man annimmt, es könne die Unsicherheit der Vorhersage eines Zieles durch weitere Forschung reduziert werden.

Die Analyse der konservierenden Bodenbearbeitung dient als Beispiel für Anwendungen der Methode auf andere Handlungsoptionen und über das Projektthema hinaus auf andere Themenbereiche der landwirtschaftlichen Produktion oder des Gewässerschutzes.

Im folgenden Kapitel werden die Resultate der hier beschriebenen methodischen Schritte präsentiert. Dabei zeigt Kapitel 3.2 die Zielhierarchie und die dazu gewählten Wertfunktionen, Kapitel 3.3 den aufgestellten Katalog an Handlungsoptionen. Diese beiden Kapitel sind eher technisch und als eine Art Nachschlagewerk zu betrachten. Für die Schlussfolgerungen aus dem Projekt AProWa kann man sich auf die anderen Unterkapitel der Resultate, sowie vor allem auf die Kapitel 4 und 5 konzentrieren.

3 Resultate

3.1 Strukturierung Entscheidungsproblem

Der Ausgangspunkt des Projekts AProWa liegt in der multifunktionalen Landwirtschaft im Sinne des Artikels 104 der Bundesverfassung. Der Verfassungsauftrag legt fest, dass die Schweizer Landwirtschaft zum einen die Aufgabe hat, einen wesentlichen Beitrag zur Versorgung der Schweizer Bevölkerung zu leisten, zum anderen die natürlichen Lebensgrundlagen, zu denen das Wasser und die Gewässer gehören, zu schützen.

Die Zielhierarchie fokussiert somit auf die heutige und zukünftige sichere Versorgung der Bevölkerung mit Lebensmitteln und des Erhalts des Wassers und der Gewässer als Teil der natürlichen Lebensgrundlagen. Sie deckt somit einen wichtigen Teilbereich des Verfassungsauftrages ab.



Abbildung 4: Schematische Darstellung des Artikels 104 der Schweizerischen Bundesverfassung in Form einer Zielhierarchie. Die hervorgehobenen Ziele sind Thema des Projektes AProWa.

In Abbildung 4 wurde das Themenfeld des Projekts in Form einer Zielhierarchie abgebildet. Basierend darauf hat das Projektteam die Systemgrenzen des Projekts festgelegt.

3.1.1 Systemgrenzen

Es sollten im Projekt nationale Ziele der Agrarproduktion und des Gewässerschutzes betrachtet werden. Die Produktionsseite umfasst sowohl den Pflanzenbau als auch die Tierhaltung. Bei den ökologischen Aspekten liegt der Fokus auf den aquatischen Ökosystemen Fließgewässer, Seen, stehende Kleingewässer und Grundwasser. Die Produktion im Ausland und damit auch die ökologischen Auswirkungen der Produktion im Ausland, der Transport der Produkte, sowie die Konsequenzen von Import und Export liegen ausserhalb der Systemgrenzen des Projekts. Die Weiterverarbeitung der Agrarprodukte konnte im Projekt nicht mit erfasst werden. Die Schutzziele der Landwirtschaft, die sich auf den Erhalt der anderen natürlichen Lebensgrundlagen wie der terrestrischen Ökosysteme oder der Luft (beispielsweise durch das Ziel niedriger Emissionen von Treibhausgasen) beziehen, wurden ausgeklammert. Effekte auf den Gewässerschutz, die durch andere Nutzungen als die der landwirtschaftlichen Produktion hervorgerufen werden, behandelt das Projekt nicht (siehe dazu zum Beispiel Lanz, Rahn, Siber, & Stamm, 2014). Ausserhalb der Systemgrenzen des Projekts liegt zudem das Ziel der hohen Qualität der Kulturlandschaft. Dieses Ziel ist ein Teilaspekt des Verfassungsauftrags der Landwirtschaft und ein wichtiger Einflussfaktor der landwirtschaftlichen Produktion in der Schweiz. Für eine besonders gewässerschonende Landwirtschaft spielt es aber eine untergeordnete Rolle. Die dezentrale Besiedlung des Landes als ein weiterer Verfassungsauftrag der Landwirtschaft, sowie die Sozialverträglichkeit oder das Nutztierwohl wurden nicht explizit berücksichtigt, da sie nur einen losen Zusammenhang zur gewässerschonenden Landwirtschaft haben.

3.1.2 Akteure

Bereits bei der Initiierung des Projekts wurden verschiedene Personen des BLW, der Eawag und von Agroscope und aus vielen verschiedenen Abteilungen und Fachbereichen integriert. Da es im Projekt vor allem um die Planung zukünftiger Zusammenarbeiten, die Identifikation von Forschungslücken und die Grundlage für politische Entscheide geht, wurde entschieden, nicht noch weitere Akteure ausserhalb der Forschung und des Bundesamtes mit einzubeziehen. Zur Diskussion über die Ziele der gewässerschonenden Landwirtschaft und für die qualitative Vorhersage wurden weitere Personen der Eawag und des BLW involviert. Insgesamt haben 13 Personen Einschätzungen über die Auswirkungen verschiedener Handlungsoptionen auf die Zielerreichung abgegeben. Das BAFU wurde über AProWa informiert, eine Person des BAFU hat sich auch an der qualitativen Vorhersage beteiligt.

3.2 Zielhierarchie – Ziele, Attribute und Wertfunktionen

Im Folgenden erläutern wir die Ergebnisse bezüglich der aufgestellten Ziele, der Struktur der Zielhierarchie und den dazugehörigen ausgewählten Attributen. Zu jedem Ziel gehört dann auch eine Wertfunktion, also eine Normierung der möglichen Attributwerte auf einen Wertebereich zwischen 0 und 1,

wobei 0 bedeutet, dass das Ziel nicht erreicht wird und ein Wert von 1 angibt, dass das jeweilige Ziel bestmöglich erreicht ist. In diesem Kapitel wird für jedes Ziel daher auch direkt die Wertfunktion präsentiert, also die Ergebnisse sowohl des Schritts 2 als auch des Schritts 6 der Vorgehensweise (Abbildung 1).

Aus den berücksichtigten Aspekten des Artikels 104 der Bundesverfassung (Abbildung 4) und den Projektzielen ergibt sich für AProWa als Oberziel die „Zukunftsfähige gewässerschonende Landwirtschaft“. Dieses Ziel wurde wie in Schritt 2 des methodischen Vorgehens beschrieben zunächst in Ziele unterteilt (Abbildung 5), die den betrachteten Teil des Verfassungsauftrags abdecken, und dann systematisch durch Unterziele genauer definiert, woraus sich die im Folgenden beschriebene Zielhierarchie ergab.

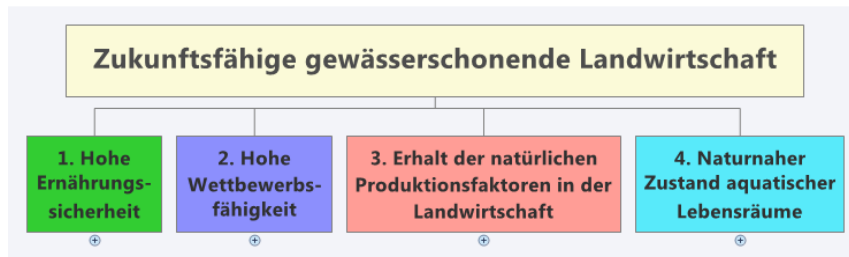


Abbildung 5: Oberziele der AProWa-Zielhierarchie.

3.2.1 Hohe Ernährungssicherheit

Der Begriff soll sowohl den Aspekt der ausreichenden Menge („food security“) an Lebensmitteln, als auch den Aspekt der sicheren Lebensmittel („food safety“) beinhalten. Um auf eine Bewertung der Ernährungssicherheit zu kommen, müssen die im Folgenden erläuterten Unterziele (Abbildung 6) aggregiert werden.

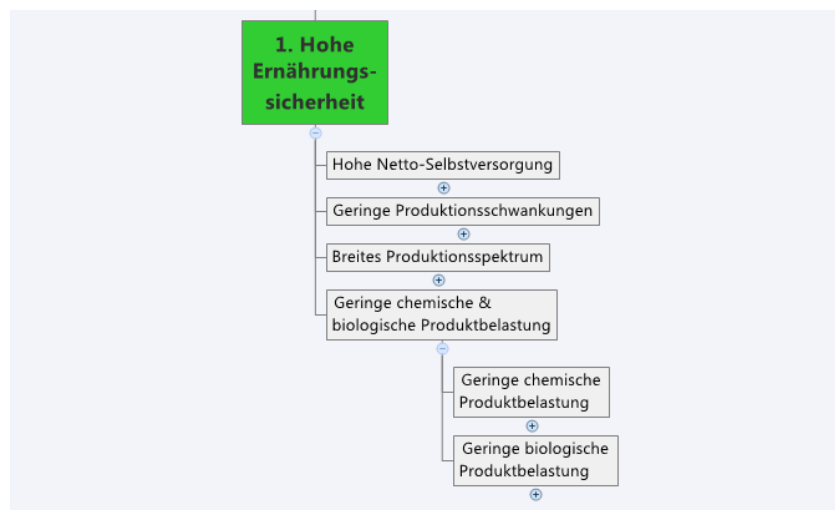


Abbildung 6: Oberziel 1 der AProWa-Zielhierarchie mit den dazugehörigen Unterzielen.

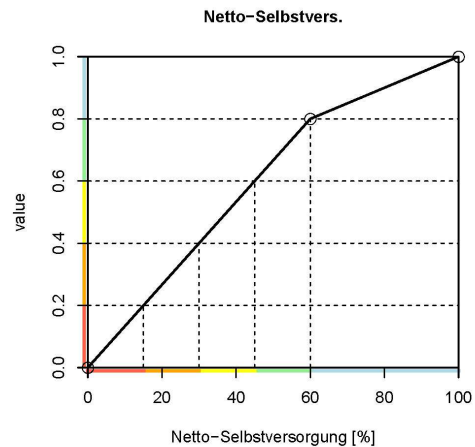
Hohe Netto-Selbstversorgung

Die Netto-Selbstversorgung ist ein Teilaspekt der Ernährungssicherheit. Sie wird in Prozent des nationalen Kalorienbedarfs berechnet. Die aus importierten Futtermitteln hergestellten tierischen Produkte sind nicht mit eingerechnet. Wichtig ist hier der Bezug zur Bevölkerungsentwicklung, die bei gleichbleibender Kalorienproduktion einen geringeren Selbstversorgungsgrad bewirkt.

Attribut: Netto-Selbstversorgungsgrad [%]

(in % national benötigter Kalorienzahl; ohne aus importierten Futtermitteln hergestellte tierische Produkte)

Wertfunktion: Der Wertebereich des Attributs liegt natürlicherweise zwischen 0 und 100%. Dem als typisch und sinnvoll angesehenen Wert von 60% (Bundesversammlung, 2005) wurde durch das Autorenteam der Wert 0.8 zugewiesen, also die Grenze zwischen einer „guten“ und einer „sehr guten“ Zielerreichung, dazwischen als einfachste Möglichkeit linear interpoliert (siehe nebenstehende Grafik).

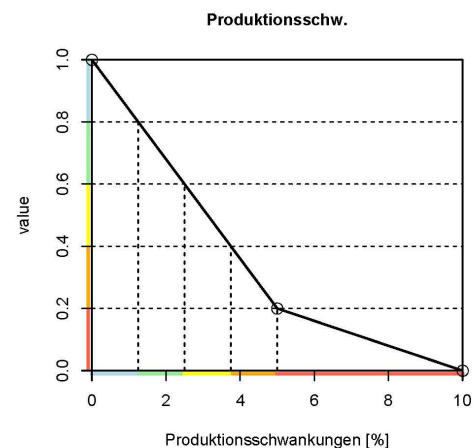


Geringe Produktionsschwankungen

Dieses Ziel ergänzt den hohen Selbstversorgungsgrad, da nicht nur die im Mittel hohe Selbstversorgung, sondern auch die über mehrere Jahre gleichbleibend stabile Produktion einen wichtigen Teilaspekt zur sicheren Versorgung darstellt.

Attribut: Zwischenjährliche Schwankungen des Selbstversorgungsgrads [%]
(Standardabweichung des Netto-Selbstversorgungsgrads der letzten Jahre)

Wertfunktion: Bei Schwankungen von 0% liegt der natürlich bestmögliche Wert. Ein Wert von 10% wurde hier als obere Grenze angenommen. Ab 5% Schwankungen wurden die möglichen Werte aus Sicht des Autorenteam aber als sehr schlecht bewertet, also dem Attributwert von 5% also der Wert 0.2 zugewiesen, dazwischen linear interpoliert (siehe nebenstehende Grafik).



Breites Produktionsspektrum

Ein breites Produktespektrum soll garantieren, dass es eine gewisse Auswahl an Schweizer Produkten gibt. Im Hinblick darauf eine gesunde Ernährung durch Schweizer Produkte zu ermöglichen, haben wir aber die verschiedenen landwirtschaftlichen Produkte mit Hilfe der Empfehlungen der Schweizer Lebensmittelpyramide gewichtet.

Attribut: „Produktions-Index“ [-]

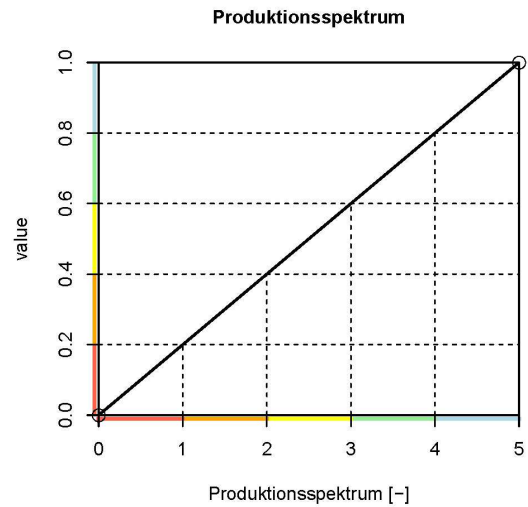
Die Variabilität der landwirtschaftlichen Produkte wurde analog zum Shannon-Index (Shannon, 1948), aus einem Produktions-Mix mit Gesamtmenge M (in Tonnen/Jahr) aus K unterschiedlichen Kulturen ermittelt als Produktions-Index P' :

$$P' = - \sum_{i=1}^K p_i * \ln p_i * w_i$$

mit $p_i = \frac{m_i}{M}$ und den Gewichten w_i . Die Mengen m_i gehören jeweils zu einer Kultur bzw. Produktkategorie i und wurden pro Kultur/Produktkategorie aus dem Ertrag in Tonnen gerechnet. Futterbaukulturen wurden nicht berücksichtigt. Diese sind schon in der Kategorie der Fleischprodukte erfasst. Die Gewichte wurden wie folgt an Hand der Schweizer Lebensmittelpyramide (Schweizerische

Gesellschaft für Ernährung (SGE), 2014) errechnet. Sie sind gleich für Kulturen, die der gleichen Lebensmittelgruppe angehören (siehe untenstehende Tabelle).

Lebensmittelgruppe	Empfohlene Portionen/Tag	Gewicht
Milchprodukte	3.5	0.27
Fleischprodukte & Eier	0.5	0.04
Getreide/Kartoffeln	3	0.23
Gemüse	3	0.23
Obst	2	0.15
Öl	0.5	0.04
Butter/Rahm	0.25	0.02
Alkohol/Zucker	0.25	0.02



Wertfunktion: Die Wertfunktion wurde linear angenommen. Der Wertebereich wurde von 0 bis 5 angenommen (siehe Grafik oben). Der Wert 0 würde bei nur einer Lebensmittelgruppe auftreten, 5 entspricht etwa dem Doppelten des Ist-Zustands.

Geringe chemische & biologische Produktbelastung

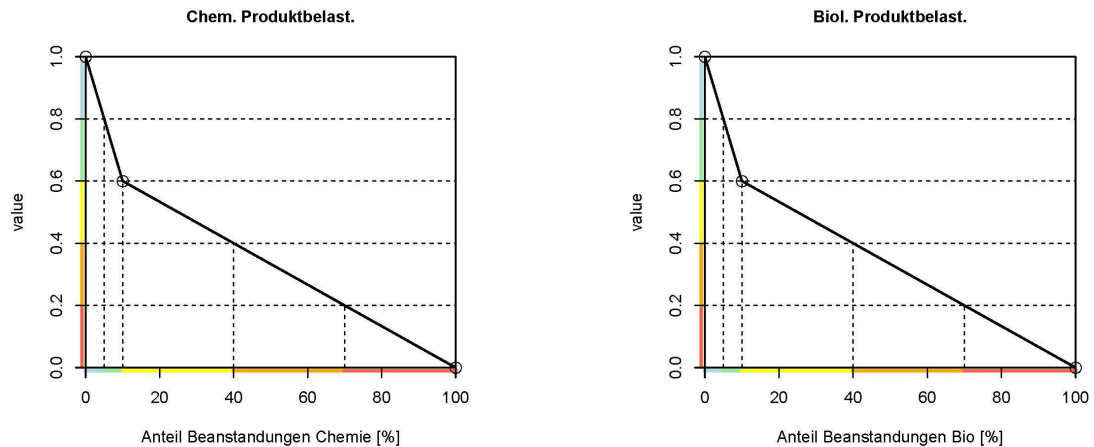
Sind Lebensmittel chemisch oder biologisch kontaminiert, besteht unter Umständen ein hohes Gesundheitsrisiko, so dass solche Lebensmittel nicht verzehrt werden dürfen. Eine möglichst geringe Produktbelastung soll garantieren, dass nur Lebensmittel in Verkehr gebracht werden dürfen, die sicher sind und somit einen effektiven Beitrag zur Ernährungssicherheit leisten können.

Für die Produktbelastung ist nur das rohe landwirtschaftliche Produkt berücksichtigt, die Weiterverarbeitung liegt ausserhalb der Systemgrenzen des Projekts. Die Produktbelastung umfasst sowohl die „Geringe chemische Produktbelastung“, als auch die „Geringe biologische Produktbelastung“ als Unterziele. Deren Aggregation ergibt die Bewertung der Gesamt-Produktbelastung. Wir haben eine Minimum-Aggregation (oder „worst-case“-Aggregation) gewählt, da eine schlechte chemische Bewertung eines Produktes nicht durch eine gute biologische Bewertung ausgeglichen werden kann. Das heisst, dass für die Bewertung der Gesamt-Produktbelastung jeweils der schlechtere Wert der beiden Unterziele übernommen wird.

Geringe chemische Produktbelastung

Attribut: Anteil untersuchter Proben zur chemischen Produktbelastung mit Beanstandungen, die in Zusammenhang mit Gesundheitsrisiken stehen [%] (von Produkten direkt von landwirtschaftlichen Betrieben)

Wertfunktion: Der natürliche Wertebereich liegt für das gewählte Attribut zwischen 0 und 100%. Welche Beanstandungsquote toleriert werden kann, ohne dass amtliche Behörden zusätzliche Massnahmen ausserhalb des üblichen Rahmens ergreifen müssen, hängt stark vom Typ des Produktes und von der Kontamination, sowie den Situationszusammenhängen ab und liegt im Ermessen der amtlichen Kontrollbehörden (Philipp Hübner, Kantonales Laboratorium Basel-Stadt, pers. Komm; Michel Geinoz, amtliche Futtermittelkontrolle Agroscope, pers. Komm). Wir haben deshalb einen tolerierbaren Wert bis 10% angenommen und diesem einen Wert von 0.6 zugewiesen (siehe unten).



Geringe biologische Produktbelastung

Die Auswahl des Attributs und der Wertfunktion (siehe oben) wurde analog zur chemischen Produktbelastung getroffen.

3.2.2 Hohe Wettbewerbsfähigkeit

Unter dem Oberziel der hohen Wettbewerbsfähigkeit (Abbildung 7) werden die ökonomischen Ziele sowohl der Betriebs- als auch der nationalen Ebene zusammengefasst. Es umfasst drei Unterziele, deren Aggregation die Bewertung der Wettbewerbsfähigkeit ermöglicht. Diese Unterziele werden im Folgenden detaillierter erläutert.



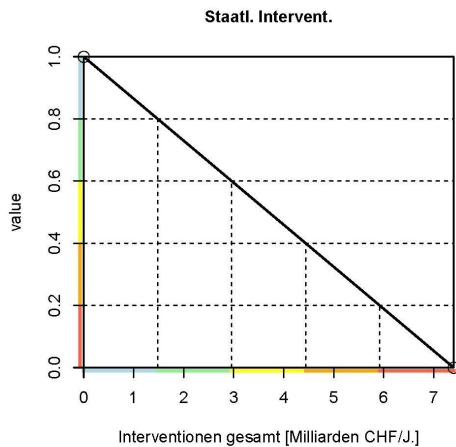
Abbildung 7: Oberziel 2 der AProWa-Zielhierarchie mit den dazugehörigen Unterzielen.

Geringe Kosten staatlicher Interventionen

Für dieses Ziel haben wir die Summe der (jährlichen) Direktzahlungen und der anderen Ausgaben für die Landwirtschaft verwendet.

Attribut: Summe Direktzahlungen und andere Ausgaben für Landwirtschaft, wie beispielsweise Beträge für bestimmte Anbaukulturen [Milliarden CHF/Jahr]

Wertfunktion: Als untere natürliche Grenze des Attributs ergeben sich 0 CHF/Jahr, für die obere Grenze wurde das doppelte des Ist-Zustands, also 7,4 Milliarden CHF/Jahr (BLW, 2014a), gewählt. Dazwischen wurde die Wertfunktion linear fallend gewählt (siehe rechts)



Hoher Arbeitsverdienst (Betriebe)

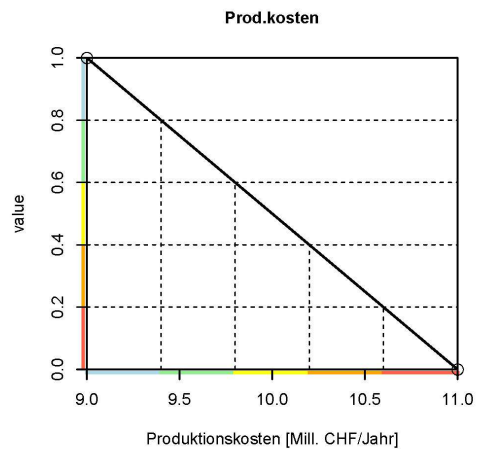
Dieses Ziel umfasst die Unterziele „Hoher Produkterlös“, „Geringe Produktionskosten“ und „Geringe Arbeitszeit“, die additiv aggregiert werden.

Geringe Produktionskosten (ohne Lohn für arbeitende Familienmitglieder)

Die Produktionskosten können als Summe von Investitionskosten, Lohnkosten, Maschinenkosten und weiteren Kosten gemessen werden. Es ist aber zu beachten, dass diese nicht den theoretischen Lohn des Betriebsleiters oder der Betriebsleiterin und der arbeitenden Familienmitglieder mit einschliesst.

Attribut: Produktionskosten [Milliarden CHF/Jahr]
(als die Summe über alle Betriebe)

Wertfunktion: Als bester Fall wurde 1 Milliarde weniger (etwa 9 Milliarden CHF) und als schlechtester möglicher Fall 1 Milliarde mehr (etwa 11 Milliarden CHF) als im Ist-Zustand gewählt, dazwischen eine linear fallende Wertfunktion (Simon Briner, BLW, pers. Komm.)



Hoher Produkterlös

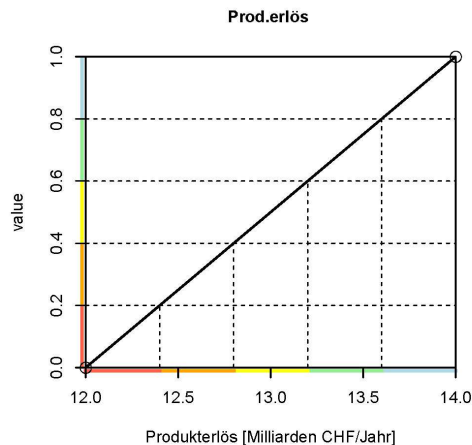
Den Produktionskosten steht das Ziel des „Hohen Produkterlöses“ gegenüber. Aus diesem ergibt sich auch der Lohn, den sich die Betriebsfamilie auszahlen kann. Familienmitglieder, die offiziell angestellt sind und einen festen Lohn beziehen, sind in den Lohnkosten (siehe oben) integriert.

Attribut: Produkterlös aller Betriebe [Milliarden CHF/Jahr]

Das Attribut gibt den gesamten Produkterlös in der Landwirtschaft pro Jahr an. Dieser ergibt sich aus der Summe der Erlöse aller verkauften Produkte und der erhaltenen Direktzahlungen)

Wertfunktion: Analog zu den Produktionskosten wurde 1 Milliarde mehr als heute (etwa 14 Milliarden CHF) als bestmöglicher Produkterlös und 1 Milliarde weniger (etwa 12 Milliarden CHF) als schlechtestmöglicher Wert und eine linear steigende Wertfunktion gewählt (Simon Briner, BLW, pers. Komm.)

Schlussbericht zum Projekt AProWa

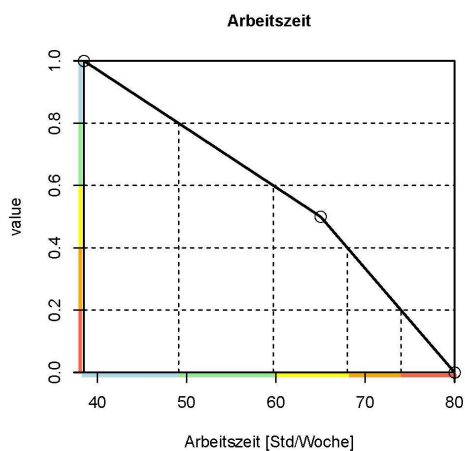


Geringe Arbeitszeit

Zusätzlich zu den Produktionskosten und dem Produkterlös ist auf Betriebsebene noch wichtig, dass die Arbeitszeit nicht zu gross ist, die Arbeit also möglichst zeiteffizient verrichtet werden kann.

Attribut: Arbeitszeit [Stunden/Woche/Person] (Arbeitszeit pro Bauer/Bäuerin)

Wertfunktion: Die untere Grenze des Attributbereichs wurde auf 38,5 Stunden/Woche/Person festgelegt. Das entspricht dem in der Schweiz üblichen Minimum (Grenzgänger-Arbeitnehmer-Arbeitgeber-Verband GAAV, 2015). Als obere Grenze wurden 80 Stunden gewählt. 65 Stunden wurden als 0,5-Bewertungspunkt erhoben, zwischen diesen Punkten linear interpoliert (Simon Briner, BLW, pers. Komm.)



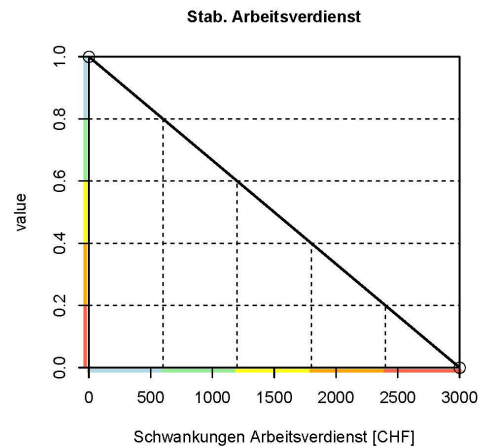
Stabiler Arbeitsverdienst (Betriebe)

Nebst des hohen Arbeitsverdienstes und der geringen Arbeitszeit ist das Ziel des über mehrere Jahre stabilen Arbeitsverdienstes ein weiterer wichtiger Aspekt der Wettbewerbsfähigkeit.

Attribut: Zwischenjährliche Schwankungen des Arbeitsverdienstes [CHF]

Diese werden errechnet als die Standardabweichung des Betriebseinkommens je Arbeitskraft der letzten Jahre. Das Betriebseinkommen wird am einfachsten je Familienarbeitskraft in Jahresarbeitseinheiten, ausschliesslich aus dem landwirtschaftlichen Einkommen ohne das ausserlandwirtschaftliche Einkommen errechnet (BLW, 2014a). Die Angaben findet man als Mittel über alle (aktuell, also 2013, 2655) Referenzbetriebe. Dabei wurde hier die Annahme getroffen, dass diese repräsentativ für alle (aktuell 55207) Betriebe in der Schweiz sind.

Wertfunktion: Der Attributbereich wurde zwischen 0 bis 3000 CHF als realistisch eingeschätzt, es wurde eine linear fallende Wertfunktion gewählt (Simon Briner, BLW, pers. Komm.).



3.2.3 Erhalt der natürlichen Produktionsfaktoren in der Landwirtschaft

Damit die natürlichen landwirtschaftlichen Produktionsfaktoren auch den kommenden Generationen zur Nutzung zur Verfügung stehen, müssen diese geschützt werden. Dieses Ziel umfasst die Grundlagen zur Sicherstellung der Leistungen der Landwirtschaft für zukünftige Generationen. Das Ziel wurde unterteilt in drei Unterziele (*Abbildung 8*), die wir im Folgenden genauer vorstellen.

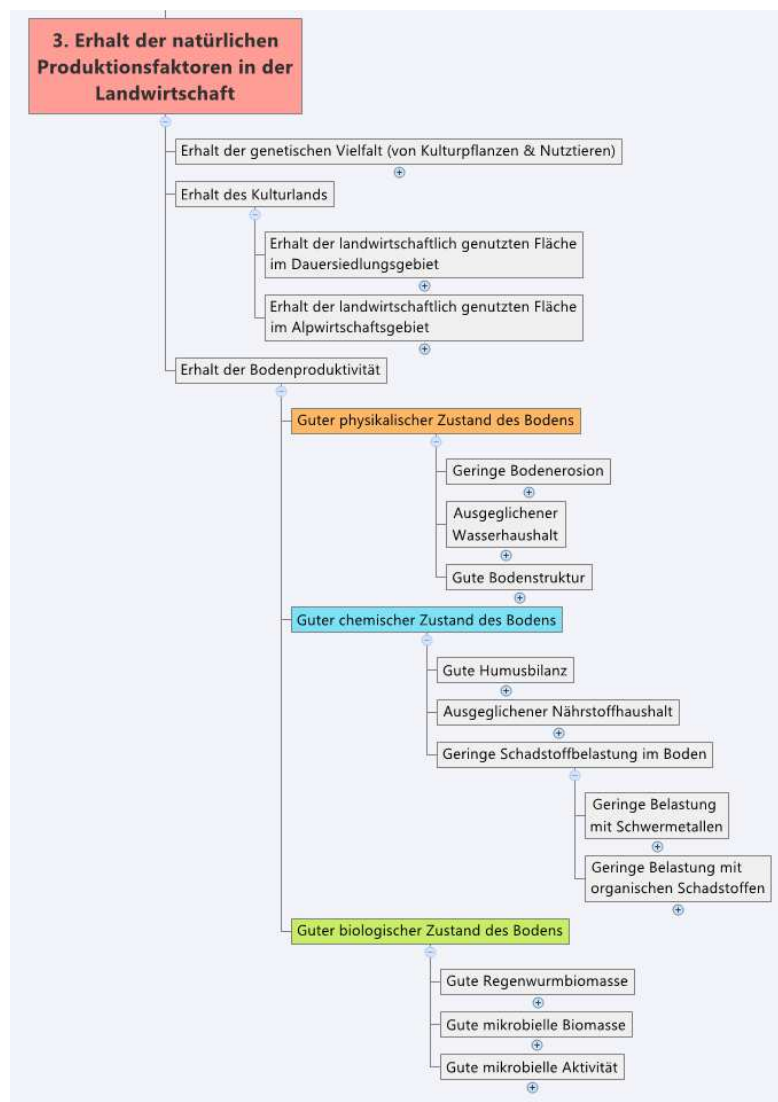


Abbildung 8: Oberziel 3 der AProWa-Zielhierarchie mit den dazugehörigen Unterzielen.

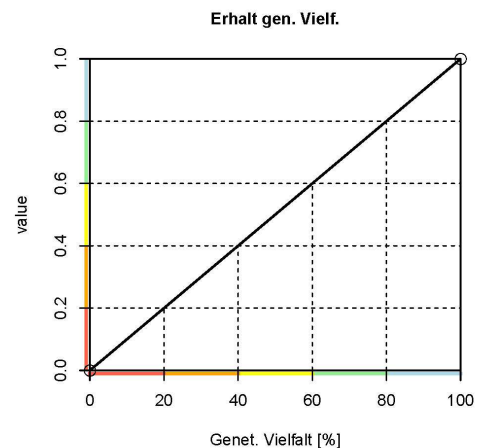
Erhalt der genetischen Vielfalt

Der Aspekt der genetischen Vielfalt von Kulturpflanzen und Nutztieren ist wichtig, um auch für zukünftige Generationen eine grosse Auswahl an Produkten („Vielfalt an Arten“), aber auch die genetische Grundlage für zukünftige Herausforderungen in der Pflanzen- und Tierzucht („Vielfalt an Sorten und Rassen“) zu schaffen.

Attribut: Anteil an aktuell zu erhalten klassifizierten Sorten und Nutzierrassen, der derzeit als geschützt angesehen werden kann [%]

Dieser Anteil kann aus dem Mittelwert über alle Anteile der verschiedenen Kulturgruppen der nationalen Datenbank zur Erhaltung und nachhaltigen Nutzung der pflanzengenetischen Ressourcen für Ernährung und Landwirtschaft (BLW & Schweiz. Kommission f.d. Erh. v. Kulturpfl. (SKEK), 2015; Christian Eigenmann, BLW, pers. Komm.) und jeder Tiergruppe (BLW, 1998; BLW, 2002) abgeschätzt werden. Die einzelnen Gruppen sind dabei implizit gleich gewichtet. Für eine andere Gewichtung gibt es kein Indiz, da heute noch nicht klar ist, welche der erhaltenswerten Sorten und Rassen einmal eine wichtige genetische Ressource sein wird.

Zusätzlich sind auch die aktuellen Sorten aus der Sortenliste als potentielle genetische Ressource anzusehen. Diese sind nicht in der Datenbank erfasst, da sie derzeit (noch) genutzt werden. Diese Sorten sind dadurch aber auch gerade aktuell erhalten und müssen nicht separat geschützt werden. Wenn eine Sorte aus dem Sortenkatalog herausfällt (wenn ein Züchter die 10jährige Bewilligung nicht weiter verlängert), muss diskutiert werden, ob diese Sorte schützenswert ist und in der nationalen Sortenbank aufgenommen werden soll. Die Kopplung dieser beiden Prozesse wurde am BLW diskutiert und beschlossen (Peter Latus und Christian Eigenmann, BLW, pers. Komm.).



Wertfunktion: Der Wertebereich liegt für dieses Attribut zwischen 0 und 100%, die Wertfunktion wurde linear steigend angenommen.

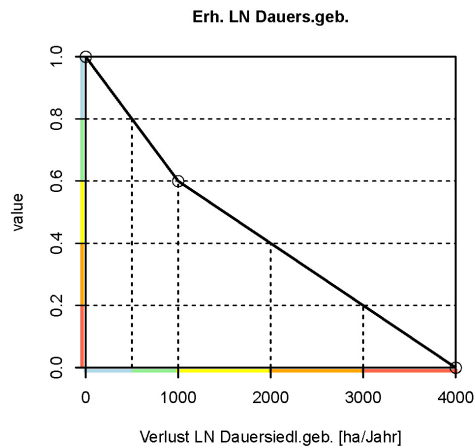
Erhalt des Kulturlands

Dieses Ziel beschreibt den quantitativen Erhalt des Kulturlands, also der landwirtschaftlichen Nutzfläche im eigentlichen Sinne und der Sömmerungsgebiete. Es ist ein wichtiges Ziel zur Sicherstellung der Versorgung für zukünftige Generationen. Es wurde in zwei Unterziele, die sich auf den Erhalt der landwirtschaftlichen Nutzfläche im Dauersiedlungsgebiet bzw. im Alpwirtschaftsgebiet beziehen. Für diese Teilflächen konnte jeweils eine quantitative Angabe über den Zielwert gefunden werden. Die Flächen im Dauersiedlungsgebiet enthalten auch die Fruchtfolgeflächen als hochproduktiven Anteil an der landwirtschaftlichen Nutzfläche. Um der Wichtigkeit der Fruchtfolgeflächen Rechnung zu tragen, kann beispielsweise bei der Aggregation dem Ziel des Erhalts der Flächen im Dauersiedlungsgebiet ein grösseres Gewicht gegeben werden als den Flächen im Alpwirtschaftsgebiet.

Erhalt der landwirtschaftlich genutzten Fläche im Dauersiedlungsgebiet

Attribut: Verlust der landwirtschaftlich genutzten Fläche im Dauersiedlungsgebiet [ha/Jahr]

Wertfunktion: Ausgehend von den Angaben in (BLW, 2011) und da sich über die letzten Jahrzehnte gemittelt ein Wert von 3000 ha/Jahr ergibt, wurde der Attributbereich zwischen 0 und 4000 ha/Jahr begrenzt. Dem Zielwert von 1000 ha/Jahr (BLW, 2011) wurde, analog zu einem einzuhaltenden Grenzwert, ein Wert von 0,6, also die Grenze zwischen einer guten und einer mässigen Bewertung zugewiesen und dazwischen linear interpoliert.

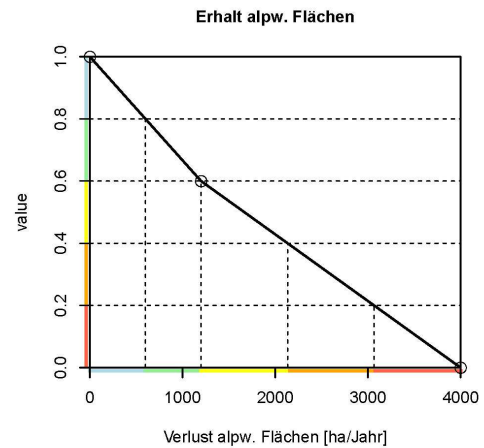


Erhalt der landwirtschaftlich genutzten Fläche im Alpwirtschaftsgebiet

Dieses Ziel, das dazugehörige Attribut und die Wertfunktion wurden analog zum Ziel über die Flächen im Dauersiedlungsgebiet hergeleitet.

Attribut: Verlust der landwirtschaftlich genutzten Fläche im Alpwirtschaftsgebiet [ha/Jahr]

Wertfunktion: Als Zielwert für das Alpwirtschaftsgebiet wird eine Reduktion des Waldwachstums um 20% angestrebt (BLW, 2011), was einem Flächenverlust von ca. 1200 ha/Jahr entspricht dem ein Wert von 0.6 zugewiesen wurde.



Erhalt der Bodenproduktivität

Analog zum oben genannten Unterziel, beschreibt dieses Ziel den qualitativen Erhalt der landwirtschaftlich genutzten Flächen.

Für die Unterziele der Bodenproduktivität haben wir uns an der SALCA-SQ-Methode der Agroscope orientiert (Oberholzer, Weisskopf, Gaillard, Weiss, & Freiermuth Knuchel, 2006). Da darin auch erwähnt wird, dass die verschiedenen Aspekte der Bodenproduktivität sich nicht untereinander kompensieren können, haben wir auf allen Ebenen in diesem Teil der Zielhierarchie eine Minimum-Aggregation durchgeführt. Im Folgenden erläutern wir die Unterziele die zunächst in den physikalischen, chemischen und biologischen Zustand des Bodens eingeteilt wurde.

Guter physikalischer Zustand des Bodens

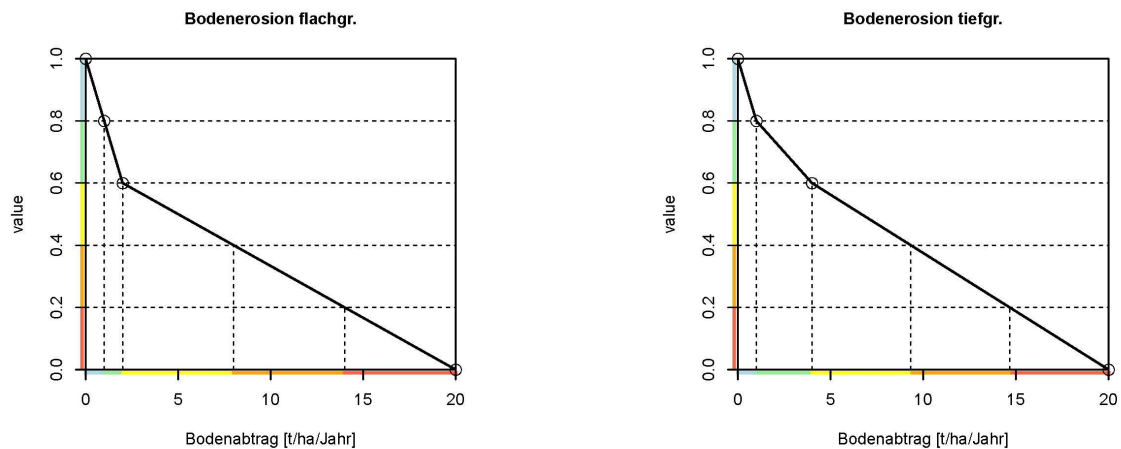
Unter dem physikalischen Zustand des Bodens haben wir die „Geringe Bodenerosion“, den „Ausgeglichene Wasserhaushalt“ und die „Gute Bodenstruktur“ erfasst.

Geringe Bodenerosion

Attribut: Abtrag durch Erosion insgesamt [t/ha/Jahr]

Wertfunktion: Die Wertfunktion wurde für flachgründige und tiefgründige Böden unterschieden, der Wertebereich an Hand von mittleren Werten aus gemessenen jährlichen und Langzeit-Höchstwerten

(Volker Prasuhn, Agroscope, pers. Komm.) von 0 bis 20 t/ha/Jahr für beide gewählt. Die Grenze zwischen einer guten und einer sehr guten Bewertung (Wert 0.8) wurde für beide Wertfunktionen auf 1 t/ha/Jahr festgelegt, für flachgründige Böden wird laut Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo, SR 814.12, 1998) 2 t/ha/Jahr, für tiefgründige Böden 4 t/ha/Jahr toleriert (Richtwert = Bewertung 0.6).



Ausgeglichener Wasserhaushalt

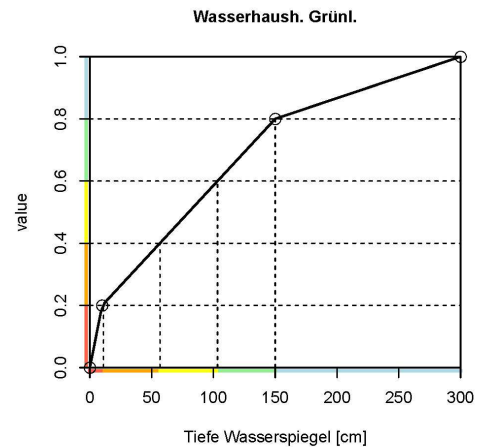
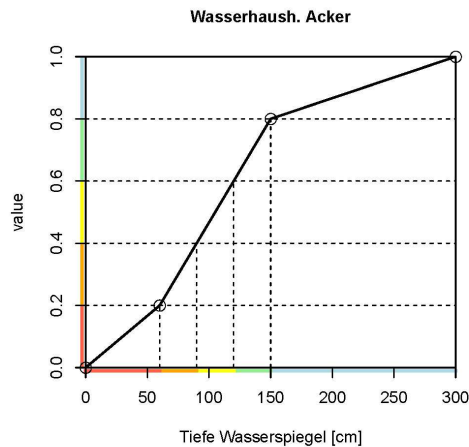
Das Unterziel des ausgeglichenen Wasserhaushalts im Sinne des Erhalts der Bodenproduktivität wird vor allem durch Massnahmen wie Drainagen beeinflusst. Drainagen verhindern langfristig Staunässe und die Vernässung durch Grundwassereinfluss auf landwirtschaftlichen Böden. Sie haben auch längerfristig Einfluss auf die Bodenproduktivität, da sie anoxische Bedingungen und damit die Verlagerung von Eisen und Mangan in für die Pflanzen unerreichbare Bodenschichten verhindern (Béguin & Smola, 2010). Diesen Aspekt wollen wir auch im gewählten Attribut und der Wertfunktion abbilden. Der Mangel an Wasser kann durch Bodeneigenschaften nur (sehr) begrenzt beeinflusst werden. Für eine genügende Wasserversorgung bei Ausbleiben von Niederschlag ist deshalb Bewässerung von zentraler Bedeutung. Diese wird aber nicht durch die Bodenqualität sondern die Verfügbarkeit von entsprechenden Wasserressourcen beeinflusst¹.

Attribut: Tiefe des Wasserspiegels [cm]

Wertfunktion: Hier wurde die Wertfunktion getrennt für Ackerland und für Grünland aufgestellt, da Vernässung für die verschiedenen Kulturtypen ein sehr unterschiedlich grosses Risiko darstellt. Der Attributbereich wurde auf 0 bis 300 cm festgelegt, für die Bewertung von 0.2 für Ackerland ein Attributwert von 60 cm und für Grünland von 10 cm. Für eine 0.8-Bewertung wurde für beide auf 150 cm gesetzt (Christian Stamm, Eawag, pers. Komm.).

¹ Dieser Aspekt wurde erst bei der Durchsicht des Schlussberichts wahrgenommen und müsste eigentlich mit einem weiteren Unterziel beim Erhalt der natürlichen Produktionsfaktoren in der Landwirtschaft abgebildet werden. Dies war aus zeitlichen Gründen nicht mehr möglich.

Schlussbericht zum Projekt AProWa



Gute Bodenstruktur

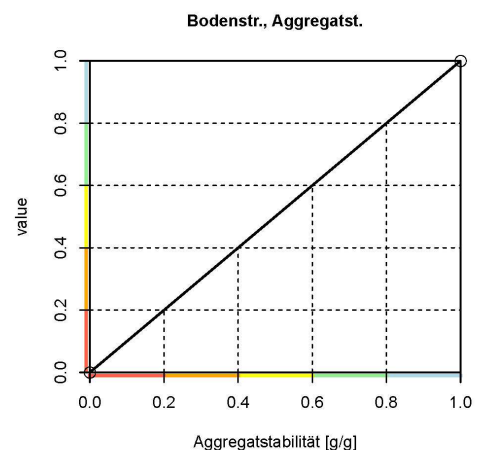
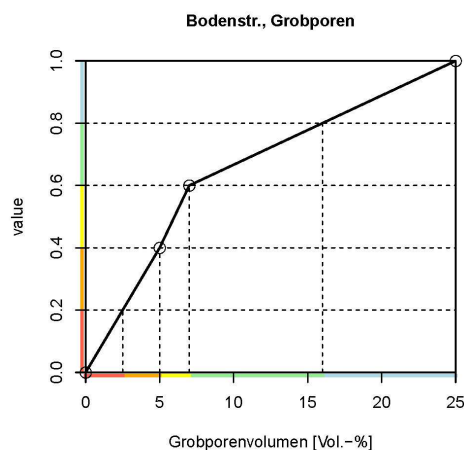
Für einige der folgenden Ziele haben wir die Indikatoren aus SALCA-SQ übernommen (Oberholzer, Weisskopf, Gaillard, Weiss, & Freiermuth Knuchel, 2006). So auch für das Ziel der guten Bodenstruktur.

Attribut: Grobporenvolumen [Vol. %] und Aggregatstabilität [g/g]

Grobporenvolumen und Aggregatstabilität, zwei Aspekte der Bodenstruktur, können in aggregierter Form ein Attribut für dieses Ziel darstellen.

Wertfunktion Grobporenvolumen: Mögliche Werte liegen zwischen 0 und 25 Vol.-%, der Richtwert (für Landwirtschaftsböden 7 Vol.-%) erhält die Bewertung 0.6, der Massnahmenwert (für Landwirtschaftsböden 5 Vol.-%) die Bewertung 0.4 (Presler, Carizzoni, & Widmer, 2013).

Wertfunktion Aggregatstabilität: Potentielle Werte liegen zwischen 0 und 1 g/g, in Ermangelung anderer Angaben wurde linear interpoliert



Guter chemischer Zustand des Bodens

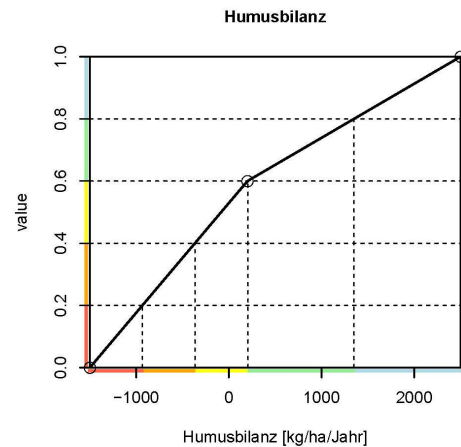
Unter diesem Ziel werden Nährstoff- und Schadstoffaspekte des Bodens zusammengefasst.

Gute Humusbilanz

Attribut: Humusbilanz [kg Humus/ha/Jahr]

In der SALCA-SQ-Methode wird für dieses Ziel der organische Kohlenstoff-Gehalt verwendet, der das gleiche aussagt. In den Agrarumweltindikatoren (AUI) findet man die Humusbilanz (BLW, 2014b).

Wertfunktion: Es werden Werte zwischen -1500 und 2500 kg Humus/ha/Jahr berichtet, für 200 kg wurde eine Bewertung 0.6 gegeben (BLW, 2014a).

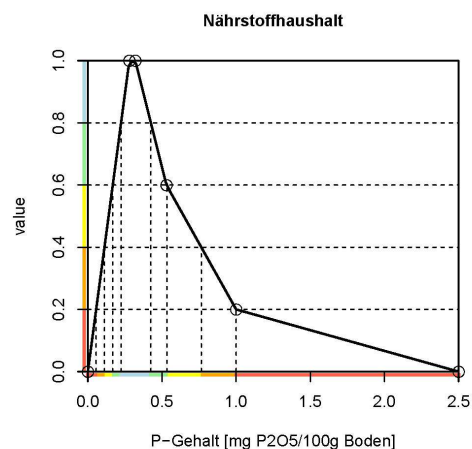


Ausgeglichener Nährstoffhaushalt

Massnahmen wie die Düngung beeinflussen den Nährstoffhaushalt des Bodens. Da P als Ressource begrenzt ist, haben wir uns hier auf diesen Nährstoff beschränkt. Analog könnten auch die anderen wichtigen Nährstoffe als Unterziele des Nährstoffhaushalts aufgenommen werden. Dass zusätzlich Phosphor-Dünger eine endliche und wichtige landwirtschaftliche Ressource ist, die es zu schützen gilt, könnte als ein weiteres Ziel des Erhalts von Produktionsfaktoren aufgenommen werden.

Attribut: Verfügbarer P-Gehalt [mg P₂O₅/100g Boden] (Beispielsweise abgeleitet von P-Test-Daten, eine Alternative zu diesem Attribut wäre auch die Düngerbilanz für P)

Wertfunktion: Die Klasseneinteilung für die Bewertung wurde analog zu den Dünger-Grundlagen für die P-Düngung vorgenommen, wobei versucht wurde einen Kompromiss über verschiedene Bodeneigenschaften, die die Bewertung beeinflussen, zu finden (Agroscope, 2009). Zwischen den Klassengrenzen wurde die Wertfunktion linear interpoliert.



Geringe Schadstoffbelastung im Boden

Für die Bestimmung der Schadstoffbelastung des Bodens werden zum einen Schwermetalle und zum anderen organische Schadstoffe betrachtet.

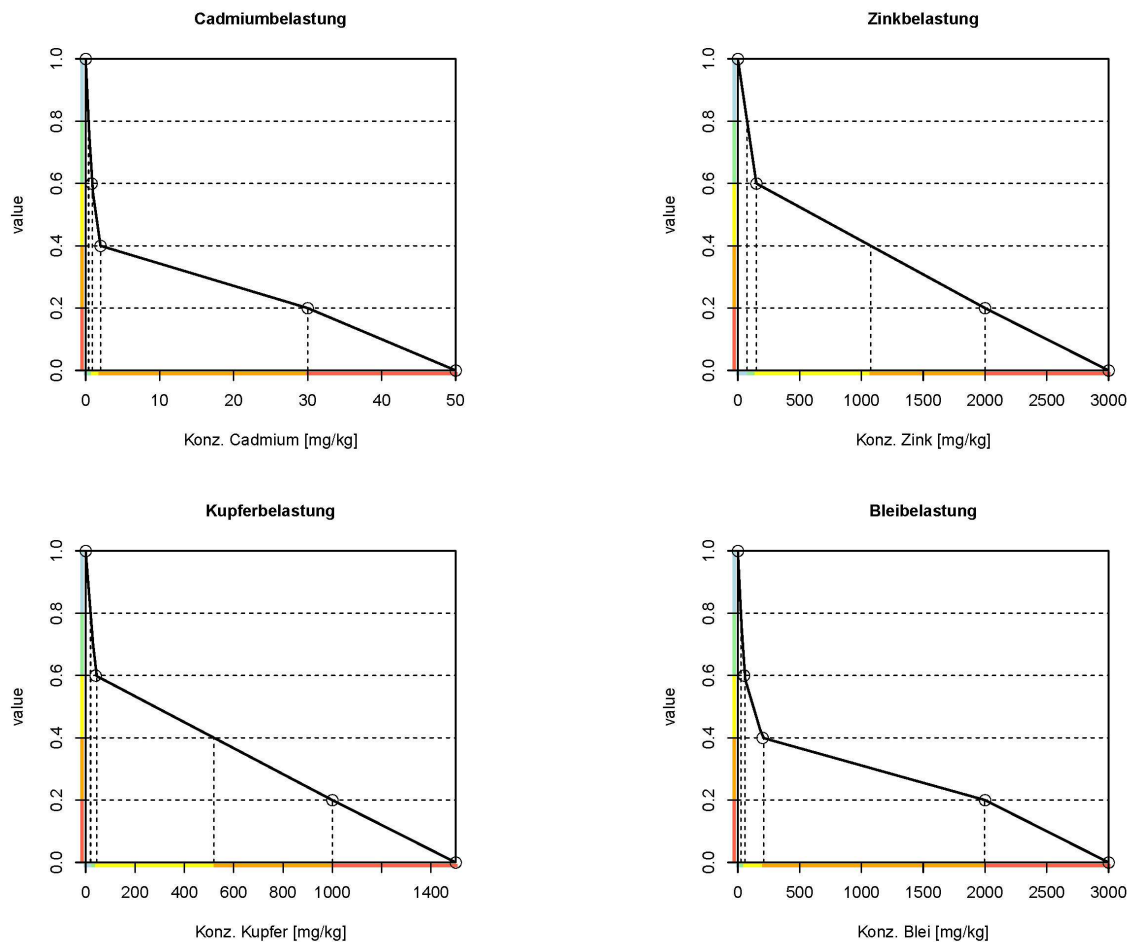
Geringe Belastung mit Schwermetallen

Welche Schwermetalle hier betrachtet werden sollten, konnte aus (Freiermuth, 2006) abgeleitet werden. Daraus ergab sich, die vier Unterziele für „Geringe Belastung mit Cadmium“, „...mit Kupfer“, „...mit Zink“ und „...mit Blei“ aufzunehmen.

Attribut: Konzentration des jeweiligen Schwermetalls [mg/kg Boden]

Wertfunktion: Wo vorhanden wurde für die einzelnen Schwermetalle dem Richtwert als „Grenzwert“ aus der Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBö) (SR 814.12, 1998) eine Bewertung von

0.6, dem Prüfwert der Wert 0.4 und dem Sanierungswert eine Bewertung von 0.2 zugewiesen. Zwischen diesen Werten wurde jeweils linear interpoliert.



Geringe Belastung mit organischen Schadstoffen

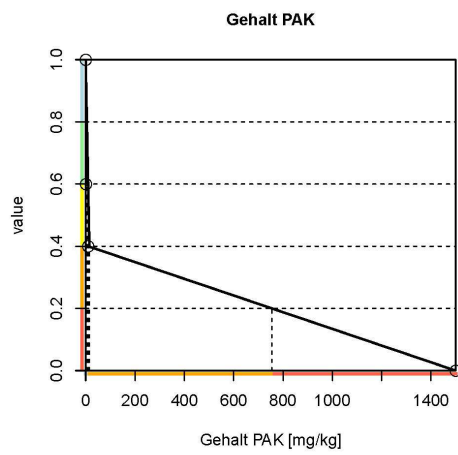
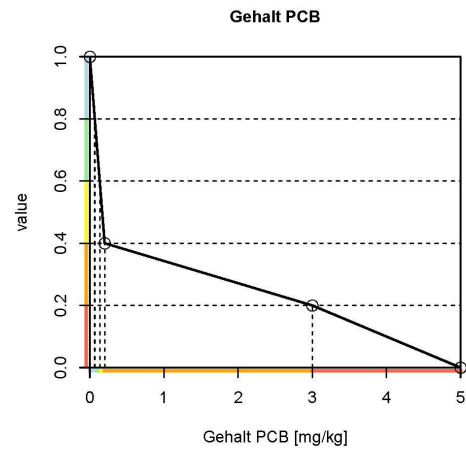
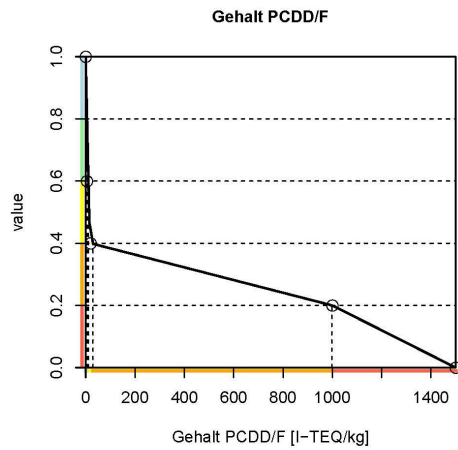
Wiederum aus der VBBo wurde übernommen, dass für die organischen Schadstoffe polychlorierte Dibenzo-p-dioxine und Dibenzofurane (PCDD/F), die polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) und polychlorierte Biphenyle (PCB) berücksichtigt werden sollten.

Attribut: Konzentration des jeweiligen Schadstoffs [ng I-TEQ/kg TS] bzw. [mg/kg TS]

Die polychlorierten Dibenzo-p-dioxine und Dibenzofurane werden in internationalen Toxizitätsäquivalenten (I-TEQ) gemessen, die anderen Schadstoffe in mg pro kg Trockensubstanz (TS) Boden.

Wertfunktion: Analog zu den Schwermetallen, wurden die Wertfunktionen für die organischen Schadstoffe wo vorhanden aus den Richt-, Prüf- und Sanierungswerten der VBBo abgeleitet (siehe unten).

Schlussbericht zum Projekt AProWa



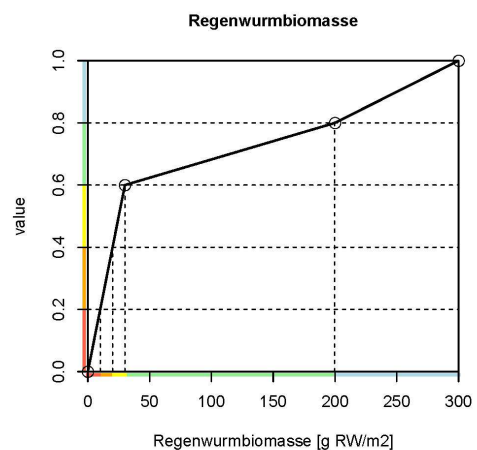
Guter biologischer Zustand des Bodens

Angelehnt an SALCA-SQ wurde der biologische Zustand durch „Regenwurmbiomasse“, die „mikrobielle Biomasse“ und die „mikrobielle Aktivität“ beschrieben.

Gute Regenwurmbiomasse

Attribut: Regenwurmbiomasse [g RW/m²]

Wertfunktion: Mögliche Werte wurden aus Angaben über verschiedene europäische Böden zwischen 0 und 300 g Regenwürmer pro Quadratmeter festgelegt (Scheffer & Schachtschabel, 1992). Ein mittlerer Wert für Böden Mittel- und Nordeuropas von 30g/m² wurde eine 0.6-Bewertung gegeben, dem als hoch angegebenen Wert 200g/m² die Bewertung 0.8 (Scheffer & Schachtschabel, 1992), dazwischen linear interpoliert.

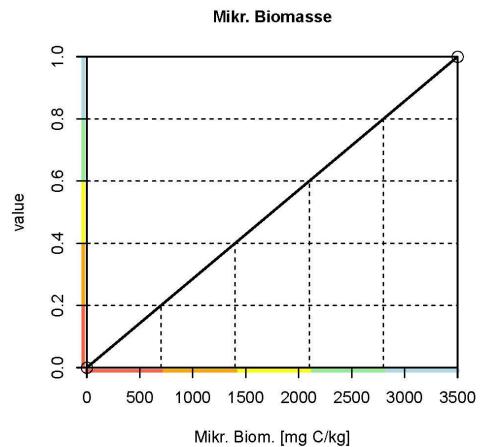


Gute mikrobielle Biomasse

Attribut: Mikrobielle Biomasse (BM) [mg Biomasse-C/kg Boden-TS]

Die mikrobielle Biomasse kann als Biomasse-Kohlenstoff pro Trockensubstanz Boden gemessen werden.

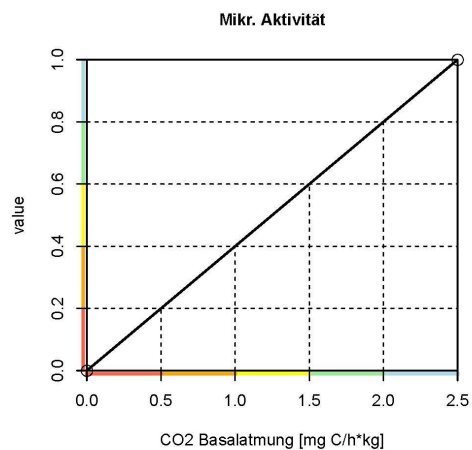
Wertfunktion: Aus Daten für Böden mit unterschiedlichen Nutzungen konnte ein Bereich von 0 bis 3500 mg BM-C/kg Boden-TS festgelegt werden (Oberholzer & Scheid, 2007). Es wurde eine linear steigende Wertfunktion angenommen, für andere Annahmen fehlte die Datenlage.



Gute mikrobielle Aktivität

Attribut: CO₂ aus Basalatmung [mg CO₂-C/h*kg Boden-TS]

Wertfunktion: Attributbereich und Wertfunktion wurden für die mikrobielle Aktivität analog zur mikrobiellen Biomasse hergeleitet.



3.2.4 Naturnaher Zustand aquatischer Lebensräume

Der Schutz der aquatischen Lebensräume ist zum einen im Verfassungsauftrag der Landwirtschaft (Art. 104), sowie in Art. 74 über den Umweltschutz der Verfassung (SR 101b, 1999) und im Gewässerschutzgesetz (GSchG, SR 814.20, 1991) verankert. Das BLW und das BAFU haben zudem mit den „Umweltzielen Landwirtschaft“ (BAFU & BLW, 2008) ebenfalls Ziele für den Gewässerschutz erarbeitet.

Für die Unterziele des „Naturnahen Zustands aquatischer Lebensräume“ (*Abbildung 9*) stützten wir uns stark auf die Übersetzung des Modul-Stufen-Konzepts (MSK) für Fließgewässer (BUWAL, Eawag, BWW, & AWEL, 1998; siehe *Abbildung 9*, Ziel „Naturnaher ökologischer Zustand der Flussabschnitte“) und das Seenkonzept (Schlosser, Haertel-Borer, Liechti, & Reichert, 2013; siehe *Abbildung 9*, Ziel „Naturnaher ökologischer Zustand der Seen“).

Das Modul-Stufen-Konzept zur Beurteilung des Gewässerzustands der Oberflächengewässer in der Schweiz wird in Zusammenarbeit von BAFU, Eawag und Kantonen erarbeitet. Es wurde zunächst für Fließgewässer entwickelt und mit dem Seenkonzept auch auf Seen erweitert. Für Fließgewässer wurde das bereits vorhandene Konzept in eine sehr detaillierte Zielhierarchie im Sinne der Entscheidungsanalyse übersetzt und grösstenteils bereits Wertfunktionen aufgestellt (Langhans & Reichert, 2011; Langhans, Lienert, Schuwirth, & Reichert, 2013). Das Konzept wurde auch bereits in eine räumliche Priorisierung für die Revitalisierungsplanung eingebettet (Peter Reichert, Eawag, pers. Komm.; siehe *Abbildung 8*, Unterziele des Ziels „Naturnaher ökologischer Zustand des Flussnetzwerks“).

Das Seenkonzept wurde von Beginn an in Form einer Zielhierarchie erarbeitet, es fehlen grösstenteils aber noch Attribute zur Messung der Ziele und Wertfunktionen für die Bewertung. Wir versuchten so weit wie möglich den hohen Detaillierungsgrad zu nutzen, wie er durch das MSK gegeben ist. Stehen-

de Kleingewässer behandelt das Seenkonzept nicht, daher fehlt für diese noch ein Vorschlag für eine Unterzielhierarchie. Für das Grundwasser gibt es durch die Teilsynthese 3 des Nationalen Forschungsprojekts (NFP) 61 einen Vorschlag für eine Zielhierarchie, es fehlen aber Attribute und vor allem Wertfunktionen.

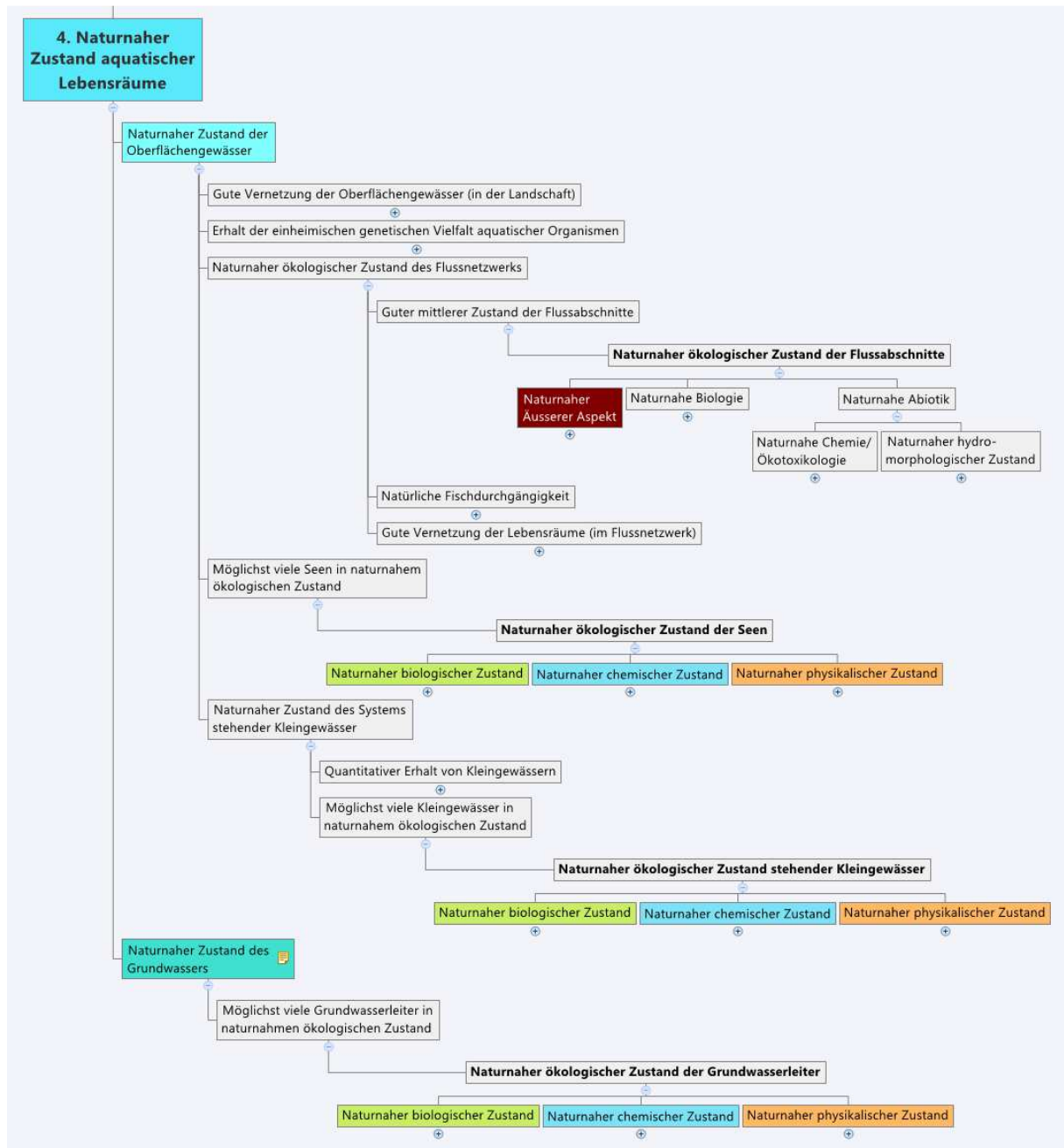


Abbildung 9: Oberziel 4 der AProWa-Zielhierarchie mit den dazugehörigen Unterzielen. Die Farbgebung ist an das Modul-Stufen-Konzept angelehnt, die Unterziele des „Naturnahen ökologischen Zustands der Flussabschnitte“ und des „Naturnahen ökologischen Zustands der Seen“ sind daraus entnommen. Die Unterziele des „Naturnahen ökologischen Zustands der Grundwasserleiter“ wurden teilweise aus der Teilsynthese 3 des NFP 61 entnommen und noch ergänzt. Ausser für die Kleingewässer gibt es für alle dick geschriebenen Ziele noch weitere Unterziele, die hier in der Abbildung nicht alle aufgeführt werden konnten.

Abbildung 9 zeigt die Unterziele im Bereich „Naturnaher Zustand aquatischer Lebensräume“ im Überblick. Der naturnahe Zustand aquatischer Lebensräume ist zunächst durch die verschiedenen Gewässertypen unterteilt in Oberflächengewässer und Grundwasser. Die Oberflächengewässer sind wiederum in die Ziele der Fließgewässer, der Seen und der stehenden Kleingewässer gegliedert. Diese

Ziele werden für die Fließgewässer und Seen laut MSK, inklusive Seenkonzept, noch in spezifischere Unterziele unterteilt.

Naturnaher Zustand der Oberflächengewässer

Dieses Ziel wird als erstes in die Unterziele „Gute Vernetzung der Oberflächengewässer (in der Landschaft)“, „Erhalt der einheimischen genetischen Vielfalt aquatischer Organismen“, „Naturnaher ökologischer Zustand des Flussnetzwerks“, „Naturnaher Zustand der Seen“ und „Naturnaher Zustand des Systems stehender Kleingewässer“ eingeteilt. Die ersten beiden Unterziele sind bisher noch nicht (oder nur marginal, z.B. durch Prozent Neozoen oder das standorttypische Artenspektrum) im MSK enthalten, daher haben wir diese noch zusätzlich aufgenommen. Mit der Vernetzung in der Landschaft wollen wir die Vernetzung über Land abdecken, die für aquatische Organismen von grosser Bedeutung ist, die auch ein terrestrisches Lebensstadium haben, wie Fluginsekten mit einem aquatischen Larvenstadium oder Amphibien. Für solche Tiere kann beispielsweise eine Hecke eine Vernetzung von Oberflächengewässern darstellen. Die Vernetzung innerhalb der Fließgewässer ist als eines der drei Unterziele des naturnahen ökologischen Zustands des Flussnetzwerkes aufgeführt.

Der Begriff der einheimischen genetischen Vielfalt umfasst die genetische Diversität innerhalb der Arten. Die Vielfalt an unterschiedlichen Arten ist grösstenteils bereits über das MSK abgedeckt. Dieses Ziel müsste noch genauer definiert werden, bisher haben wir nur den Aspekt des Schutzes vor Neobiota aufgenommen.

Naturnaher ökologischer Zustand des Flussnetzwerks

Der „Naturnahe ökologische Zustand des Flussnetzwerks“ setzt sich aus dem „Naturnahen ökologischen Zustand der Flussabschnitte“ (mittlere Bewertung der einzelnen Abschnitte nach MSK) und Zielen für die Vernetzung der Abschnitte im Gewässer zusammen. Eine räumliche Aggregation bis auf nationale Ebene, um auf eine Gesamtbewertung des Flussnetzwerks der Schweiz zu kommen, wurde bisher nicht erarbeitet. Es wurden die Teilziele „Naturnaher ökologischer Zustand der Flussabschnitte“, „Natürliche Fischdurchgängigkeit“ und „Gute Vernetzung der Lebensräume (im Flussnetzwerk)“ in die AProWa-Zielhierarchie aufgenommen und angepasst. Für das erste und dritte Unterziel geht die Bewertung der Flussabschnitte im Sinne der MSK-Zielhierarchie als Attribut ein. Beispielsweise wird für das Attribut der „Guten Vernetzung der Lebensräume im Flussnetzwerk“ der mittlere ökologische Zustand aller Fließgewässer-Abschnitte gewichtet mit den entsprechenden Abschnittslängen und Flussordnungszahlen. Die räumliche Aggregation ist weiterhin Forschungsthema an der Eawag (Peter Reichert, Eawag, pers. Komm.).

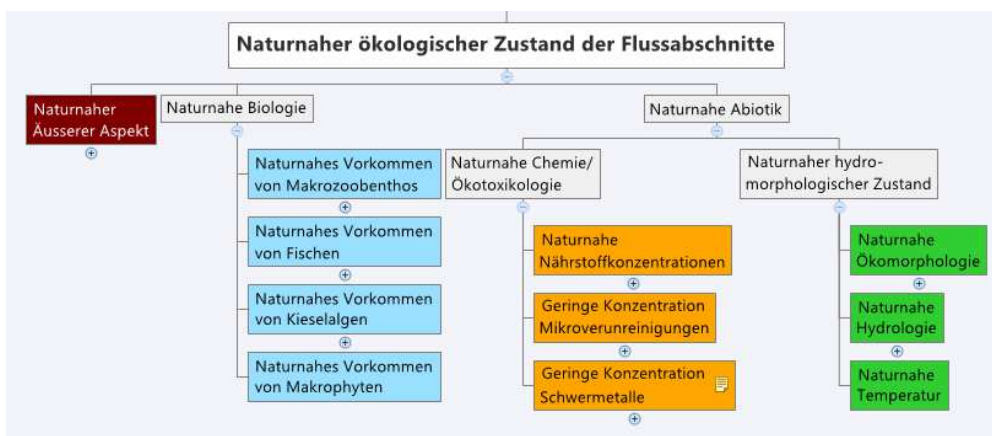


Abbildung 10: Unterziele für den Zustand der einzelnen Flussabschnitte, leicht abgeändert nach neueren Vorschlägen zum Modul-Stufen-Konzept, die Farbgebung ist an das MSK angelehnt.

Naturnaher ökologischer Zustand der Flussabschnitte

Der Zustand der Fließgewässerabschnitte ist im MSK unterteilt in den äusseren Aspekt, die Biologie, die Chemie und Ökomorphologie. Die Einteilung bis zur nächsten Hierarchieebene ist in *Abbildung 10*

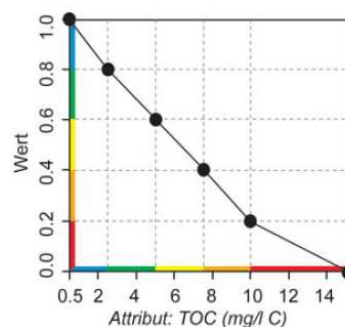
dargestellt. Für die weiteren Berechnungen verwenden wir eine Unterteilung in biologischen, chemischen und physikalischen Zustand, wobei dann die Ökomorphologie, Hydrologie und Temperatur zusammen mit dem äusseren Aspekt den physikalischen Zustand definieren. Die „Naturnahe Chemie/Ökotoxikologie“ teilt sich in „Naturnahe Nährstoffkonzentrationen“ (die Unterziele dazu wurden schon aus dem MSK in eine Zielhierarchie übersetzt), „Geringe Konzentration Mikroverunreinigungen“, eingeteilt in „Geringe Konzentration Pestizide“ und „Geringe Konzentration Mikroverunreinigungen (aus Punktquellen)“ auf. Die Pestizide sind nach Wirkmechanismen eingeteilt in vier Pestizidgruppen, Photosynthese-inhibierend, Acetylcholinesterase-hemmend (= Organophosphate), Fettsäure-Synthese-hemmend (=Chloroacethanilide) und Auxin-Aktivität-beeinflussend. Das Modul zu den Mikroverunreinigungen wird unabhängig von AProWa noch in Zusammenarbeit mit dem Ökotoxzentrum bearbeitet. Das letzte Unterziel der „naturnahen Chemie“ ist das Ziel „Geringe Konzentration Schwermetalle“, wiederum unterteilt in die wichtigsten Schwermetalle.

Das Modul der „Naturnahen Biologie“ ist schon detailliert definiert durch Module zu Makrozoobenthos, Fische und Diatomeen. Das Modul zu den Makrophyten ist bisher noch in Arbeit (Christian Michel, Eawag/BAFU, pers. Komm.).

Die Ökomorphologie, also Struktur der Fliessgewässer, und ihre Hydrologie definieren den hydromorphologischen Zustand, zur Temperatur wurde bisher kein Modul, aber ein Expertenbericht (Dübendorfer, et al., 2011), erarbeitet.

Die Unterziele auf den unteren Ebenen der hier aufgeführten Ziele, sowie die bisher erarbeiteten Attribute und Wertfunktionen sind detailliert beschrieben in (Langhans & Reichert, 2011; Langhans, Lienert, Schuwirth, & Reichert, 2013).

Die nebenstehende Grafik zeigt ein Beispiel für eine der vielen bereits vorhandenen Wertfunktionen des Modul-Stufen-Konzepts für Fliessgewässer. Sie beschreibt die Bewertung des Ziels „Naturnaher totaler Gehalt an organischem Kohlenstoff (TOC)“, ein Unterziel des Ziels „Naturnahe Nährstoffkonzentrationen“ (entnommen aus Langhans & Reichert, 2011).



Naturnaher ökologischer Zustand der Seen

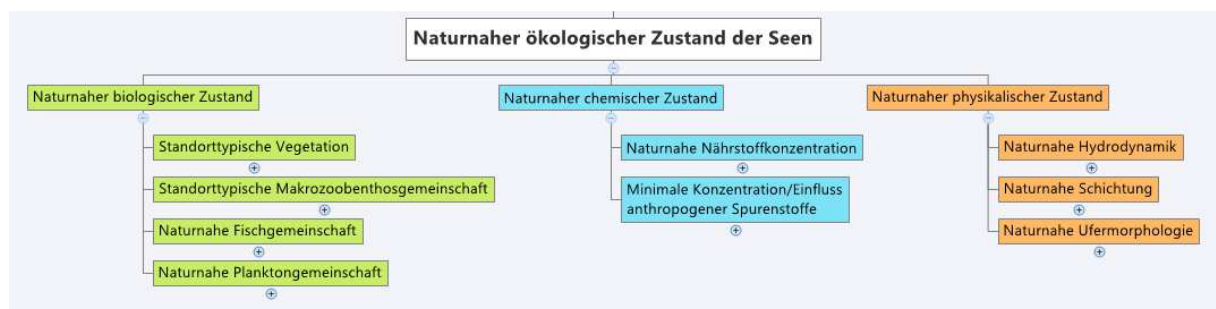


Abbildung 11: Unterziele für den Zustand der einzelnen Seen nach Seenkonzept bis zur zweiten Unterzielebene.

Das Unterziel des „Naturnahen Zustands der Seen“ ergibt sich aus dem Seenkonzept (Schlosser, Haertel-Borer, Liechti, & Reichert, 2013). Die Unterziele bis zur zweiten Unterzielebene sind in *Abbildung 11* zusammengefasst. Der Zustand der Seen ist definiert durch den biologischen, chemischen und physikalischen Zustand, die jeweils noch durch detailliertere Unterziele beschrieben sind. Generell fehlen im Seenkonzept, ausser für die Ufermorphologie (Peter Reichert, Eawag, pers. Komm.), noch grösstenteils Attribute und vor allem Wertfunktionen. Diese sind derzeit in Arbeit. Das Seenkonzept berücksichtigt explizit keine stehenden Kleingewässer, für die teilweise andere Ziele formuliert werden müssten (s.unten).

Naturnaher ökologischer Zustand stehender Kleingewässer

Die Kleingewässer nehmen wir hier als einen (vor allem für Amphibien und Invertebraten) wichtigen und bisher weniger beachteten Lebensraum mit auf. Das Ziel „Naturnaher Zustand des Systems stehender Kleingewässer“ soll eingeteilt werden in den „Quantitativen Erhalt von Kleingewässern“ und den „Naturnahen Zustand der Kleingewässer“. Letzteres Unterziel könnte man analog zum Seenkonzzept in einen naturnahen biologischen, chemischen und physikalischen Zustand unterteilen. Eine detaillierte Zielhierarchie wurde bisher nicht erarbeitet. Für die Biologie könnte man sich auf die Biodiversitätsindizes PLOCH bzw. IBEM stützen (Oertli, Auderset Joye, Castella, Juge, Lehmann, & Lachavanne, 2005; Indermuehle, Angélibert, & Oertli, 2007; Menetrey, Oertli, & Lachavanne, 2011).

Naturnaher Zustand des Grundwassers



Abbildung 12: Unterziele für den Zustand der Grundwasserleiter.

Hier sollen die Unterziele des Schutzes des Grundwassers an sich aufgelistet werden, die aber auch den Aspekt der Trinkwasserversorgung als Ökosystemleistung für den Menschen beinhalten. Ein erster Vorschlag dafür ist in *Abbildung 12* dargestellt. Die Problematik der Pathogene ist hier aufgeführt, damit auch alle Aspekte der Trinkwasserversorgung abgedeckt sind. Wir haben eine Teilzielhierarchie für das Grundwasser analog zum Seenkonzzept mit den Zielen „Naturnaher biologischer Zustand“, „Naturnaher chemischer Zustand“ und „Naturnaher physikalischer Zustand“ aufgestellt. Der biologische Zustand ist unterteilt in die Unterziele „Geringe Belastung durch Pathogene“ und „Naturnahe Grundwasser-Biozönose“. Der chemische Zustand teilt sich ein in „Naturnahe N-Konzentration“ und „Möglichst geringe Konzentration anthropogener Spurenstoffe“. Das Attribut zum Ziel „Naturnahe N-Konzentration“ sollte wenn möglich eine Wertfunktion erhalten, die sowohl Grundwasserschutzziele als auch Trinkwasserstandards abdeckt, also eine gute bis sehr gute Bewertung anzeigt, wenn beide Grenzwerte erreicht sind. Der physikalische Zustand wird unterteilt in „Natürlicher Grundwasserspiegel“ und „Naturnahe Temperatur“. Diese Grundwasser-Teilzielhierarchie deckt sich weitestgehend mit der Teilzielhierarchie, die in der Teilsynthese 3 des Nationalen Forschungsprojekts (NFP) 61 (Hoffmann, Hunkeler, & Maurer, 2014) erstellt wurde. Diese stützt sich wiederum auf die Zielhierarchie die für das NFP61-Projekt SWIP (Scholten, Egger, Zheng, & Lienert, 2014) über Siedlungswasserwirtschaft aufgestellt wurde. Beim Vergleich der AProWa-Zielhierarchie mit der Zielhierarchie der NFP61-Teilsynthese 3 ist zu beachten, dass der Blickwinkel dort auf der Siedlungswasserwirtschaft, auf Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung liegt. Aus diesem Grund sind (fast) alle Ziele in der Zielhierarchie von diesem Standpunkt her benannt. Der Aspekt des „ausgeglichene Grundwasserhaushaltes“ (bei uns „Natürlicher Grundwasserspiegel“) ist im Sinne der Teilsynthese-Zielhierarchie beispielsweise nur ein Aspekt der Trinkwasserversorgung. In unserem Kontext umfasst er zudem den Grundwasserschutzaspekt, der auf der Gesetzesgrundlage des Gewässerschutzes basiert und darin einen Grundwasserspiegel vorsieht, der eine standortgerechte Vegetation ermöglicht (SR 814.20, 1991; SR 814.201, 1998). Im Gegensatz dazu berücksichtigen wir für AProWa nur die Aspekte des Trinkwassers, die durch die Landwirtschaft beeinflusst werden können. Diese umfassen eigentlich nur die Qualität des Rohwassers (also vor allem Grundwasser und ins Grundwasser infiltrierendes Flusswasser und vielleicht zu einem kleinen Anteil auch Seewasser). Alle anderen Beeinflussungen der Trinkwasserqualität durch den Transport in Leitungen und andere Auswirkungen der Infrastruktur liegen ausserhalb der AProWa-Systemgrenzen. Der biologische Zustand des Grundwassers umfasst für die Zielhierarchie aus der Teilsynthese wiederum nur die Geringe Belastung mit Pathogenen. Jenseits

des Aspekts der Trinkwasserversorgung, braucht es hingegen auch ein Ziel für die natürliche Lebensgemeinschaft des Grundwassers, über die noch nicht sehr viel bekannt ist (Baumgartner, 2015).

3.2.5 Zusammenfassung Zielhierarchie

Die Ziele für die Gewässer, insbesondere die Ziele der Flussabschnitte, sind bereits sehr detailliert ausgearbeitet. Zahlreiche dieser Ziele konnten in die AProWa-Zielhierarchie übernommen werden. Für viele andere Ziele gab es hingegen zu Beginn des Projektes keine präzise Definition. Für viele Ziele konnte durch das Autorenteam in anderen Arbeiten kein überzeugender Vorschlag für die Zielmessung gefunden werden. Nur bei wenigen wurde ein mögliches Attribut mit Angaben zum wünschenswerten Attributwert, also eine numerische Anforderung für das Ziel, gefunden. Schliesslich war für keines der landwirtschaftlichen Ziele bisher eine (kontinuierliche) Wertfunktion vorhanden. Diese unterschiedlichen Detaillierungsgrade bisher vorhandener Zieldefinitionen, Attribute und Wertfunktionen macht *Tabelle 3* noch einmal deutlich.

Tabelle 3: Anzahl Ziele und Attribute je Hauptziel der Zielhierarchie, sowie die Anzahl der Ziele und Attribute zu denen bisher keine Angaben, nur eine Zieldefinition, ein Attribut, eine numerische Anforderung oder bereits eine Wertfunktion vorhanden war (in der eine eventuelle numerische Anforderung eingeflossen ist).

Hauptziele	# unterste Ziele & Attribute	nichts vorhanden	Zieldefinitionen	Attribute	numerische Anforderung	Wertfunktionen
Hohe Ernährungssicherheit	5	4	1	1	0	0
Hohe Wettbewerbsfähigkeit	5	5	0	0	0	0
Erhalt der natürlichen Produktionsfaktoren in der Landwirtschaft	18	3	15	15	10	0
Naturnaher ökologischer Zustand des Flussnetzwerks	57	2	55	46	≤ 46	46
Naturnaher ökologischer Zustand der Seen & stehenden Kleingewässer	38	3	35	27	≤ 10	10
Naturnaher ökologischer Zustand des Grundwassers	7	0	7	4	0	0
Summe	130	17	113	93	10 - 66	56

Die hier aufgeführten Attribute und Wertfunktionen sind ein Vorschlag für ein entsprechendes Bewertungssystem einer gewässerschonenden Landwirtschaft. Die erarbeitete Zielhierarchie hat, vor allem durch den hohen Detaillierungsgrad des integrierten Modul-Stufen-Konzepts, viele Ebenen, insgesamt 10. Zählt man die Ziele auf den untersten Ebenen der Zielhierarchie, also solche, die auch ein Attribut bekommen, kommt man auf 130 Attribute, unter der Annahme, dass es für alle diese Ziele schon einen Vorschlag für ein Attribut gäbe. *Abbildung 13* zeigt diesen Sachverhalt, in dem die Anzahl von Zielen auf jeder Ebene der Zielhierarchie angegeben ist. Die verschiedenen Äste der Zielhierarchie haben unterschiedliche Tiefen. Summiert man die Anzahl Ziele auf der je Ast jeweils letzten Zielhierarchieebene auf, so kommt man auf die Anzahl der benötigten Attribute und Wertfunktionen (130, s. auch *Tabelle 3*, 1. Spalte). Die Anzahl Aggregationen ergibt sich durch die Anzahl Ziele, die durch Unterziele auf der nachfolgenden Ebene ihres Astes, also die Aggregation ihrer Unterziele genauer definiert werden.

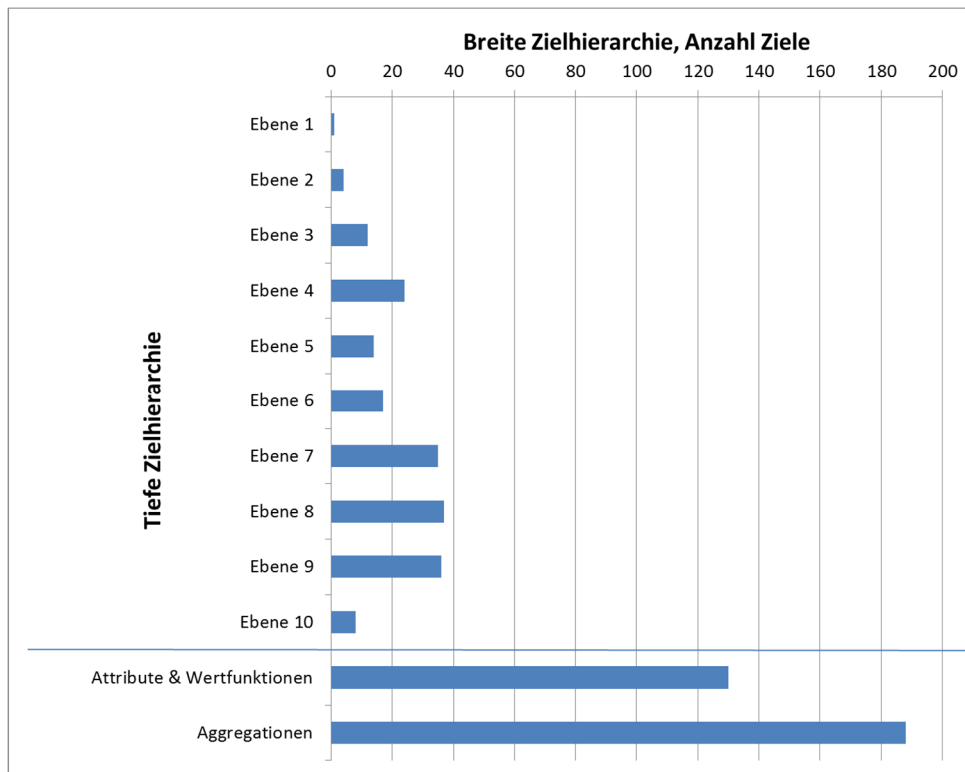


Abbildung 13: Anzahl Ziele pro Ebene der Zielhierarchie inklusive der Anzahl Attribute für die Ziele auf der jeweils untersten Ebene

Die *Abbildung 14* zeigt die AProWa-Zielhierarchie bis auf Ebene 7 wie sie mit Hilfe des R-Paketes „utility“ und der MSK-Implementation für Fließgewässer aus dem Paket „ecoval“ in R implementiert wurde. Diese Darstellung wird auch in den Kapiteln zur quantitativen Analyse verwendet. Sie fasst noch einmal die ganze Zielhierarchie in einem größeren Detaillierungsgrad zusammen.

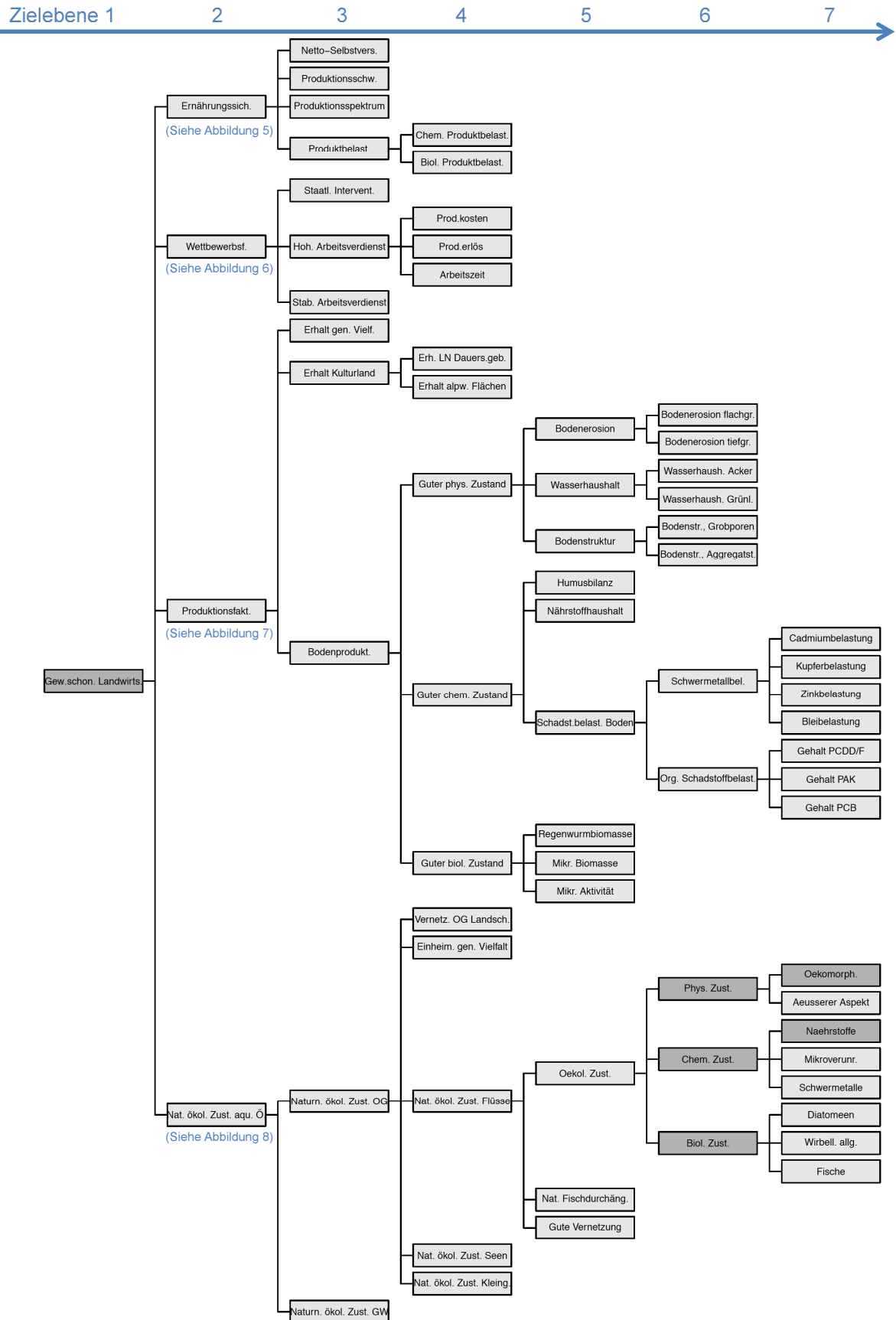


Abbildung 14: Implementation der AProWa-Zielhierarchie im Statistik-Tool R bis auf Zielebene 7. Die vier Ziele auf der zweiten (Ziel)Ebene „Hohe Ernährungssicherheit“, „Hohe Wettbewerbsfähigkeit“, „Erhalt der Produktionsfaktoren in der Landwirtschaft“ und „Naturnaher ökologischer Zustand der aquatischen Lebensräume“ sind in Abbildung 6, Abbildung 7, Abbildung 8 und Abbildung 9 genauer dargestellt.

3.3 Handlungsoptionen

Im diesem Kapitel zeigen wir die erarbeitete Liste an Handlungsoptionen. Sie sollte möglichst umfassend landwirtschaftliche Aktivitäten und Massnahmen des Gewässerschutzes enthalten. Diese wurden im Kontext einer gewässerschonenden Agrarproduktion berücksichtigt und ihre Effekte auf die Ziele der Zielhierarchie in einer qualitativen Analyse abgeschätzt. Sie wurden in verschiedene Themenbereiche unterteilt, welche im Folgenden aufgelistet sind. Je nach Datenlage und Informationen von Experten und Expertinnen wurden sie unterschiedlich detailliert beschrieben, spezifischere Unteroptionen, die zu den einzelnen Themenbereichen gehören, sind in der vollständigen Liste an Handlungsoptionen im Anhang 6.1 aufgeführt.

Die meisten der Handlungsoptionen sind landwirtschaftliche Aktivitäten, die auf den Betrieben durchgeführt werden. Einige der gewässerschützerischen Massnahmen werden auf kantonaler oder Gemeindeebene beschlossen und durchgeführt, diese sind in einer eigenen Gruppe aufgeführt. Nationale Handlungsoptionen der Agrarpolitik, wie bestimmte Förderinstrumente, wurden nicht analysiert. Der direkte Effekt auf die Ziele der Zielhierarchie kommt auf Betriebsebene zustande. Solche Optionen, die für das Gesamtsystem vorteilhaft erscheinen, können dann durch staatliche Massnahmen unterstützt werden.

Handlungsoptionen auf kantonaler Ebene/Gemeindeebene:

- 1) Revitalisierung (BAFU, 2012)
- 2) Ausscheidung des Gewässerraumes gemäss revidierter Gewässerschutzverordnung (SR 814.201, 1998)
- 3) Wiedervernässung Feuchtstandorte
- 4) Vergrösserung landwirtschaftlicher Nutzfläche
- 5) Landwirtschaftliche Aufwertung degradierter Flächen, Urbarmachung
- 6) Raumplanerische Sicherung der Fruchtfolgeflächen
- 7) Intensivierung der Landwirtschaft im Alpenraum (mehr Tiere pro Fläche)
- 8) Umwandlung von Ackerland in Grünland
- 9) Förderung Klärung von Drainagenwasser/Strassenmeteorwasser (Bühler & Daniel, 2012)

Handlungsoptionen auf Betriebsebene:

- 10) Wahl der Anbaukultur
- 11) Ökologische Ausgleichsflächen (Agroscope, 2015) (neu nach AP14-17: Biodiversitätsförderflächen (BFF); Direktzahlungsverordnung (DZV), SR 910.13, 2013)
- 12) Wahl der Nutztierart
- 13) Düngung/Nährstoffmanagement (BAFU & BLW, 2012)
- 14) Pflanzenschutz (BAFU & BLW, 2013b; Bühler & Daniel, 2013)
- 15) Einsatz von Veterinärpharmaka
- 16) Bodenbearbeitung/-bewirtschaftung (BAFU & BLW, 2013a; Bühler & Daniel, 2013; Geiger, Crole-Rees, & Daniel, 2011; Powlson, et al., 2011)
- 17) Erosionsschutz/Verminderung des Effekts von Erosion (BAFU & BLW, 2013a; Gisler, Liniger, & Prasuhn, 2010)
- 18) Einsatz von Biokohle zur Bodenverbesserung (Powlson, et al., 2011)
- 19) Thema Bewässerung (Fuhrer, 2012; Matile, Sauer, Fischer, & Berger, 2013; Mathys, 2010)
- 20) Entwässerung (Béguin & Smola, 2010)
- 21) Standortangepasste Landwirtschaft (Stamm, Doppler, Prasuhn, & Singer, 2011)
- 22) Versicherungen (Finger, 2014; Fuhrer, Klimawandel - Wasser - Landwirtschaft: Künftige Risiken und Handlungsoptionen, 2014)
- 23) Bauliche Massnahmen (BAFU & BLW, 2011)
- 24) Fütterung (Tierhaltung)
- 25) Sinnvolles Weidemanagement (BAFU & BLW, 2013a, Anhang A4)
- 26) Betriebssystem "konventionell"
- 27) Betriebssystem "Bio"
- 28) Betriebssystem "IP"

- 29) Betriebssystem „Biologisch-dynamisch“
- 30) Extenso
- 31) Einhaltung der ÖLN-Auflagen (Bühler & Daniel, 2013, Tabelle 2)
- 32) Einhaltung des Gewässerraumes gemäss revidierter Gewässerschutzverordnung (SR 814.201, 1998)
- 33) Überbetriebliche Landnutzung (Geiger, Crole-Rees, & Daniel, 2011)
- 34) Agroforstwirtschaft
- 35) Kombination aus Gentechnik und Biolandbau (Bertemes, 2013)
- 36) Aqua-Kultur
- 37) Urban Farming, Vertical Farming
- 38) Risk Mitigation Measures (RMM) im engeren Sinne/Risiko-mindernde Massnahmen Pflanzenschutzmittel (BAFU & BLW, 2013b; Knauer & Félix, 2012; Streloke, Fischer, Kula, Pucilek-Günther, & Smith, 2007)
- 39) Gewässerkonnektivität reduzieren/Verhindern hydraulischer Kurzschlüsse (Bühler & Daniel, 2013; Alder, Herweg, Liniger, & Prasuhn, 2013)

3.4 Qualitative Analyse

Insgesamt umfasst der Katalog zusammen mit den Unteroptionen 149 Handlungsoptionen. Für jede einzelne dieser Handlungsoptionen sollte analysiert werden, wie sie sich auf die Ziele der untersten Zielhierarchie-Ebene auswirkt. Mit Hilfe der Aggregation innerhalb der Zielhierarchie ergibt das eine Einschätzung des Effekts der Handlungsoption auf das Ziel einer gewässerschonenden Landwirtschaft insgesamt. Die Ziele auf der untersten Ebene der Zielhierarchie werden durch ihre 130 Attribute gemessen. Für eine vollständige Analyse, wie sich die einzelnen Handlungsoptionen auf jedes einzelne Ziel auswirken, sind 19'370 (149x130) Einschätzungen abzugeben. Wenn man annimmt, dass jede etwa 2 Minuten in Anspruch nimmt, würden also schon rund 650 Stunden benötigt. Aufgeteilt auf 14 Expertinnen und Experten, ergibt das für jede Person gut eine Woche Vollzeit-Arbeit. Dies bedeutete einen grossen Zeitaufwand für die involvierten Personen und ergab die Schwierigkeit, Personen zu finden, die entsprechend viel Zeit aufbringen konnten. Zudem war es für manche Kombinationen von Handlungsoptionen und Ziele schwierig, überhaupt Personen zu finden, die eine entsprechende Einschätzung abgegeben konnten. Es zeigte sich, dass die landwirtschaftlichen Expertinnen und Experten gut die landwirtschaftlichen Massnahmen und Ziele kennen und die Personen aus dem Gewässerschutzbereich die Ziele und Massnahmen für die aquatischen Lebensräume. Das Verständnis für landwirtschaftliche Aktivitäten und deren gewässerschützerische Auswirkungen und das Wissen über die Effekte von Gewässerschutzmassnahmen auf Ziele der Agrarproduktion sind aber weniger verbreitet. Selbst im eigenen Arbeitsgebiet erwies sich die Angabe schon von qualitativen Auswirkungen auf viele Ziele als sehr komplex.

Für eine Vorhersage des wahrscheinlichsten Attributwerts für jedes Ziel, also eine quantitative Vorhersage der Auswirkungen der verschiedenen Handlungsoptionen, wäre eine umfassende Analyse der bisherigen Forschungsergebnisse, Modellierungsstudien oder Experimente durchzuführen oder präzises Expertenwissen für jede dieser 19'370 Einschätzungen einzuholen. Dies war im Rahmen dieses Projekts nicht machbar. Deshalb zeigen wir im Folgenden die Ergebnisse einer qualitativen Einschätzung der Effekte der einzelnen Handlungsoptionen auf die Ziele der AProWa-Zielhierarchie.

Für eine Einschätzung, in welche Richtung die Effekte der Handlungsoptionen auf die einzelnen Ziele gehen, wurden die Handlungsoptionen auf 14 Expertinnen und Experten verteilt, die dann in einem Excel-Sheet ihr Wissen über diese Effekte eintragen konnten. Für die Effekte und den räumlichen Bezug der Handlungsoptionen konnte aus den in *Tabelle 1* und *Tabelle 2* dargestellten Kategorien ausgewählt werden. *Abbildung 15* zeigt einen Teil eines solchen Excel-Sheets für einen Teil der sehr umfangreichen MSK-Zielhierarchie mit den gewählten Einträgen für jede Kombination von Handlungsoption und Ziel. Ausgelöst durch den hohen Umfang und damit verbundenen Arbeitsaufwand jeder dieser Dateien, wurden die Einschätzungen sehr lückenhaft abgegeben. Dadurch gab es letztlich nur für Teile der Effekte von etwa der Hälfte der Handlungsoptionen eine Einschätzung von verschiedenen Personen, eine Einschätzung zu den restlichen Effekten und Handlungsoptionen wurde nur von einer Person abgegeben.

Abbildung 15: Screenshot eines ausgefüllten Excel-Sheets für die qualitative Bewertung verschiedener Handlungsoptionen auf einige Ziele der Fließgewässer (Eine grössere Darstellung der Abbildung findet sich in Anhang 6.2; Die Kategorien für den räumlichen Bezug (1. Spalte) konnten aus Tabelle 2 (Kapitel 2) ausgewählt werden, die Kategorien für die Effekte (restliche Spalten) aus Tabelle 1 (Kapitel 2)).

Da es keine etablierte Methode gibt, eine rein qualitative Abschätzung, ohne Angabe eines Attributwertes, innerhalb der Zielhierarchie für die Bewertung auf Oberzielebene zu aggregieren, haben wir uns für eine deskriptive Analyse der Ergebnisse entschieden. Die einzelnen Einschätzungen der einen oder mehreren Personen wurden je Handlungsoption in einem Histogramm (siehe nächster Abschnitt) zusammengefasst. Die Höhe der Balken im Histogramm gibt an, wie oft ein (sehr) negativer, (sehr) positiver oder neutraler Effekt erwartet wird, wie oft kein Wissen oder grosse Unsicherheit vorliegt. Leere Einträge wurden als Unwissen („?“) gewertet. Diese Histogramme konnten für die Ziele der Agrarproduktion und des Gewässerschutzes einzeln dargestellt werden. Es konnten Gruppen von konfliktfreien und konfliktreichen Handlungsoptionen gebildet werden sowie Forschungslücken identifiziert werden. Welche Handlungsoptionen dabei in welche der Kategorien fiel, ist detailliert in Anhang 0 aufgeführt.

3.4.1 Konfliktfreie Themenbereiche

Es gibt keine Handlungsoption, die man als „nicht relevant“ einstufen müsste, da sie entweder keine Auswirkung hätte oder die als „nicht empfehlenswert“ anzusehen wäre, da sie ausschliesslich negative Auswirkungen zeigen würde. Das ist naheliegend, da solche Handlungsoptionen ausgewählt wurden, die sich bezüglich mindestens eines der Ziele bereits als effektiv erwiesen haben, oder von deren Effektivität aufgrund von Plausibilitätsüberlegungen ausgegangen werden kann.

Als „vielversprechend“ oder „empfehlenswert“ sind Handlungsoptionen anzusehen, die mindestens auf ein Ziel einen positiven Effekt, keine Unsicherheit oder Unwissen zeigen. Ein Beispiel für ein entsprechendes Histogramm ist in *Abbildung 16* dargestellt.

Konfliktfrei sind vor allem die Handlungsoptionen eines sinnvollen Weidemanagements, sowie Massnahmen erhöhter Dünger- und Pflanzenschutzmitteleffizienz.

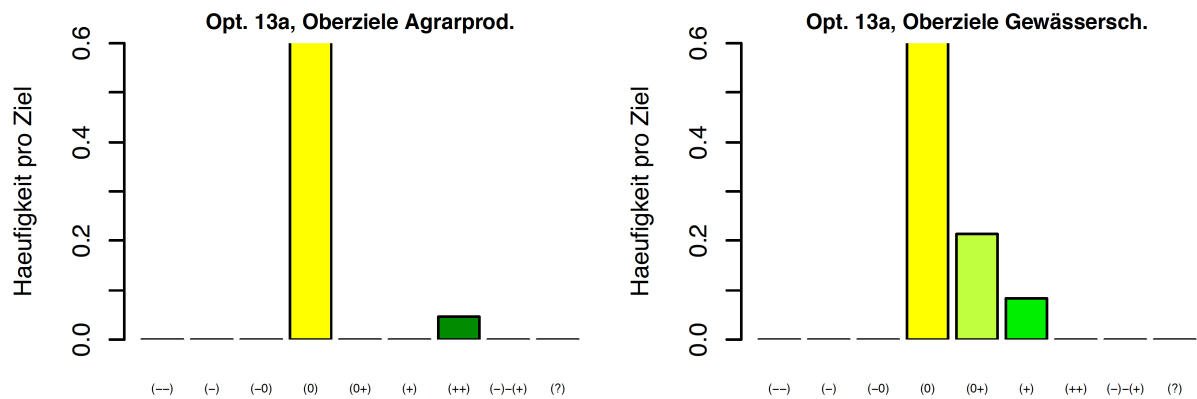


Abbildung 16: Histogramme der qualitativ eingeschätzten Effekte der Handlungsoption 13a (Düngung; Vermeidung unnötiger Düngung/Berücksichtigung der Nährstoffvorräte im Boden) auf alle Ziele der Agrarproduktion (links) und die Ziele des Gewässerschutzes (rechts). Es ist die relative Häufigkeit (zwischen 0 und 1) jedes einzelnen Eintrags über alle Ziele gezeigt. (Die y-Achse wurde bei 0.6 abgeschnitten, da die meisten Histogramme durch nicht vorhandene Effekte („0“) dominiert werden und die anderen Effekte sonst in der Grafik nicht sichtbar sind.)

3.4.2 Potentielle Konflikte

Konflikte können sowohl innerhalb des Gewässerschutzes oder der Agrarproduktion oder zwischen diesen Teilzielbereichen auftreten.

3.4.2.1 Konflikte innerhalb eines Teilzielbereichs

Die Handlungsoptionen in dieser Kategorie weisen entweder innerhalb des Bereichs der Agrarproduktion oder des Gewässerschutzes einen Konflikt auf. Es treten also sowohl positive als auch negative Effekte innerhalb der Bereiche auf. Die Auswirkungen auf den jeweils anderen Bereich werden als vorwiegend positiv oder ebenfalls konfliktreich bewertet. Es kann zudem Unsicherheit und Unwissen vorliegen, was auf Forschungsdefizite hinweist, jedoch tritt der Konflikt bereits in den als sicher eingeschätzten Effekten auf. Ein beispielhaftes Histogramm für diese Gruppe ist in *Abbildung 17* gezeigt. Dieses zeigt einen Konflikt innerhalb der Ziele der Agrarproduktion.

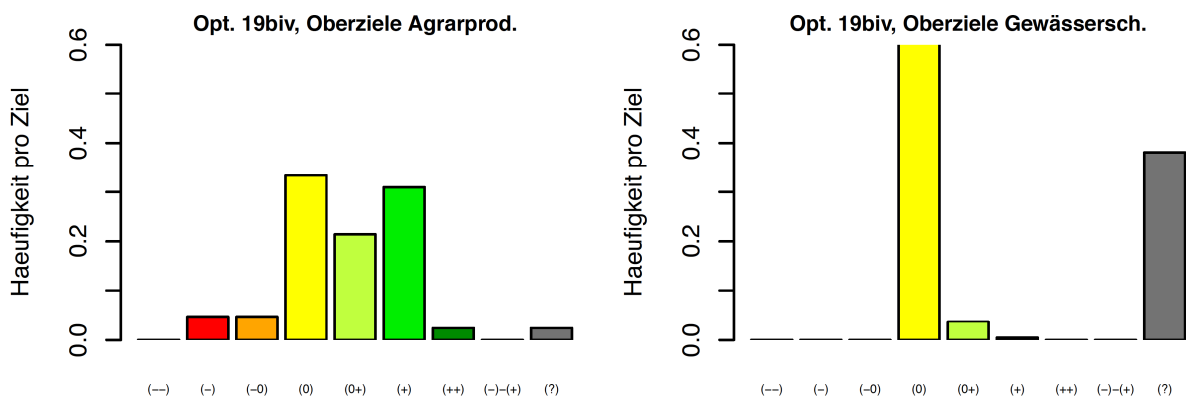


Abbildung 17: Histogramme der qualitativ eingeschätzten Effekte der Handlungsoption 19biv (Thema Bewässerung; Effizienzsteigerung Bewässerung; Kombination aus Steuerung und Applikation) auf alle Ziele der Agrarproduktion (links) und die Ziele des Gewässerschutzes (rechts). Es ist die relative Häufigkeit (zwischen 0 und 1) jedes einzelnen Eintrags über alle Ziele gezeigt. (s.o.)

Die meisten der Handlungsoptionen dieser Kategorie weisen einen Konflikt nur innerhalb der Agrarproduktion auf. In vielen Fällen wurden die Auswirkungen auf die Gewässerschutzziele von unseren Experten und Expertinnen allerdings als unbekannt eingestuft. Es könnte also durchaus sein, dass einige dieser Handlungsoptionen auch für den Gewässerschutz konfliktreich sind, dies aber noch weniger gut bekannt ist.

3.4.2.2 Konflikte zwischen den Teilzielbereichen

Diese Handlungsoptionen weisen entweder innerhalb des Bereichs der Agrarproduktion oder des Gewässerschutzes nur positive und neutrale Effekte auf und auf der jeweils anderen Seite nur negative und neutrale. In diese Kategorie fallen auch Optionen die in einem der beiden Hauptbereiche einen kleinen Konflikt aufweisen, deren Auswirkungen auf der jeweils anderen Seite aber negativ und bestenfalls neutral sind. Es kann ebenfalls Unsicherheit und Unwissen vorliegen, was wiederum auf Forschungsdefizite hinweist, jedoch tritt der Konflikt bereits in den sicher eingeschätzten Effekten auf. Ein Beispiel für diese Gruppe zeigt das Histogramm in *Abbildung 18*.

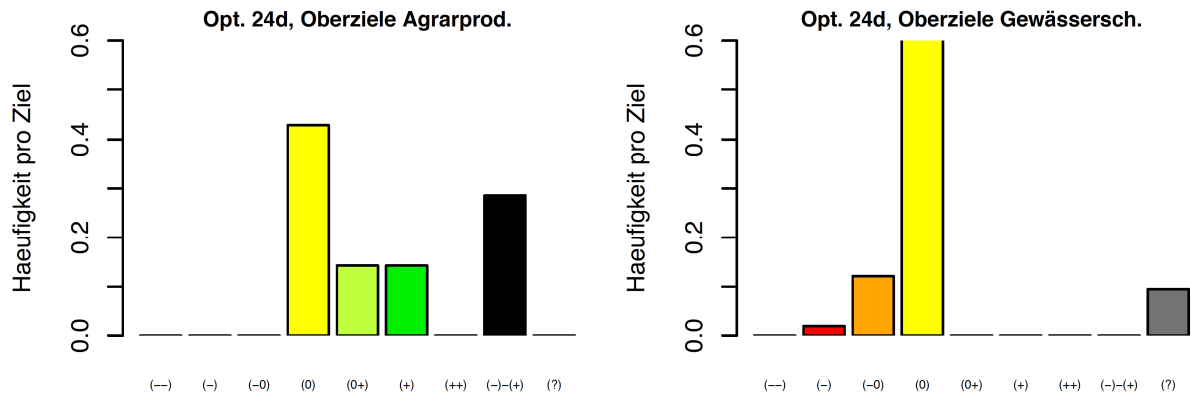


Abbildung 18: Histogramme der qualitativ eingeschätzten Effekte der Handlungsoption 24d (Fütterung (Tierhaltung); Fütterung mit Fertigfuttermischungen) auf alle Ziele der Agrarproduktion (links) und die Ziele des Gewässerschutzes (rechts). Es ist die relative Häufigkeit (zwischen 0 und 1) jedes einzelnen Eintrags über alle Ziele gezeigt. (s.o.)

Zu dieser Kategorie gehören beispielsweise viele der ökologischen Ausgleichsflächen, Revitalisierungsmassnahmen und Massnahmen des Nährstoffmanagements.

3.4.3 Forschungslücken

Von den Forschungslücken innerhalb der konfliktreichen Handlungsoptionen abgesehen, gibt es auch noch solche, die auf alle Ziele nur positive oder neutrale Effekte zeigen, aber zusätzlich mit grosser Unsicherheit, bzw. mit viel Unwissen verbunden sind. *Abbildung 19* zeigt beispielhaft das dazugehörige Histogramm.

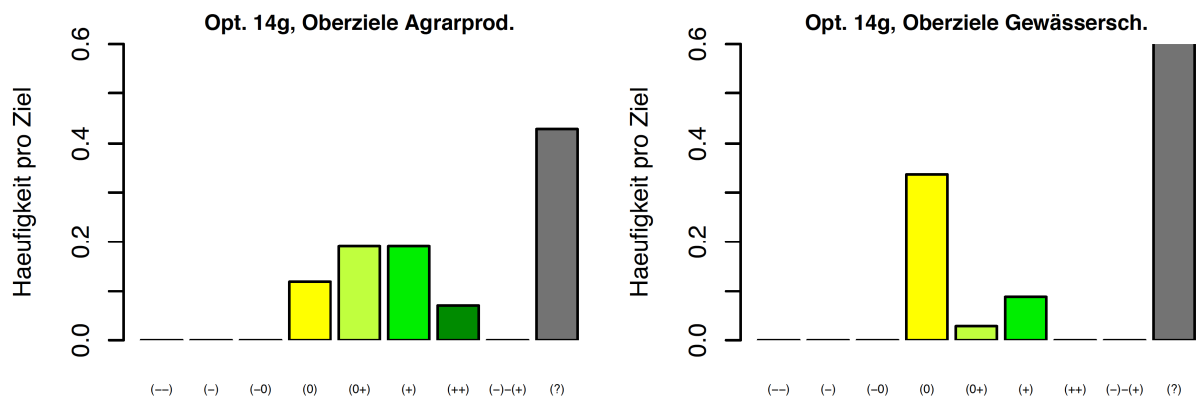


Abbildung 19: Histogramme der qualitativ eingeschätzten Effekte der Handlungsoption 14g (Pflanzenschutz; Fruchtfolge optimiert für den Pflanzenschutz) auf alle Ziele der Agrarproduktion (links) und die Ziele des Gewässerschutzes (rechts). Es ist die relative Häufigkeit (zwischen 0 und 1) jedes einzelnen Eintrags über alle Ziele gezeigt. (s.o.)

Diese Handlungsoptionen weisen ein Potenzial für die gewässerschonende landwirtschaftliche Produktion in der Schweiz auf, viele ihrer Auswirkungen sind aber noch sehr unsicher oder unbekannt.

Zusammen mit dem Projektteam wurde dann entschieden, aus dieser Auswahl die reduzierte Bodenbearbeitung, speziell das Verfahren der Direktsaat, für eine quantitative Analyse auszuwählen und diese mit dem Ist-Zustand zu vergleichen.

3.5 Quantitative Analyse – Beispiel konservierende Bodenbearbeitung

Um die Vorteile der Zielhierarchie, ihrer Attribute und Wertfunktionen voll nutzen zu können, ist für jede Handlungsoption eine Einschätzung notwendig, welche Attributwerte jedes einzelnen Ziels auf der untersten Zielhierarchieebene durch die Handlungsoption bewirkt werden. Diese vorhergesagten Attributwerte können anhand der Wertfunktionen bewertet werden. Durch die Aggregation in der Zielhierarchie ist auch eine Bewertung der Handlungsoptionen auf den oberen Zielhierarchieebenen, bis hin zum Ziel der gewässerschonenden Landwirtschaft, möglich.

Hier zeigen wir beispielhaft die Ergebnisse einer solchen quantitativen Analyse anhand der konservierenden Bodenbearbeitung. Das Thema wurde durch das Projektteam gewählt, da vergleichsweise gute quantitative Daten vorliegen. Das Beispiel dient zur Veranschaulichung der Methode, die konkreten Ergebnisse sollten nicht überinterpretiert werden.

Im ersten Schritt wurde der Ist-Zustand quantifiziert. Die Zielerreichung für einige Attribute konnte anhand vorliegender Daten gut erfasst werden. Für andere Attribute musste der heutige Zustand grob abgeschätzt werden. Diese unterschiedlich grosse Unsicherheit bei der Bestimmung der einzelnen Attributwerte wurde mit Wahrscheinlichkeitsverteilungen abgebildet. Durch die Propagation dieser Verteilungen durch die gesamte Zielhierarchie wurde die Unsicherheit der Gesamtbewertung analysiert.

Im zweiten Schritt wurde abgeschätzt, wie sich die Zielerreichung bei einer weitergehenden Anwendung des Direktsaatverfahrens verändern würde. Wiederum wurden nicht nur der wahrscheinlichste Wert der Zielerreichung auf allen Stufen der Zielhierarchie, sondern auch die geschätzten Unsicherheiten untersucht und (grafisch) dargestellt. Ausserdem wurde beispielhaft aufgezeigt, inwiefern sich verschiedene Gewichte und Aggregationsverfahren auf die Bewertung auswirken.

3.5.1 Ist-Zustand

Da die meisten Daten aus dem Jahr 2013 stammen, wurde dieses Jahr als Referenzjahr ausgewählt. Wo für dieses Jahr Zahlen fehlen, wurde eine Abschätzung anhand anderer Jahre getroffen. Der Ist-Zustand konnte für die Ziele der Ernährungssicherheit und der Wettbewerbsfähigkeit grösstenteils gut quantifiziert werden, da schweizweite Daten vorhanden sind. Dies ist auch der Fall für die flächenbezogenen Ziele des Kulturlandes innerhalb der landwirtschaftlichen Produktionsfaktoren. Für die Ziele der Bodenproduktivität und die Gewässerschutzziele war dies um einiges schwieriger. Dies liegt vor allem daran, dass Daten wie Bodenparameter oder die Wasserqualität von Fliessgewässerabschnitten nur stichprobenartig erhoben werden. Diese Werte streuen räumlich sehr stark, so dass eine national aggregierte Einschätzung schwierig ist. Wir haben diesen Aspekt daher mit einer grossen Unsicherheit abgebildet. Für die Kleingewässer und das Grundwasser fehlten uns jegliche Daten, hier ist nur eine grobe Schätzung für das oberste Ziel möglich. Für den mittleren Zustand der Fliessgewässerabschnitte wurde beispielhaft ein Abschnitt des Flussnetzwerkes des Kantons Zürichs (Gossauerbach, Stelle 168, Daten des AWEL) verwendet, für den immerhin für die meisten der Attribute Daten vorhanden waren. Dies geschah mit der Annahme, dass dieser Fliessgewässerabschnitt repräsentativ für die Gewässer der Schweiz ist.

Abbildung 20 zeigt die Bewertung des Ist-Zustands in der Zielhierarchie bis auf Ebene 7. Die Farben der Boxen geben jeweils die Bewertungsklasse der einzelnen Attributwerte an. Betrachtet man die untere Kante der Boxen als Skala zwischen 0 und 1, zeigen die schwarzen senkrechten Striche innerhalb der Boxen die genauen Werte der Wertfunktionen, die die Attributwerte bewirken, an. Die genauen Attributwerte zu allen Zielen, die dazugehörigen Referenzen, sowie die angenommene Verteilung für die Unsicherheit, finden sich in Anhang 6.4.

Schlussbericht zum Projekt AProWa

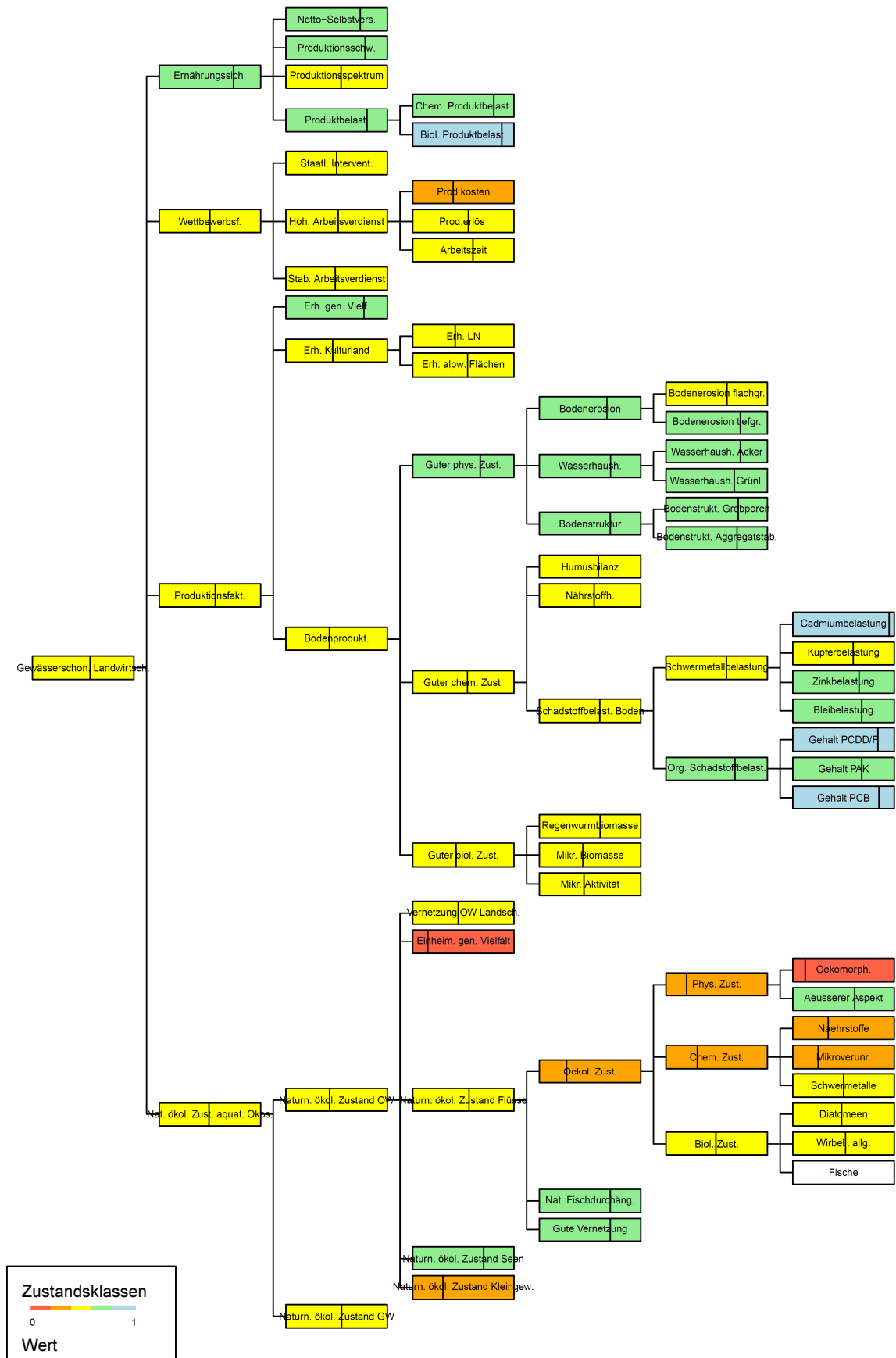


Abbildung 20: Bewertung des Ist-Zustands an Hand der Abschätzung des aktuellen Zustands der verschiedenen Ziele, visualisiert in der Zielhierarchie. Die schwarzen Striche innerhalb der Boxen geben die Bewertung auf einer Skala zwischen 0 und 1 definiert durch die jeweilige Wertfunktion an. Die Boxen sind in der Farbe der zugehörigen Zustandsklasse eingefärbt.

Das Gesamtsystem erhält im Ist-Zustand unter diesen Annahmen eine mässige Beurteilung. Diese Beurteilung ergibt sich auch für drei der vier Ziele auf zweitoberster Ebene der Zielhierarchie. Nur die Ernährungssicherheit wird als gut bewertet.

Jede Einschätzung der Attributwerte auf der untersten Zielhierarchieebene, und damit auch die Aggregation auf höheren Ebenen, ist mit einer Unsicherheit behaftet. Je nach Datenlage oder Schwierigkeit der Einschätzung sind die Unsicherheiten unterschiedlich gross. Grosse Unsicherheiten entstehen beispielsweise auch dadurch, dass wir eine nationale Sicht anstreben, manche Attributwerte (wie z. B. Bodenparameter) aber regional sehr unterschiedlich sind. Wir haben versucht, zu einer Einschätzung der Grösse dieser Unsicherheiten zu kommen. Diese wurden in unterschiedlich breiten Wahrscheinlichkeitsverteilungen abgebildet. Diese können wiederum in der Zielhierarchie aggregiert werden, in dem jeweils eine Stichprobe daraus gezogen und durch die Zielhierarchie propagiert wird. Damit ergibt sich auch eine Einschätzung über die Unsicherheit der Vorhersage auf den anderen Ebenen der Zielhierarchie. Dies ist in *Abbildung 21* gezeigt. Die Farben in den Boxen geben die möglichen Zustandsklassen innerhalb des 90%-Vertrauensintervalls an. Je mehr Farben zu sehen sind, desto unsicherer ist die jeweilige Bewertung. Die schwarze Markierung gibt den Median der jeweiligen Verteilung an.

Schlussbericht zum Projekt AProWa

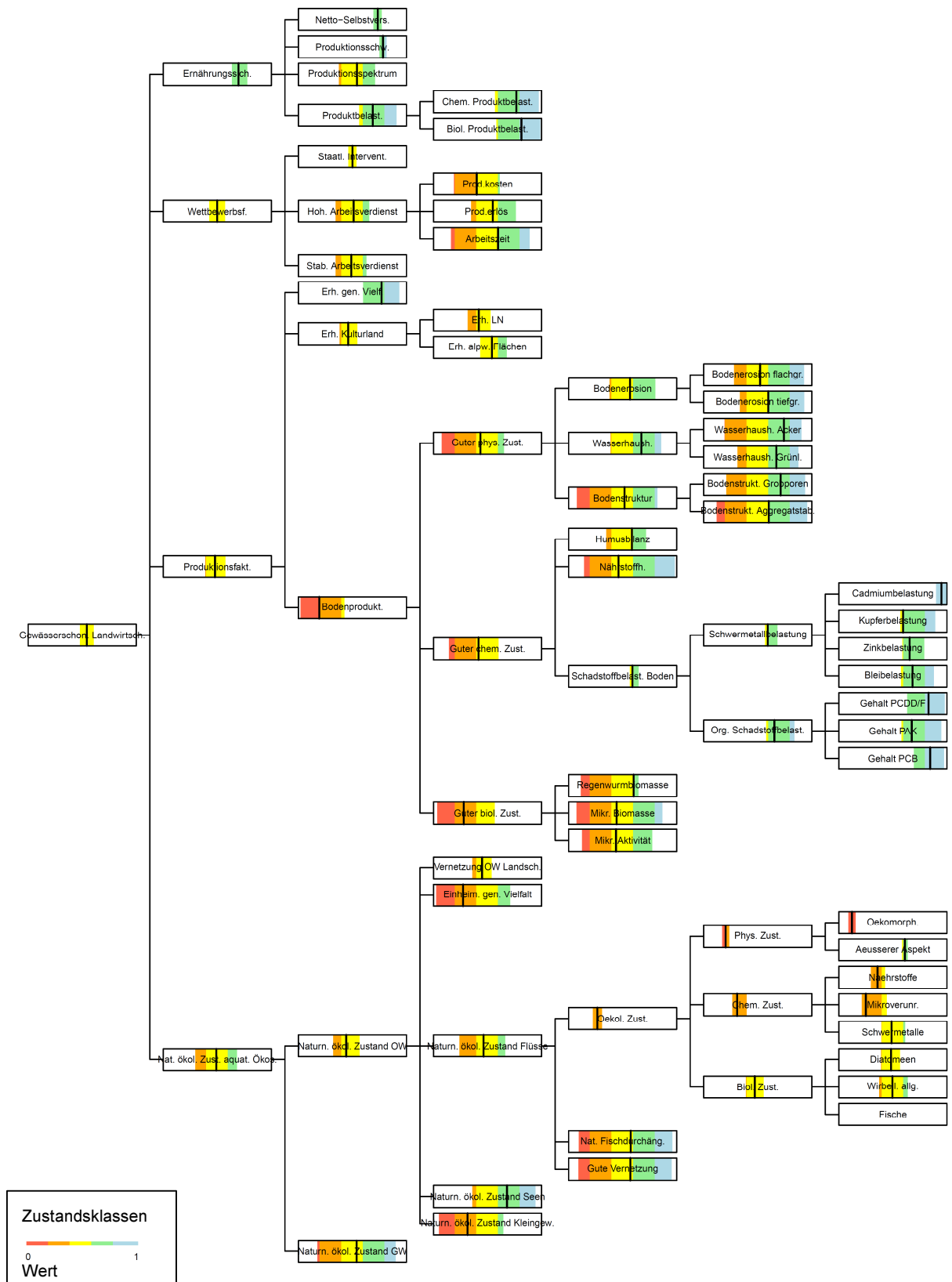


Abbildung 21: Bewertung des Ist-Zustands an Hand der Abschätzung des aktuellen Zustands der verschiedenen Ziele, visualisiert in der Zielhierarchie, mit Unsicherheit. Der Farbverlauf innerhalb der Boxen zeigt das 90%-Vertrauensintervall für die Zustandsklasse, die schwarze Markierung den Median. Je breiter die Zustandsklassen für ein Ziel streuen, desto grösser ist die Einschätzung seiner Bewertung.

Es ist klar erkennbar, dass in einigen Bereichen die Zielerreichung mit grossen Unsicherheiten geschätzt wird. Dies gilt beispielsweise für den physikalischen und biologischen Zustand der Böden, den

Zustand des Grundwassers und auch die räumlichen Aspekte der Fließgewässer. Interessanterweise pflanzt sich dieses Ausmass an Unsicherheit nicht bis zum Oberziels fort. Dieses erweist sich als relativ sicher und damit auch als recht robust gegenüber Unsicherheiten auf tieferer Stufe der Zielhierarchie.

Im nächsten Schritt wurden diese Ergebnisse einer Einschätzung bei einer Ausweitung der konservierenden Bodenbearbeitung gegenübergestellt.

3.5.2 Konservierende Bodenbearbeitung, Direktsaat

Die konservierende Bodenbearbeitung schliesst verschiedene Bodenbearbeitungsverfahren ein, die ganz oder teilweise auf den Einsatz des Pfluges verzichten. Dazu gehören die Mulchsaat (Rüttimann, 2001), die Streifenfrässsaat und, als am weitesten gehende Variante, die Direktsaat (Englisch „no-tillage“). Bei der Direktsaat wird das Saatgut direkt in den unbearbeiteten Boden gelegt. Es werden höchsten 50% der Bodenoberfläche bewegt (Schwarz, Chervet, Hofer, Sturny, & Zuber, 2007). Diese Verfahren werden inzwischen durch Direktzahlungen gefördert (SR 910.13, 2013, Art. 79), 2012 wurden gut 17'000 ha in der Schweiz direkt gesät (Schmid, 2013; Ledermann & Schneider, 2008).

Für eine Abschätzung der Auswirkungen einer Zunahme des Direktsaatverfahrens wurde angenommen, die Direktsaatfläche erhöhe sich auf 50% der Fruchtfolgeflächen. Das entspräche 190'000 ha und einer sehr starken Zunahme dieser Anbauform. Obwohl schon einige Feldversuche mit diesem Verfahren im Vergleich zum konventionellen Pflugeinsatz (Schaller, Nemecek, Streit, & Zihlmann, 2006) vorliegen, erwies sich die quantitative Abschätzung der Effekte als schwierig. Ein Hauptgrund liegt darin, dass die experimentellen Ergebnisse sehr unterschiedlich ausfallen, was auf stark standortspezifische Effekte dieser Praxis hinweist. Es zeigt sich somit – wie bereits schon für den Ist-Zustand – dass die Abschätzung der Auswirkungen teilweise mit erheblichen Unsicherheiten behaftet ist (*Abbildung 23*). Als relativ sicher gilt hingegen, dass sich die Direktsaat, zumindest im mitteleuropäischen Klima, positiv auf die Bodenproduktivität auswirkt und die Erosion um etwa 90% reduziert (TOPPS, 2013). Weiterhin ist mit einer Verringerung der Abschwemmung um 50% zu rechnen (Dübendorfer, Fu, Tratschin, & Spycher, 2015). Die genaue Auswirkung ist aber stark abhängig von der Hanglage, der genauen Fruchtfolge, vom Dünger- und Pflanzenschutzmitteleinsatz (Schaller, Nemecek, Streit, & Zihlmann, 2006). Die Effekte auf die Gewässer werden zudem sehr stark durch den Gewässeranschluss der jeweiligen Flächen bestimmt (Alder, Herweg, Liniger, & Prasuhn, 2013). Für eine genaue Analyse wären GIS-basierte Berechnungen nötig, die hilfreich wären, um zu ermitteln, welche Flächen sich für die Direktsaat zusätzlich eignen und welche Fruchtfolge inklusive des damit verbundenen standorttypischen Anbausystems dort als sinnvoll und wahrscheinlich anzusehen ist. Wenn Erosion und Stofftransport im Vergleich zum Ist-Zustand auf diesen Flächen abgeschätzt würde, müsste ermittelt werden, ob sie einen direkten, indirekten oder keinen Gewässeranschluss haben. Zum jeweiligen Gewässerabschnitt müsste der aktuelle Zustand bekannt sein und die Veränderung des Zustands durch den jeweiligen (verringerten) Stoffeintrag berechnet werden. Über alle neuen Direktsaatflächen würde dann die Bewertung der Bodenproduktivität und ihrer angrenzenden Gewässer für eine schweizweite Einschätzung gemittelt. Zusätzlich sind wiederum die Auswirkungen auf alle anderen Ziele (Produkterlös, Selbstversorgung, etc.) zu berücksichtigen, um zu einer Einschätzung der Option auf das Gesamtsystem zu kommen.

Eine solche umfangreiche Analyse war im Rahmen dieses Projektes aus zeitlichen Gründen nicht möglich. Stattdessen wurde an Hand der oben teilweise schon aufgeführten Literatur eine grobe Abschätzung der Auswirkungen vorgenommen. Die verwendeten Daten sind in Anhang 6.4 genauer aufgeführt. *Abbildung 22* zeigt das Ergebnis der Analyse. Es ist erkennbar, dass in verschiedenen Bereichen Verbesserungen auszumachen sind. Positive Auswirkungen zeigen sich bezüglich bodenphysikalischem Zustand, Regenwürmern und dem Risiko für Nährstoff- und Pflanzenschutzmitteleinträge in die Gewässer. Auch die Arbeitszeit dürfte leicht sinken. Auf der anderen Seite bedeutete eine Vergrößerung der Direktsaatfläche auf 190'000 ha auf Grund der Direktzahlungen eine Erhöhung der staatlichen Zahlungen um 43 Millionen Franken pro Jahr. Verglichen mit der Gesamtsumme an staatlichen Transferleistungen ist dieser Betrag aber so gering, so dass sich der Wert der Wertfunktion nur um 0.01 verringerte.

Für viele weitere Ziele jedoch sind die Auswirkungen der Direktsaat nicht bekannt. Der Attributwert wurde daher im Sinne eines „best guess“ als gleich wie im Ist-Zustand angenommen.

Schlussbericht zum Projekt AProWa

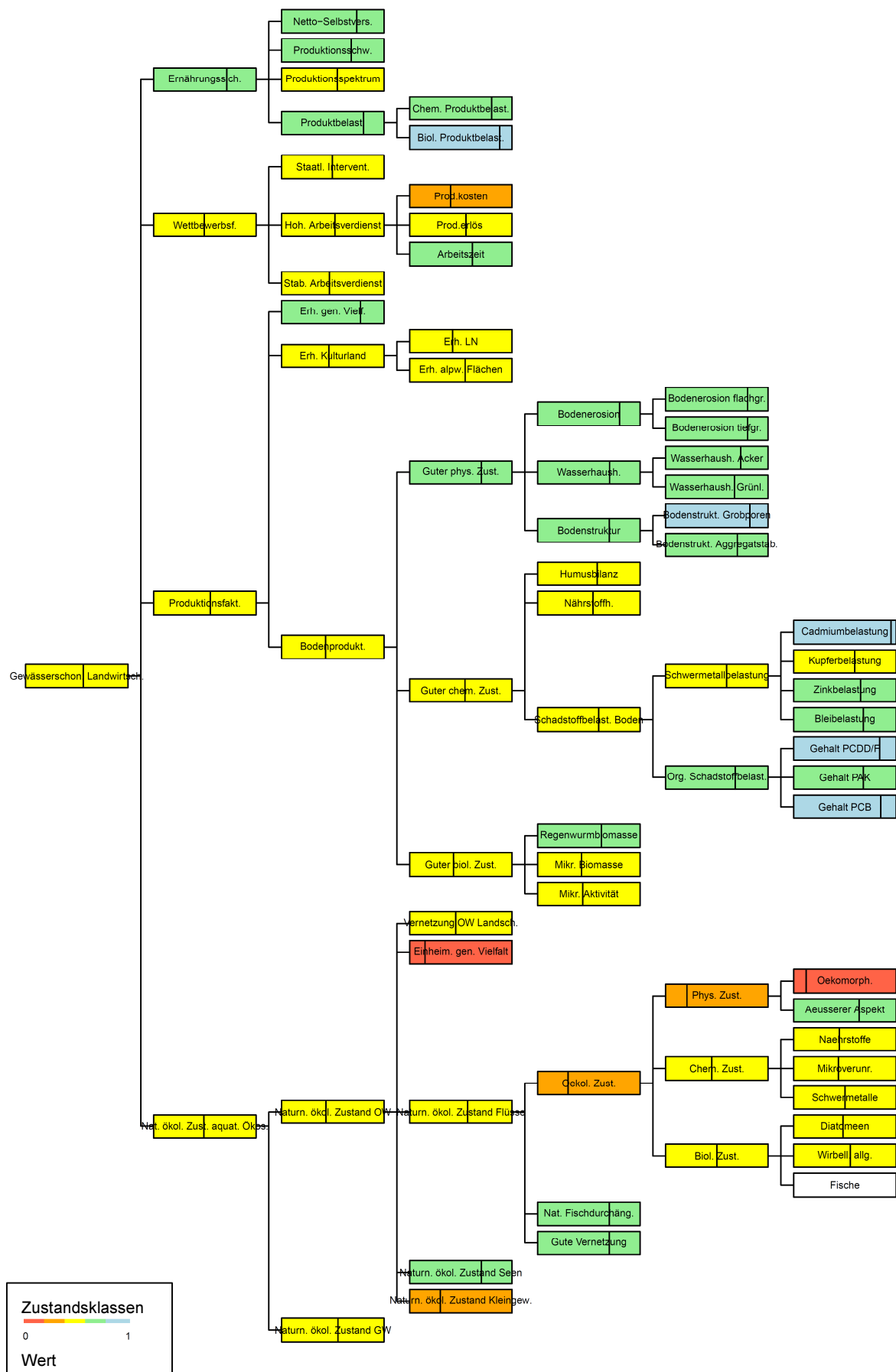


Abbildung 22: Bewertung des Direktsaat-Verfahrens, visualisiert in der Zielhierarchie. Die schwarzen Striche innerhalb der Boxen geben den Wert zwischen 0 und 1 der jeweiligen Wertfunktion an.

Wie beim Ist-Zustand spielen auch bei der Bewertung der Massnahme Direktsaat die grossen Unsicherheiten auf Ebene der Teilziele für die Gesamtbewertung eine geringe Rolle. Auch der Gesamteffekt der Massnahme fällt bescheiden aus. Die Gründe dafür liegen nicht darin, dass die Massnahme der Direktsaat nicht sinnvoll wäre, sondern hat damit zu tun, wie die Gesamtbewertung zustande kommt: Erstens wird bei der angenommenen additiven Aggregationsweise der Effekt einer Änderung auf jeder Ebene durch weitere Ziele verdünnt. Das kann, muss aber nicht immer sinnvoll sein (s. nächster Abschnitt). Zweitens werden auch die Auswirkungen von Unsicherheiten „verdünnt“, wenn sie in den verschiedenen Zielbereichen als statistisch unabhängig angenommen werden. Für die Beurteilung einer Massnahme kann die Betrachtung des Gesamtzustands alleine deshalb irreführend sein. Zielführender ist es, prognostizierte Veränderungen in Bezug auf einzelne Ziele zu vergleichen, z.B. die Verbesserung im Bereich der Bodenerosion.

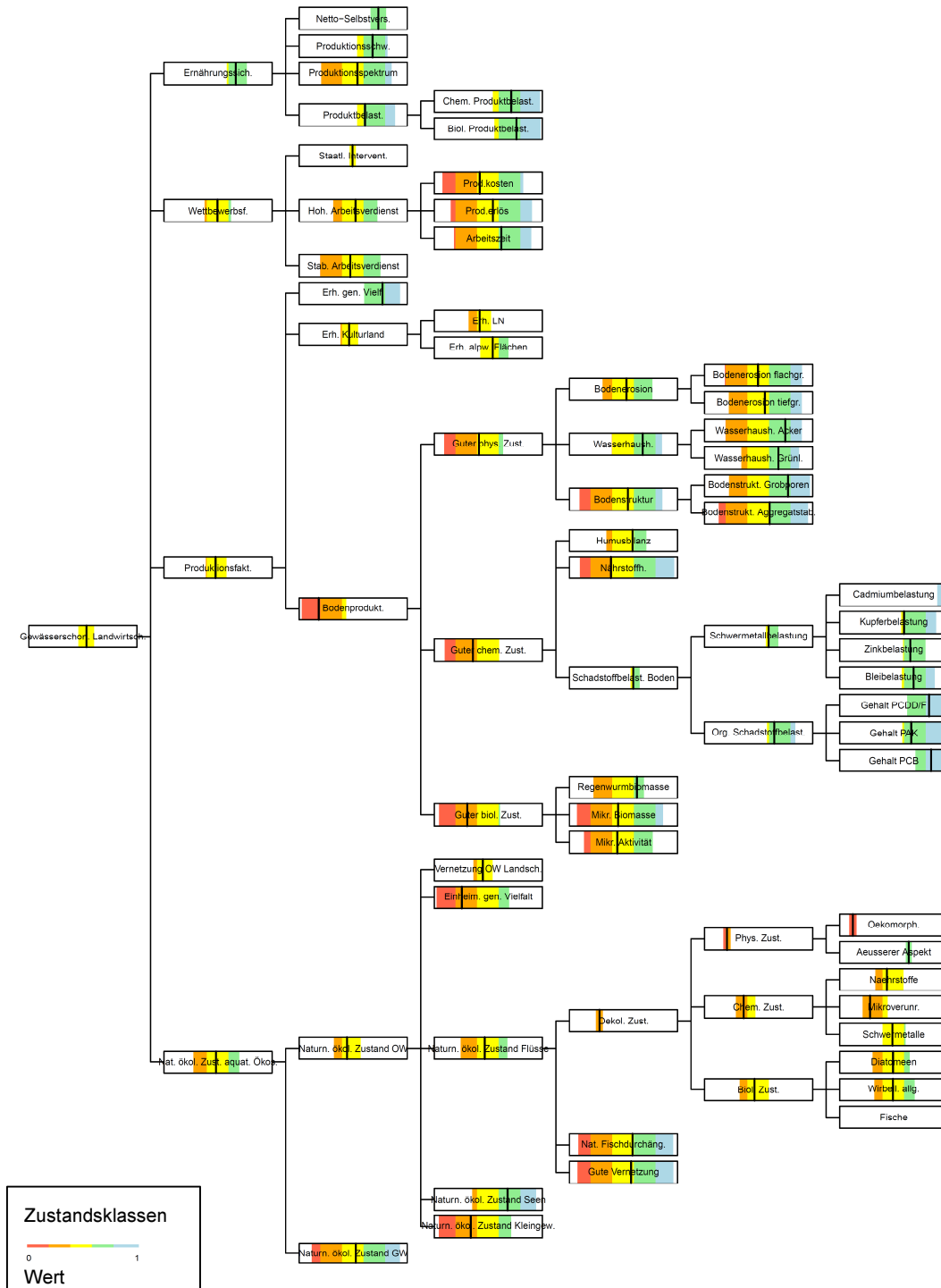


Abbildung 23: Bewertung des Direktsaat-Verfahrens, visualisiert in der Zielhierarchie, mit Unsicherheit. Der Farbverlauf innerhalb der Boxen gibt das 90%-Vertrauensintervall für die Zustandsklasse an.

3.5.3 Sensitivitätsanalyse

Anhand des Beispiels zur konservierenden Bodenbearbeitung haben wir auch analysiert, wie empfindlich die Gesamtbeurteilung auf unterschiedliche Gewichtung von Unterzielen reagiert und wie sich die Art und Weise der Aggregation von Unterzielen auf die Gesamtbewertung auswirkt.

3.5.3.1 Gewichtung von Unterzielen

Wir zeigen daher hier beispielhaft die Änderung der Gesamtbewertung, wenn man zum einen für die Ernährungssicherheit, zum anderen für die aquatischen Lebensräume, ein 3-faches Gewicht im Vergleich mit den anderen drei Zielen annimmt (Abbildung 24). Diese vier Unterziele werden hier additiv aggregiert; d.h. der Gesamtwert ergibt sich als gewichtetes Mittel der vier Unterziele.

Es zeigt sich, dass für eine starke Gewichtung auf die Ernährungssicherheit der Ist-Zustand des Gesamtsystems anstatt einer mässigen eine gute Bewertung erhält. Im Gegensatz dazu bewirkt die starke Gewichtung auf die Gewässerschutzziele eine mässige Gesamtbewertung, die etwas schlechter ist als die Bewertung bei gleichen Gewichten (Abbildung 20). Dies illustriert die Bedeutung der Gewichte, die oft nicht offen kommuniziert, aber doch implizit häufig vergeben werden.

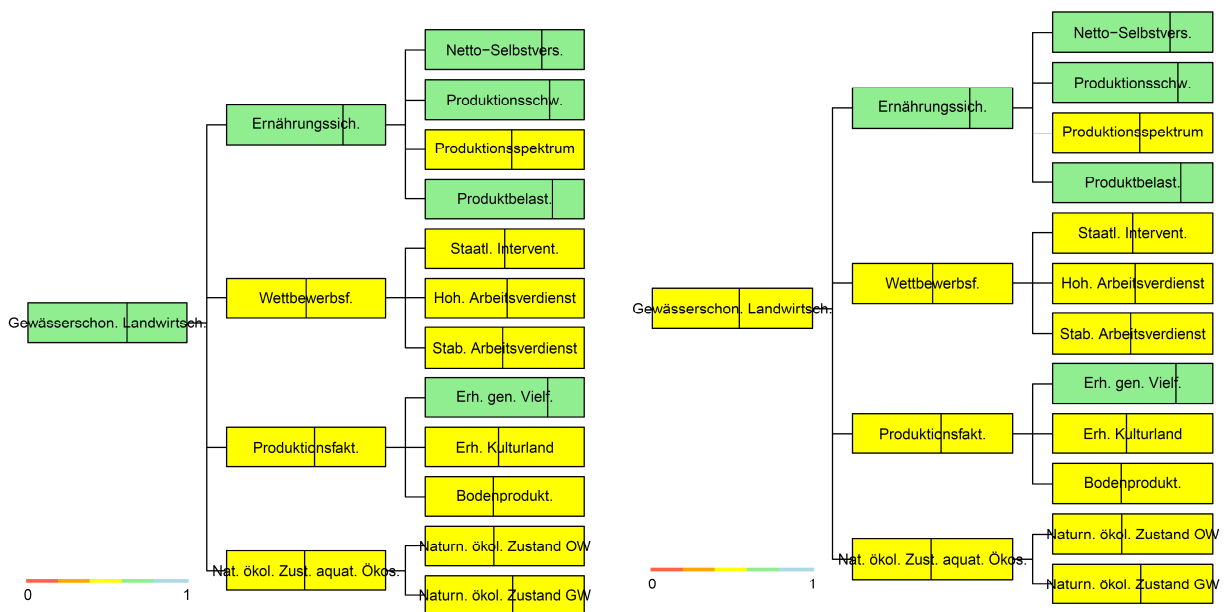


Abbildung 24: Vergleich der Bewertung des Ist-Zustands für zwei verschiedene Gewichtungen. Die linke Grafik zeigt die Gesamtbewertung für das dreifache Gewicht für die Ernährungssicherheit im Vergleich zu den anderen 3 Zielen. Die rechte Grafik zeigt die Bewertung für ein dreifaches Gewicht der aquatischen Lebensräume.

3.5.3.2 Aggregation von Unterzielen

Die meisten Aggregationen haben wir als additiv angenommen und damit implizit vorausgesetzt, dass ein schlechter Wert bei einem Unterziel durch einen guten Wert in einem anderen kompensiert werden kann. Diese Annahme ist jedoch nicht in allen Fällen sinnvoll. Auf Grund der Angaben in der SALCA-Methode haben wir zum Beispiel die Ziele der Bodenproduktivität mit einer Minimum-Aggregation aggregiert. Abbildung 25 zeigt den Vergleich, wenn man auch hier eine additive Aggregationsform annehmen würde.

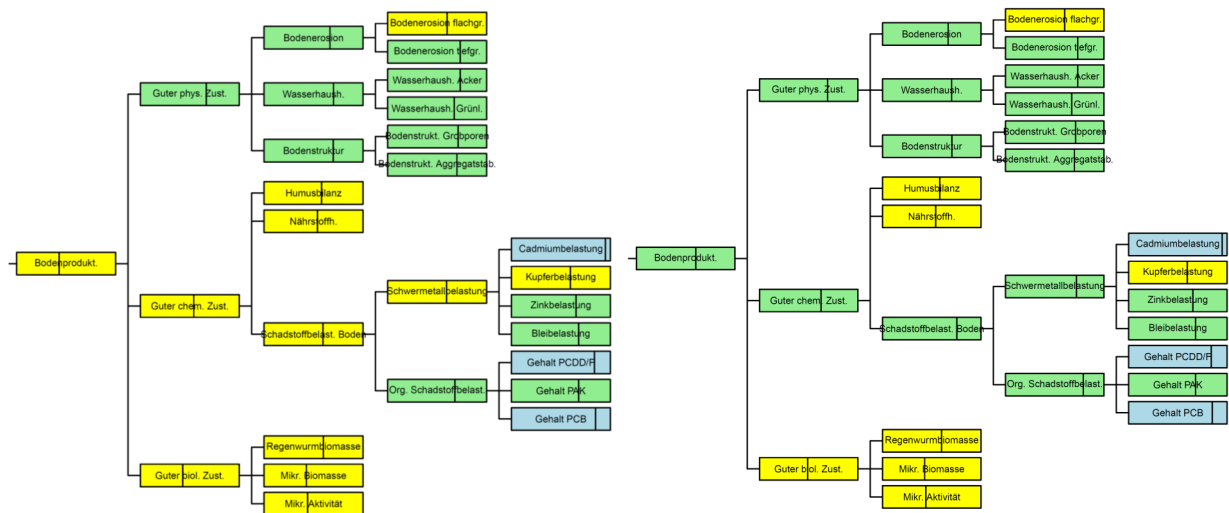


Abbildung 25: Vergleich der Bewertung der Unterzielhierarchie für die Bodenproduktivität für zwei verschiedene Aggregationstypen. Die linke Grafik zeigt die Bewertung mit Minimum-Aggregationen und gleichen Gewichten für alle Aggregationen. Die rechte Grafik zeigt das Ergebnis für additive Aggregationen und gleiche Gewichte.

Im Fall einer additiven Aggregation würden sich die verschiedenen Unterziele der Schwermetallbelastung gegenseitig kompensieren und die Bewertung ausmitteln. Letztlich würde daher die Bodenproduktivität insgesamt als gut anstatt mässig bewertet. Unter Umständen wäre eine Zwischenform dieser beiden Extrema am sinnvollsten (Langhans, Reichert, & Schuwirth, 2014). Diese würde eine Verbesserung der Gesamtbewertung zulassen auch wenn ein anderes als das am schlechtesten bewertete Ziel verbessert würde. Trotzdem wäre es nicht möglich, die schlechte Bewertung eines Ziels gänzlich durch die gute Bewertung eines anderen zu kompensieren.

4 Diskussion

4.1 Allgemeine Diskussion

Das Projekt verfolgte das Ziel, Entscheidungsunterstützung im komplexen Spannungsfeld von landwirtschaftlicher Produktion und Gewässerschutz in der Schweiz zu leisten. Dieses Themenfeld ist durch viele Wechselwirkungen und Trade-offs sowie z.T. divergierende Werthaltungen von Akteuren gekennzeichnet. Die hier angewandte Methode der multi-kriteriellen Entscheidungsanalyse (MCDA) erlaubt es, derartige, komplexe Probleme transparent anzugehen.

Die erarbeitete Zielhierarchie liefert einen guten Überblick über die Breite und Komplexität des Themas. Die Anzahl von 130 Attributen (auch Indikatoren genannt) zeigt, wieviel unterschiedliches Wissen zusammengetragen werden muss, um dem Thema gerecht zu werden. Daraus ergibt sich aber gleich auch die Komplexität des Entscheidungsproblems: neben 130 Wertfunktionen für die Attribute sind zusätzlich über 180 Bewertungen vorzunehmen, wie unterschiedliche Teilziele in die jeweiligen Oberziele zusammengefasst werden, um eine Bewertung des Gesamtsystems zu erhalten. Werden mit einer Zielhierarchie dieser Breite eine grosse Anzahl möglicher Handlungsoptionen bewertet – in diesem Fall 149 – werden 19'370 Prognosen für die Zielerreichung benötigt. Neben erheblichem Arbeitsaufwand setzt dies auch den Einbezug einer Vielzahl von Expertinnen und Experten voraus.

Gemäss der Idealvorstellung der MCDA können sowohl der aktuelle Zustand wie der erwartete Zustand nach Einführung definierter Massnahmen mit messbaren Attributen quantifiziert werden. Über Wertfunktionen und Aggregationsregeln kann die Zielerreichung ermittelt und dabei der subjektive Teil der Bewertung transparent dargestellt werden (s. Kapitel 3.2).

Im Rahmen der Projektbearbeitung zeigte es sich jedoch, dass viele der notwendigen Grundlagen und Daten nicht vorliegen. Zudem zeigte sich, dass die Anwendung der MCDA-Methodik in der jetzigen Form für ein Problem der vorliegenden Komplexität und Vielfalt kaum praktikabel ist. Daraus ergeben sich wichtige Schlussfolgerungen und Konsequenzen für die Forschungs- und Massnahmenplanung:

1. Die Entscheidungsfindung im komplexen Spannungsfeld von landwirtschaftlicher Produktion und Gewässerschutz ist bisher nicht ausreichend rational und transparent durchführbar. Gewichtungen verschiedener Ziele werden implizit vorgenommen und vermischen sich mit nicht-quantifizierten Prognosen zur Auswirkung von Massnahmen. Neben der Intransparenz, wie Entscheidungen zustande kommen, birgt dieses Vorgehen auch das Risiko, dass je nach Frage- und Problemstellung Gewichtungen und Prognosen inkonsistent verwendet werden. Insgesamt besteht damit die Gefahr, dass suboptimale Entscheidungen getroffen werden, da die wahren Präferenzen und der tatsächliche Wissensstand unzureichend berücksichtigt werden. Dies hat nichts mit Fehlleistungen von Personen zu tun, sondern liegt in der Komplexität des Problems begründet: ohne ein geeignetes analytisches Werkzeug ist eine transparente und rationale Entscheidungsfindung nicht möglich.
2. Die MCDA in der hier angewendeten Form ist aufgrund des grossen Aufwandes für die notwendigen Prognosen und Erhebung der Wertfunktionen kaum praktikabel. Die Methode sollte weiterentwickelt und vereinfacht werden, so dass ihre Vorteile erhalten bleiben, aber der Aufwand substantiell reduziert wird. Eine derartige methodische Vereinfachung könnte zudem in verschiedensten Themenbereichen eingesetzt werden.
3. Unabhängig vom gewählten Entscheidungsunterstützungsverfahren sollten für wichtige Ziele die Attribute und Wertfunktionen überprüft und gegebenenfalls angepasst werden. Im Rahmen dieses Projektes haben wir Vorschläge für alle 130 Ziele auf der untersten Ebene vorgeschlagen. Angesichts des begrenzten Zeitrahmens drängt sich aber in gewissen Bereichen (z.B. Bodenproduktivität, Produktbelastung) eine Überarbeitung auf.
4. Zu wichtigen Aspekten ist es schwierig, nur schon den aktuellen Ist-Zustand zu quantifizieren. Dies gilt sowohl für produktionsbezogene Aspekte (z.B. chemische und biologische Belastung der landwirtschaftlichen Produkte) wie auch für ökologische Aspekte. So sind beispielsweise die Wasserqualität von Kleingewässern im landwirtschaftlichen Bereich und die ökologischen Auswirkungen landwirtschaftlicher Aktivitäten schlecht untersucht.
5. Auch für die Prognosen, wie sich einzelne Massnahmen auswirken werden, ist die Datenlage oftmals dünn oder liegt nicht in einer Form vor, die verallgemeinerbar ist. Hier gilt es, Prioritäten zu setzen, welche Lücken zu füllen sind. Im nächsten Abschnitt benennen wir solche Lücken, die sich im Rahmen dieses Projekts herausgestellt haben.

4.2 Spezifische Forschungsdefizite

Spezifische Forschungsdefizite (Projektziel 6) lassen sich innerhalb dieses Projekts auf zwei Grundlagen herleiten: einerseits ergeben sie sich aus der qualitativen Analyse (Kapitel 3.4), andererseits aus den festgestellten Datenlücken bei der Formulierung und Quantifizierung der Attribute (Kapitel 3.2 & 3.5).

4.2.1 Forschungslücken aufgrund der qualitativen Analyse

Die qualitative Analyse basierend auf den Einschätzungen der beteiligten Expertinnen und Experten zeigt Konfliktfelder innerhalb und zwischen Bereichen der Zielhierarchie und Forschungsdefizite auf. Diese sind in Kapitel 3.4 zusammengefasst. Im Hinblick auf spezifische Defizite im Spannungsfeld der landwirtschaftlichen Produktion und des Gewässerschutzes lassen sich folgende Themenschwerpunkte identifizieren:

- Handlungsoptionen im Bereich Pflanzenschutz
- Handlungsoptionen im Bereich Bodenbearbeitung
- Handlungsoptionen im Bereich Erosionsschutz
- Handlungsoptionen zur Verminderung des direkten Anschluss an Oberflächengewässer.

Alle Optionen sind wichtig für eine gewässerschonende Landwirtschaft. Ihre Effekte auf zahlreiche Attribute der Zielhierarchie sind aber sehr unsicher oder gar unbekannt. Die genannten Bereiche passen gut ins Bild der aktuellen Diskussion zum Aktionsplan Pflanzenschutzmittel (Bundesrat, 2014). Sie decken aber auch Themen ab, die momentan im Zusammenhang mit der Weiterentwicklung von Massnahmenplänen zur Verminderung der Phosphor-Einträge in den Baldeggersee diskutiert werden.

4.2.2 Forschungslücken aufgrund fehlender Grundlagendaten

Die Erarbeitung der Attribute für sämtliche Ziele auf der untersten Ebene der Zielhierarchie hat klare Lücken aufgezeigt. Folgende Themenbereiche sind für unsere Fragestellung von besonderer Bedeutung:

- Zustand von Kleingewässern. Es fehlen einerseits Ziele und Attribute zur Beschreibung des physikalischen, chemischen und biologischen Zustands dieser Ökosysteme. Auch entsprechende Daten fehlen.
- Biologischer Zustand von Grundwässern. Auch hier fehlen weitere Unterziele, sowie Attribute und Daten zum aktuellen Zustand.
- Boden als Produktionsfaktor. Die Datenlage ist auch hierzu recht begrenzt. Insbesondere flächenhafte Aussagen zum qualitativen Zustand des Bodens sind kaum mit Daten untermauert. Die Attribute und Wertfunktionen sollten noch besser abgestützt werden.
- Chemische und biologische Produktbelastung. Dazu liegen ebenfalls kaum Daten in einfach zugänglicher Form vor. Daher ist es kaum möglich, Auswirkungen zum Einfluss unterschiedlicher Betriebssysteme zu analysieren und in die Entscheidungsfindung einzubinden.
- Arbeitszeiten. Es fehlen gesicherte Daten zu Arbeitszeiten, die genügend zwischen Betriebssystemen und Betriebstypen differenzieren.

5 Ausblick

Die im Rahmen dieses Projektes erarbeiteten Produkte und Erkenntnisse können in verschiedene Richtung weiterverwendet und entwickelt werden:

1. Produkte wie die Zielhierarchie, die zugrundeliegende Software und die Massnahmenliste können direkt als Grundlage für weitere Projekte und Entscheidungsprozesse verwendet werden. Für die gesammelten Ziele liegen messbare Indikatoren vor, die als Ausgangspunkt für ähnlich gelagerte Fragestellungen verwendet werden können. Die Zielhierarchie kann dafür kontext- und projektspezifisch jeweils reduziert (oder erweitert) werden.
2. Mit der Analyse liessen sich konkrete Forschungsdefizite herausarbeiten (s. oben), die zukünftig angegangen werden sollten. Aus dieser Liste lassen sich die folgenden Themen für eine allfällige weitere Zusammenarbeit zwischen BLW/Agroscope und Eawag hervorheben, da sie die spezifische Expertise der Eawag betreffen:
 - a. Zustand von Kleingewässern.
 - b. Massnahmen im Bereich Pflanzenschutz
 - c. Verringerung der Konnektivität zu Oberflächengewässern
3. Die multi-kriterielle Entscheidungsunterstützung (MCDA) hat sich als hilfreiches Instrument zur Strukturierung des komplexen Spannungsfelds von landwirtschaftlicher Produktion und Gewässerschutz erwiesen. Die MCDA-Anwendung hat aber auch die ungenügende Praktikabilität des Verfahrens für Problemstellungen dieses Umfangs aufgezeigt. Aktuelle Forschungsarbeiten an der Eawag (Fridolin Haag, Projekt „Praxisorientierte Entscheidungsanalyse für eine wertefokussierte Planung von Abwasserinfrastrukturen“) versuchen explizit, diese Limitierungen anzugehen. Zukünftig könnten daher methodische Fortschritte zu verzeichnen sein, die ausserdem auch eine breitere Anwendung der Methodik auch für andere Fragestellungen ermöglichen würden.

6 Anhang

6.1 Handlungsoptionen (detailliert)

Hier sind noch einmal alle Handlungsoptionen inklusive ihrer spezifischeren Untermassnahmen aufgeführt.

Handlungsoptionen auf kantonaler Ebene/Gemeindeebene:

- 1) Revitalisierung (BAFU, 2012)
 - a) Aufweitung grosser Fliessgewässer über weite Strecken
 - b) Lokale Aufweitung grosser Fliessgewässer
 - c) Aufweitung kleiner Fliessgewässer (Uferverbauungen entfernen)
 - d) Ausdolung kleiner Fliessgewässer
- 2) Ausscheidung des Gewässerraumes gemäss revidierter Gewässerschutzverordnung (SR 814.201, 1998)
- 3) Wiedervernässung Feuchtstandorte
- 4) Vergrösserung landwirtschaftlicher Nutzfläche
- 5) Landwirtschaftliche Aufwertung degradierter Flächen, Urbarmachung
- 6) Raumplanerische Sicherung der Fruchtfolgeflächen
- 7) Intensivierung der Landwirtschaft im Alpenraum (mehr Tiere pro Fläche)
- 8) Umwandlung von Ackerland in Grünland
- 9) Förderung Klärung von Drainagenwasser/Strassenmeteorwasser (Bühler & Daniel, 2012)

Handlungsoptionen auf Betriebsebene:

- 10) Wahl der Anbaukultur
 - a) Mehr Ackerbau, weniger Grünland
 - b) Mehr Obstbau, weniger Grünland
 - c) Weniger Gemüse, mehr Ackerbau im Schweiz-typischen Mix
- 11) Ökologische Ausgleichsflächen (Agroscope, 2015) (neu nach AP14-17: Biodiversitätsförderflächen (BFF); DZV, SR 910.13, 2013)
 - a) Massive Ausdehnung Ackerschonstreifen (extensiv bewirtschafteter Randstreifen von Ackerkulturen), bevorzugte Anlage entlang von Gewässern
 - b) Ausdehnung von Buntbrachen (mit einheimischen hauptsächlich aus ein- bis mehrjährigen Ackerwildkräutern angesäte bzw. bewachsene Fläche), bevorzugte Anlage entlang von Gewässern
 - c) Ausdehnung von Rotationsbrachen (mit einheimischen, hauptsächlich ein- und zweijährigen Ackerwildkräutern angesäte bzw. bewachsene Fläche), bevorzugte Anlage entlang von Gewässern
 - d) Massive Ausdehnung von Säumen (Mit einheimischen, hauptsächlich aus mehrjährigen Wildkräutern angesäter oder bewachsener Streifen) auf Ackerfläche, bevorzugte Anlage entlang von Gewässern
 - e) Mehr Hochstamm-Feldobstbäume
 - f) Hecken, Feld- und Ufergehölze: mehr Ufergehölze
 - g) Mehr Streueflächen
 - h) Wiesen
 - i) Kunstwiesen
 - (1) Grösserer Anteil Kunstwiesen mit hohem Anteil Gräser (>70%)
 - (2) Grösserer Anteil Kunstwiesen mit hohem Anteil Klee (>50%)
 - ii) Dauerwiesen
 - (1) Höherer Anteil intensiv genutzter Dauerwiesen
 - (2) Höherer Anteil wenig intensiv genutzten Dauerwiesen
 - (3) Höherer Anteil extensiv genutzter Dauerwiesen
- 12) Wahl der Nutztierart
 - a) Weniger Geflügelmast

- b) Weniger Rindermast (mit intensiver Fütterung ohne durch andere Nutztierart zu kompensieren)
 - c) Weniger Milchviehhaltung (ohne durch andere Nutztierart zu kompensieren)
 - d) Weniger Schweinehaltung (in viehdichten Regionen ohne durch andere Nutztierart zu kompensieren)
- 13) Düngung/Nährstoffmanagement (BAFU & BLW, 2012)
- a) Vermeidung von Nährstoffüberschüssen/Berücksichtigung der Nährstoffvorräte im Boden
 - b) Gülleausbringung mit Schleppschlauch / -schuh / Gülleverschlauchung
 - c) Stickstoff-effiziente Fruchtfolge
 - d) Anbau stickstoff-fixierender Kulturen
 - e) Fertigation (Ausbringen von Dünger via Bewässerungssystem)
 - f) Düngung mit Hofdünger
 - g) Düngung mit Mineraldüngern
 - h) CULTAN-Düngung (Controlled Uptake Long Term Ammonia Nutrition)
 - i) Durchschnittliche organische Düngung von mindestens 2 Tonnen pro Hektare und Jahr (Mist, Kompost, Strohdüngung gemäss Feldkalender) (BAFU & BLW, 2013a, Anhang Tab. 2)
- 14) Pflanzenschutz (BAFU & BLW, 2013b; Bühler & Daniel, 2013)
- a) Wahl des eingesetzten Pflanzenschutzmittel-Produkts
 - b) Verzicht auf Neonicotinoide
 - c) Vermeidung unnötigen Einsatzes Pflanzenschutzmittel (PSM) (Schadschwellenprinzip)
 - d) Einsatz von Kupfer im Pflanzenschutz (Bio)
 - e) Saatgut-Beizung
 - f) Einsatz von Granulaten
 - g) Fruchtfolge optimiert für den Pflanzenschutz
 - h) Anbau schädlings-/krankheitsresistenter Sorten
 - i) Verzicht auf PSM-intensive Kulturen
 - j) Biologische Schädlingsbekämpfung (Nützlinge)
 - k) Biologische Schädlingsbekämpfung (Mikroorganismen)
 - l) Biotechnologische Pflanzenschutzmittel (Einsatz von Pheromonen)
 - m) Physikalischer Pflanzenschutz (Netze, Fallen, Akustik)
 - n) Hagelnetz im Kernobstbau
 - o) Regendach/Vogelschutz im Steinobstbau
 - p) Pflanzenschutzstrategien aus der SustainOS-Methode (Apfelanbau) (Naef, Mouron, & Höhn, 2011)
 - i) Anbausystem „Baseline“
 - ii) Anbausystem „Advanced I“
 - iii) Anbausystem „Advanced II“
 - iv) Anbausystem „Innovative“
- 15) Einsatz von Veterinärpharmaka
- a) Vermeidung unnötigen Einsatzes von Veterinärpharmaka
- 16) Bodenbearbeitung/-bewirtschaftung (BAFU & BLW, 2013a; Bühler & Daniel, 2013; Geiger, Crole-Rees, & Daniel, 2011; Powlson, et al., 2011)
- a) der Witterung angepasste Bodenbearbeitung
 - b) Bewirtschaftung quer zum Hang/höhenlinienparallel, Pflügen in Kontur-Richtung
 - c) Pflügen
 - d) Pflugloser Anbau / Reduzierte Bodenbearbeitung
 - i) Mulchen/Mulchsaat
 - ii) Direktsaat
 - iii) Streifensaart/Streifenfrässaat
 - e) Anbau bodendeckender Kulturen (im Winter/als Zwischenkultur)
 - f) Anlegung von Saatbetten mit grober Struktur
 - g) Angepasster Maschinenpark
 - i) Keine zapfwellenangetriebenen Bodenbearbeitungsgeräte
 - h) Vermeidung von Verdichtung
 - i) Geeignete Wahl der Zu- und Abfahrt der Parzellen

- 17) Erosionsschutz/Verminderung des Effekts von Erosion (BAFU & BLW, 2013a; Gisler, Liniger, & Prasuhn, 2010)
 - a) gute Uferbestockung, Hecken, Trockenmauern u.a. Landschaftselemente
 - b) genügend breite Pufferzonen
 - i) Mindestens 3m breiter Pufferstreifen entlang von Wegen bei offener Ackerfläche
 - c) Fruchtfolge optimiert für den Erosionsschutz
 - i) Hoher Anteil Kunstwiese in der Fruchtfolge (>33%)
 - ii) Kleiner Anteil Kulturen mit Abständen >25cm in der Säh-/Pflanzreihe (<18%)
 - iii) Mindestens einmal Winterbegrünung bis 15. Februar des Folgejahres
 - d) Identifikation von Risikoflächen an Hand der Erosionsrisikokarte (Bühler & Daniel, 2013)
 - e) Vermeidung Bodenabtrag aus Risikoböden (Problematik Schadstoffe (Cadmium, Zink, Kupfer), z.B. Rebbau)
 - f) Gezielte Massnahmen zur Verbesserung der Infiltration (z.B. Grubbereinsatz bis zwei Tage nach Kartoffelernte)
- 18) Einsatz von Biokohle zur Bodenverbesserung (Powlson, et al., 2011)
- 19) Thema Bewässerung (Fuhrer, 2012; Matile, Sauer, Fischer, & Berger, 2013; Mathys, 2010)
 - a) Bewässerung generell (konventionelles System)
 - b) Effizienzsteigerung Bewässerung (im Vergleich zur konventionellen Form)
 - i) Effiziente Applikationssysteme (Tröpfchenbewässerung, Unterkronenbewässerung, usw.)
 - ii) Sensorbasierte Defizitbewässerung (manuell), z.B. regulierte Defizitbewässerung (RDI)
 - iii) Bedarfsgesteuerte, automatische Bewässerung
 - iv) Kombination aus Steuerung und Applikation
 - c) Optimierung des Anbausystems
 - i) Anbau wenig bewässerungsbedürftiger/trockenresistenter Sorten
- 20) Entwässerung (Béguin & Smola, 2010)
 - a) Drainagen zur Vermeidung vernässter Böden
- 21) Standortangepasste Landwirtschaft (Stamm, Doppler, Prasuhn, & Singer, 2011)
 - a) Umwandlung von wenig produktivem Ackerland an gewässer-kritischen Stellen in Wiesland
- 22) Versicherungen (Finger, 2012; Fuhrer, 2014)
 - a) Hagelversicherung
 - b) Versicherung gegen Trockenheit
 - c) Ertragsversicherung
 - d) Wetter-Index-Versicherung
- 23) Bauliche Massnahmen (BAFU & BLW, 2011)
 - a) Tierfreundliche Stallhaltungssysteme
 - b) Sorgfältige Entsorgung der Abwässer
 - c) Hofplatz-Entwässerung in Güllegrube oder Biobed (nicht in Kanalisation)
 - d) Sorgfältige Lagerung von Hofdünger und wassergefährdenden Substanzen
- 24) Fütterung (Tierhaltung)
 - a) Fütterung mit Raufutter
 - b) Fütterung mit Silage/Safffutter
 - c) Fütterung mit Kraftfutter
 - d) Fütterung mit Fertigfuttermischungen
- 25) Sinnvolles Weidemanagement (BAFU & BLW, 2013a, Anhang A4)
 - a) Ertragsmaximierende Weiderotation
 - b) Weideintensität (Besatzstärke, Tierart, Tiertyp) an den Standort anpassen
 - c) keine Standweide bei mehr als 25% Hangneigung
 - d) zeitlich limitierter Weidegang bei Nässe bzw. bei Bildung von Trittlöchern
 - e) Rückzug der Tiere während dieser Periode in trittfeste Weiden
 - f) Umtriebsweide mit Kühen bis maximal 40% Neigung
 - g) Umtriebsweide mit Rindern und Pferden bis maximal 60% Neigung
 - h) Umtriebsweide mit Schafen und Ziegen bis maximal 80% Neigung
 - i) Auszäunen erosionsanfälliger Hangpartien
 - j) Umtriebsweide mit kurzer Besatzzeit, d. h. eine bis zwei Wochen Weidegang je nach Höhenlage

- k) Umtriebsweide mit langer Ruhezeit für den Wiederaufwuchs, d. h. drei bis sechs Wochen je nach Höhenlage
 - l) Tränke und Futterstellen periodisch verschieben
 - m) massvolle Düngung erosionsanfälliger Hänge
 - n) Förderung von Mischweiden, respektive Bestossung mit unterschiedlichen Tierkategorien (auf Sömmerungsweiden)
 - o) lange Ruhezeit, d. h. vier bis acht Wochen Ruhezeit für den Wiederaufwuchs je nach Höhenlage (auf Sömmerungsweiden)
 - p) Nur kurzes Überweiden mit Schafen (vier bis sechs Tage; in Grat- und Hochlagen mit langer Schneebedeckung)
 - q) Der Hangneigung angepasste Bewirtschaftung
- 26) Betriebssystem "konventionell"
 - 27) Betriebssystem "Bio"
 - 28) Betriebssystem "IP"
 - 29) Betriebssystem „Biologisch-dynamisch“
 - 30) Extenso
 - 31) Einhaltung der ÖLN-Auflagen (Bühler & Daniel, 2013, Tabelle 2)
 - 32) Einhaltung des Gewässerraumes gemäss revidierter Gewässerschutzverordnung (SR 814.201, 1998)
 - 33) Überbetriebliche Landnutzung (Geiger, Crole-Rees, & Daniel, 2011)
 - 34) Agroforstwirtschaft
 - 35) Kombination aus Gentechnik und Biolandbau (Bertermes, 2013)
 - 36) Aqua-Kultur
 - 37) Urban Farming, Vertical Farming
 - 38) Risk Mitigation Measures (RMM) im engeren Sinne/Risiko-mindernde Massnahmen Pflanzenschutzmittel (BAFU & BLW, 2013b; Knauer & Félix, 2012; Streloke, Fischer, Kula, Pucilek-Günther, & Smith, 2007)
 - a) Abdrift-mindernde Anwendungstechnik (z.B. driftreduzierende Düsen, Anti-Drift-Vorrichtung, keine Anwendung bei starkem Wind)
 - b) Keine Anwendung vor extremen Wetterereignissen
 - c) Keine Anwendung auf wassergesättigten Böden
 - d) PSM-Dosierung dem Blattvolumen angepasst
 - e) Sachgemässe Pflege, Überwachung, Reinigung der Spritzgeräte
 - f) vollständige Einarbeitung behandelten Saatguts
 - 39) Gewässerkonnektivität reduzieren/Verhindern hydraulischer Kurzschlüsse (Bühler & Daniel, 2013; Alder, Herweg, Liniger, & Prasuhn, 2013)
 - a) (Bewachsene) Pufferstreifen und ökologische Ausgleichsflächen am Feldrand
 - b) (Bewachsene) Pufferstreifen und ökologische Ausgleichsflächen im Feld
 - c) Verbreiterungen Puffer um Strassenentwässerungsschächte
 - d) Hecken parallel zum Hang
 - e) „Dämme“ oder andere Barrieren (Kartoffeln, Spargeln)
 - f) Förderung der natürlichen Versickerung
 - g) Künstliche, biologisch aktive Oberflächengewässer
 - h) Faschinen/Strohsocken
 - i) Beseitigung von Fahrspuren
 - j) Identifikation von Risikoflächen an Hand der Gewässeranschlusskarte

6.2 Qualitative Analyse (Excel-Sheet)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1				Ziele						
2				Zukunftsfähige gewässerschonende landwirtschaftliche Produktion in der Schweiz						
3				4. Naturnaher Zustand aquatischer Lebensräume						
4				a. Naturnaher Zustand der Oberflächengewässer						
5				1. Gute Vernetzung der Oberflächengewässer in der Landschaft	2. Erhalt der einheimischen aquatischen Vielfalt aquatischer Ökosysteme					
6										
7										
8						i. Keine Verchlammung	ii. Keine Trübung	iii. Keine Verfärbung	iv. Kein Schaum	v. Naturnaher Geruch
9										
10										
11										
12				Artik	el	Verzchlammung	Trübung	Verfärbung	Schaum	Geruch
13				Handlungsoptionen						
14				Kantone/Gemeinden						
15				Sonstige						
16				2) Auscheidung der Gewässerzonen gemäß revidierter Gewässerzonenverordnung	FI	(++)	0	0	0	0
17				3) Ausdehnung	MP	(+)	0	(-)(+)	(-)(+)	0
18				4) Wiedervernässung Feuchtwaldanteile	MP	(+)	0	0	0	0
19				5) Vergrößerung von Nutzflecken	Lu	0	0	0	0	0
20				a) Landwirtschaftliche Aufwertung degradierter Flächen	Lu	0	0	0	0	0
21				6) Raumplanerische Sicherung der Fruchtfolgeflächen	MP	(+)	0	0	0	0
22				7) Intensivierung der Landwirtschaft im Alpenraum	B1-4	(-)	0	(-)	(-)	(-)
23				8) Umwandlung von Ackerland in Grünland	MP	0	0	0	0	(-)
24				9) Förderung/Klärung von Drainageanlagen/Strassennetze/Straßenmatten/Straßen	MP	0	0	(+)	(+)	(+)
25				BetriebsEbene						
26				21) Standortgerechte Landwirtschaft						
27				k) Umwandlung unproduktiver Ackerlande an quäuzerkritischen Stellen in Wiesenland	MP	0	0	(+)	(+)	0
28				29) Gewässerkanalaktivität reduzieren/Verhindern hydraulischer Kurzschlüsse						
29				a) (Bauschneise) Pufferstreifen und ökologische Ausgleichflächen am Feldrand	FI	(+)	0	(+)	(+)	0
30				b) (Bauschneise) Pufferstreifen und ökologische Ausgleichflächen im Feld	FI	0	0	(+)	(+)	0
31				c) Verbreiterungen Puffer am Strassennetz/Anlagenerschichte	FI	0	0	(+)	(+)	(+)
32				d) Hecken parallel zum Hang	FI	0	0	(+)	(+)	0
33				e) Dämme oder andere Barrieren	FI	?	?	?	?	?
34				f) Sickergräben	FI	0	0	?	?	?
35				g) Rückhaltebecken	FI	(+)	0	(-)(+)	(-)(+)	?
36				h) Künstliche, ökologische aktive Oberflächengewässer	FI	?	?	?	?	?
37				i) Furchen/Stralackon	MP	0	0	0	0	0
38				j) Blinde Drainagen (Sickerleitungen ohne Anschluss an Oberflächengewässer)	FI	0	0	?	?	?
39				k) Verriegeln von Drainage/Kontrollschichten	FI	0	0	?	?	?
40				l) Vermeidung geräuschvoller/geräuschvoller Run-off	FI	0	0	(+)	?	(+)
41										
42				Wasserwerkung	FI	(+)	(+)	(+)	(+)	0
43				<i>Wasser-Messung/Qualität</i>	Option wählen...	Option wählen...	Option wählen...	Option wählen...	Option wählen...	Option wählen...
44										

6.3 Qualitative Analyse (detailliert)

Für jede aus der qualitativen Analyse herausgefilterte Kategorie sind im Folgenden die dazugehörigen spezifischen Handlungsoptionen aufgeführt.

1. Konfliktfreie Handlungsoptionen:

- 13a: Düngung; Vermeidung unnötiger Düngung/Berücksichtigung der Nährstoffvorräte im Boden
- 13b: Düngung; Gülleausbringung mit Schleppschauch/-schuh / Gülleverschlauchung
- 14piv: Pflanzenschutz; Pflanzenschutzstrategien aus der SustainOS-Methode (Apfelanbau); Anbausystem „Innovative“
- 25c: Sinnvolles Weidemanagement; keine Standweide bei mehr als 25% Hangneigung
- 25e: Sinnvolles Weidemanagement; Rückzug der Tiere bei Nässe in trittfeste Weiden
- 25f: Sinnvolles Weidemanagement; Umtriebsweide mit Kühen bis maximal 40% Neigung
- 25g: Sinnvolles Weidemanagement; Umtriebsweide mit Rindern und Pferden bis maximal 60% Neigung
- 25h: Sinnvolles Weidemanagement; Umtriebsweide mit Schafen und Ziegen bis maximal 80% Neigung
- 25n: Sinnvolles Weidemanagement; Förderung von Mischweiden, respektive Bestossung mit unterschiedlichen Tierkategorien (auf Sömmerungsweiden)
- 25o: Sinnvolles Weidemanagement; lange Ruhezeit, d. h. vier bis acht Wochen Ruhezeit für den Wiederaufwuchs je nach Höhenlage (auf Sömmerungsweiden)
- 25p: Sinnvolles Weidemanagement; nur kurzes Überweiden mit Schafen (vier bis sechs Tage; in Grat- und Hochlagen mit langer Schneebedeckung)

2a. Handlungsoptionen die Konflikte innerhalb der Ziele der Agrarproduktion verursachen:

- 2: Ausscheidung des Gewässerraumes gemäss revidierter Gewässerschutzverordnung
- 3: Wiedervernässung Feuchtstandorte
- 6: Raumplanerische Sicherung der Fruchtfolgeflächen
- 10a: Wahl der Anbaukultur; Mehr Ackerbau, weniger Grünland
- 10b: Wahl der Anbaukultur; Mehr Obstbau, weniger Grünland
- 10c: Wahl der Anbaukultur; Weniger Gemüse, mehr Ackerbau im Schweiz-typischen Mix
- 11e: Ökologische Ausgleichsflächen; Hochstamm-Feldobstbäume
- 11hi2: Ökologische Ausgleichsflächen; Wiesen; Kunstwiesen; Grösserer Anteil Kunstwiesen mit hohem Kleeanteil (>50%)
- 11hii1: Ökologische Ausgleichsflächen; Wiesen; Dauerwiesen; Höherer Anteil intensiv genutzter Dauerwiesen
- 11hii2: Ökologische Ausgleichsflächen; Wiesen; Dauerwiesen; Höherer Anteil von wenig intensiv genutzten Dauerwiesen
- 11hii3: Ökologische Ausgleichsflächen; Wiesen; Dauerweisen; Höherer Anteil von extensiv genutzten Dauerwiesen
- 12a: Wahl der Nutztierart; Weniger Geflügelmast
- 12b: Wahl der Nutztierart; Weniger Rindermast (mit intensiver Fütterung)
- 12c: Wahl der Nutztierart; Weniger Milchviehhaltung (ohne etwas anderes zu machen)
- 12d: Wahl der Nutztierart; Weniger Schweinehaltung (in viehdichten Regionen, ohne etwas anderes zu machen)
- 13e: Düngung/Nährstoffmanagement; Fertigation (Ausbringen von Dünger via Bewässerungssystem)
- 14b: Pflanzenschutz; Verzicht auf Neonicotinoide
- 14c: Pflanzenschutz; Vermeidung unnötigen Einsatzes Pflanzenschutzmittel (Schadschwellenprinzip)
- 14i: Pflanzenschutz; Verzicht auf PSM-intensive Kulturen
- 14j: Pflanzenschutz; Biologische Schädlingsbekämpfung (Nützlinge)
- 14k: Pflanzenschutz; Biologische Schädlingsbekämpfung (Mikroorganismen)

- 14l: Pflanzenschutz; Biotechnologische Pflanzenschutzmittel (Einsatz von Pheromonen)
- 14m: Pflanzenschutz; Physikalischer Pflanzenschutz (Netze, Fallen, Akustik)
- 14pii: Pflanzenschutz; Pflanzenschutzstrategien aus der sustainOS-Methode (Apfelanbau); Anbausystem „Advanced I“
- 14piii: Pflanzenschutz; Pflanzenschutzstrategien aus der sustainOS-Methode (Apfelanbau); Anbausystem „Advanced II“
- 16a: Bodenbearbeitung/-bewirtschaftung; der Witterung angepasste Bodenbearbeitung
- 16b: Bodenbearbeitung/-bewirtschaftung; Pflügen des Bodens in Kontur-Richtung/Bewirtschaftung quer zum Hang/höhenlinienparallel
- 16d: Bodenbearbeitung/-bewirtschaftung; Reduzierte Bodenbearbeitung/Pflugloser Anbau
- 16di: Bodenbearbeitung/-bewirtschaftung; Mulchen/Mulchsaat
- 16dii: Bodenbearbeitung/-bewirtschaftung; Direktsaat
- 16diii: Bodenbearbeitung/-bewirtschaftung; Streifensaats/Streifenfrässsaat
- 17a: Erosionsschutz/Verminderung des Effekts von Erosion; gute Uferbestockung, Hecken, Trockenmauern u.a. Landschaftselemente
- 17b: Erosionsschutz/Verminderung des Effekts von Erosion; genügend breite Pufferzonen
- 17bi: Erosionsschutz/Verminderung des Effekts von Erosion; genügend breite Pufferzonen; Mindestens 3m breiter Pufferstreifen entlang von Wegen bei offener Ackerfläche
- 17ci: Erosionsschutz/Verminderung des Effekts von Erosion; Fruchtfolge optimiert für den Erosionsschutz; Hoher Anteil Kunstwiese in der Fruchtfolge (>33%)
- 17cii: Erosionsschutz/Verminderung des Effekts von Erosion; Fruchtfolge optimiert für den Erosionsschutz; Kleiner Anteil Kulturen mit Abständen >25cm in der Sä-/Pflanzreihe (<18%)
- 17d: Erosionsschutz/Verminderung des Effekts von Erosion; Identifikation von Risikoflächen an Hand der Erosionsrisikokarte
- 17f: Erosionsschutz/Verminderung des Effekts von Erosion; Gezielte Massnahmen zur Verbesserung der Infiltration (z.B. Grubbereinsatz bis zwei Tage nach Kartoffelernte)
- 18: Einsatz von Biokohle zur Bodenverbesserung
- 19bi: Thema Bewässerung; Effizienzsteigerung Bewässerung (im Vergleich zur konventionellen Form); Effiziente Applikationssysteme (Tropfbewässerung, Unterkronebewässerung, usw.)
- 19bii: Thema Bewässerung; Effizienzsteigerung Bewässerung (im Vergleich zur konventionellen Form); Sensorbasierte Defizitbewässerung (manuell)
- 19biii: Thema Bewässerung; Effizienzsteigerung Bewässerung (im Vergleich zur konventionellen Form); Bedarfsgesteuerte, automatische Bewässerung
- 19biv: Thema Bewässerung; Effizienzsteigerung Bewässerung (im Vergleich zur konventionellen Form); Kombination aus Steuerung und Applikation
- 21a: Standortangepasste Landwirtschaft; Umwandlung wenig produktiven Ackerlands an gewässerkritischen Stellen in Wiesland
- 23a: Bauliche Massnahmen; Tierfreundliche Stallhaltungssysteme
- 25a: Sinnvolles Weidemanagement; Ertragsmaximierende Weiderotation
- 25d: Sinnvolles Weidemanagement; zeitlich limitierter Weidegang bei Nässe bzw. bei Bildung von Trittlöchern
- 25i: Sinnvolles Weidemanagement; Auszäunen erosionsanfälliger Hangpartien
- 25j: Sinnvolles Weidemanagement; Umtriebsweide mit kurzer Besatzzeit, d.h. eine bis zwei Wochen Weidegang je nach Höhenlage
- 25k: Sinnvolles Weidemanagement; Umtriebsweide mit langer Ruhezeit für den Wiederaufwuchs, d.h. drei bis sechs Wochen je nach Höhenlage
- 25l: Sinnvolles Weidemanagement; Tränke und Futterstellen periodisch verschieben
- 25m: Sinnvolles Weidemanagement; Massvolle Düngung erosionsanfälliger Hänge
- 25q: Sinnvolles Weidemanagement; Weidemanagement der Hangneigung anpassen
- 27: Betriebssystem „Bio“
- 28: Betriebssysteme „IP“
- 29: Betriebssystem „Biologisch-dynamisch“
- 30: Extenso
- 31: Einhaltung der ÖLN-Auflagen

- 34: Agroforstwirtschaft
- 38a: Risikomindernde Massnahmen Pflanzenschutzmittel; Abdrift-mindernde Anwendungstechnik (z.B. driftreduzierende Düsen, Anti-Drift-Vorrichtung, keine Anwendung bei starkem Wind)
- 38b: Risikomindernde Massnahmen Pflanzenschutzmittel; Keine Anwendung vor extremen Wetterereignissen
- 38c: Risikomindernde Massnahmen Pflanzenschutzmittel; Keine Anwendung auf wassergesättigten Böden
- 38f: Risikomindernde Massnahmen Pflanzenschutzmittel; vollständige Einarbeitung behandelten Saatgutes
- 39a: Gewässerkonnektivität reduzieren/Verhindern hydraulischer Kurzschlüsse; (Bewachse- ne) Pufferstreifen und ökologische Ausgleichsflächen am Feldrand
- 39b: Gewässerkonnektivität reduzieren/Verhindern hydraulischer Kurzschlüsse; (Bewachse- ne) Pufferstreifen und ökologische Ausgleichsflächen im Feld
- 39c: Gewässerkonnektivität reduzieren/Verhindern hydraulischer Kurzschlüsse; Verbreiterun- gen Puffer um Strassenentwässerungsschächte
- 39d: Gewässerkonnektivität reduzieren/Verhindern hydraulischer Kurzschlüsse; Hecken paral- lel zum Hang
- 39e: Gewässerkonnektivität reduzieren/Verhindern hydraulischer Kurzschlüsse; Dämme oder andere Barrieren
- 39g: Gewässerkonnektivität reduzieren/Verhindern hydraulischer Kurzschlüsse; Künstliche, biologisch aktive Oberflächengewässer

2b. Handlungsoptionen die Konflikte innerhalb der Ziele des Gewässerschutzes verursachen:

- 14e: Pflanzenschutz; Saatgut-Beizung

2c. Handlungsoptionen die Konflikte in beiden Teilzielbereichen verursachen:

- 8: Umwandlung von Ackerland in Grünland
- 13h: Düngung/Nährstoffmanagement; CULTAN-Düngung (Controlled Uptake Long Term Am- monia Nutrition)
- 14d: Pflanzenschutz; Einsatz von Kupfer im Pflanzenschutz (Bio)
- 14di: Pflanzenschutz; Verzicht auf Kupfer im Pflanzenschutz
- 15a: Einsatz von Veterinärpharmaka; Vermeidung unnötigen Einsatzes von Veterinärpharma- ka
- 19a: Thema Bewässerung; Bewässerung generell (traditionelles System)
- 20a: Entwässerung; Drainagen zur Vermeidung vernässter Böden

2d. Handlungsoptionen die Konflikte zwischen den Teilzielbereichen:

- 1a: Revitalisierung; Aufweitung grosser Fliessgewässer über weite Strecken
- 1b: Revitalisierung; Lokale Aufweitung grosser Fliessgewässer
- 1c: Revitalisierung; Aufweitung kleiner Fliessgewässer (Uferverbauungen entfernen)
- 1d: Revitalisierung; Ausdolung kleiner Fliessgewässer
- 4: Sonstiges; Vergrösserung landwirtschaftliche Nutzfläche
- 7: Sonstiges; Intensivierung der Landwirtschaft im Alpenraum (mehr Tiere pro Fläche)
- 11a: Ökologische Ausgleichsflächen; Massive Ausdehnung der Ackerschonstreifen, bevorzug- te Anlage entlang von Gewässern
- 11b: Ökologische Ausgleichsflächen; Ausdehnung von Buntbrachen, bevorzugte Anlage ent- lang von Gewässern
- 11c: Ökologische Ausgleichsflächen; Ausdehnung von Rotationsbrachen; bevorzugte Anlage entlang von Gewässern
- 11d: Ökologische Ausgleichsflächen; Massive Ausdehnung von Säumen auf Ackerflächen, bevorzugte Anlage entlang von Gewässern

- 11f: Ökologische Ausgleichsflächen; mehr Ufergehölze
- 13d: Düngung/Nährstoffmanagement; Anbau stickstoff-fixierender Kulturen
- 13f: Düngung/Nährstoffmanagement; Düngung mit Hofdünger
- 13g: Düngung/Nährstoffmanagement; Düngung mit Mineraldüngern
- 13i: Düngung/Nährstoffmanagement; Durchschnittliche organische Düngung von mindestens 2 Tonnen pro Hektare und Jahr (Mist, Kompost, Strohdüngung gemäss Feldkalender)
- 16b: Bodenbearbeitung/-bewirtschaftung; Pflügen
- 24a: Fütterung (Tierhaltung); Fütterung mit Raufutter
- 24b: Fütterung (Tierhaltung); Fütterung mit Silage/Saffutter
- 24c: Fütterung (Tierhaltung); Fütterung mit Kraftfutter
- 24d: Fütterung (Tierhaltung); Fütterung mit Fertigfuttermischungen
- 39j: Gewässerkonnektivität reduzieren/Verhindern hydraulischer Kurzschlüsse; Identifikation von Risikoflächen an Hand der Gewässeranschlusskarte

3. Forschungslücken:

- 5: Landwirtschaftliche Aufwertung degradierter Flächen, Urbarmachung
- 9: Förderung Klärung von Drainagenwasser/Strassenmeteorwasser
- 11g: Ökologische Ausgleichsflächen; Streuefläche
- 11hi1: Ökologische Ausgleichsflächen; Wiesen; Kunstwiesen; Grosser Anteil Kunstwiesen mit hohem Anteil Gräser (>70%)
- 13c: Düngung; Stickstoff-effiziente Fruchtfolge / Nährstoff-effiziente Fruchtfolge
- 14a: Pflanzenschutz; Wahl des eingesetzten PSM-Produkts
- 14f: Pflanzenschutz; Einsatz von Granulaten
- 14g: Pflanzenschutz; Fruchtfolge optimiert für den Pflanzenschutz
- 14h: Pflanzenschutz; Anbau schädlings-/krankheitsresistenter Sorten
- 14n: Pflanzenschutz; Hagelnetz im Kernobstbau
- 14o: Pflanzenschutz; Regendach/Vogelschutz im Steinobstbau
- 16h: Bodenbearbeitung/-bewirtschaftung; Anbau bodendeckender Kulturen (im Winter/als Zwischenkultur)
- 16i: Bodenbearbeitung/-bewirtschaftung; Anlegung von Saatbetten mit grober Struktur
- 16j: Bodenbearbeitung/-bewirtschaftung; Angepasster Maschinenpark
- 16ji: Bodenbearbeitung/-bewirtschaftung; Angepasster Maschinenpark; Keine zapfwellenangetriebenen Bodenbearbeitungsgeräte
- 16k: Bodenbearbeitung/-bewirtschaftung; Vermeidung von Verdichtung
- 16l: Bodenbearbeitung/-bewirtschaftung; Geeignete Wahl der Zu- und Abfahrt der Parzellen
- 17c: Erosionsschutz/Verminderung des Effekts von Erosion; Fruchtfolge optimiert für den Erosionsschutz
- 17ciii: Erosionsschutz/Verminderung des Effekts von Erosion; Fruchtfolge optimiert für den Erosionsschutz; Mindestens einmal Winterbegrünung bis 15. Februar des Folgejahres
- 17e: Erosionsschutz/Verminderung des Effekts von Erosion; Vermeidung Bodenabtrag aus Risikoböden (Problematik Schadstoffe (Cadmium, Zink, Kupfer), z.B. Rebbau)
- 19ci: Thema Bewässerung; Optimierung des Anbausystems; Anbau wenig bewässerungsbedürftiger/trockenresistenter Sorten
- 22a: Versicherungen; Hagelversicherung
- 22b: Versicherungen; Versicherung gegen Trockenheit
- 22c: Versicherungen; Ertragsversicherung
- 22d: Versicherungen; Wetter-Index-Versicherung
- 23b: Bauliche Massnahmen; Sorgfältige Entsorgung der Abwässer
- 23c: Bauliche Massnahmen; Hofplatz-Entwässerung in Güllegrube oder Biobed (nicht in Kanalisation)
- 23d: Bauliche Massnahmen; Sorgfältige Lagerung von Hofdünger und wassergefährdenden Substanzen
- 25b: Sinnvolles Weidemanagement; Weideintensität (Besatzstärke, Tierart, Tiertyp) an den Standort anpassen

- 26: Betriebssystem „konventionell“
- 32: Einhaltung des Gewässerraumes gemäss revidierter Gewässerschutzverordnung
- 33: Überbetriebliche Landnutzung
- 35: Kombination aus Gentechnik und Biolandbau
- 36: Aqua-Kultur
- 37: Urban Farming, Vertical Farming
- 38d: RMM i.e.S.; PSM-Dosierung dem Blattvolumen angepasst
- 38e: RMM i.e.S.; Sachgemässe Pflege, Überwachung, Reinigung der Spritzgeräte
- 39f: Gewässerkonnektivität reduzieren/Verhindern hydraulischer Kurzschlüsse; Ausnutzen der natürlichen Versickerungsmöglichkeiten, z.B. durch Sickerschächte, Sickergräben
- 39h: Gewässerkonnektivität reduzieren/Verhindern hydraulischer Kurzschlüsse; Faschinen/Strohsocken
- 39i: Gewässerkonnektivität reduzieren/Verhindern hydraulischer Kurzschlüsse; Beseitigung von Fahrspuren

6.4 Quantitative Vorhersage (Daten)

Attribut	Verteilungstyp	Ist-Zustand			Direktsaat			Min	Max
		Mittelwert	Standardabweichung	Referenz/ Erläuterung	Mittelwert	Standardabweichung	Referenz/ Erläuterung		
Selbstversorgung_Prozent	NormalTrunc	55	1.5	BLW, 2014a; Schätzung ausgehend von 2012	55	3	Schaller, Nemecek, Streit, & Zihlmann, 2006; Obenauf, Borchardt, Lubkowitz, & Kock, 2013	0	100
Produktionsschwankungen_Prozent	NormalTrunc	1.36	0.1	s.o.	2	0.5	Dübendorfer, Fu, Tratschin, & Spycher, 2015; TOPPS, 2013	0	10
Produktionsspektrum_Indikator	NormalTrunc	2.72	0.5	BLW, 2014a; Schweizerische Gesellschaft für Ernährung (SGE), 2014	2.72	1	Annahme: gleich wie Ist-Zustand	0	5
AnteilBeanstandChem_Prozent	NormalTrunc	5	5	Philipp Hübnner & Michel Geinoz, pers. Komm	5	7	Fusarien-Problematik	0	100
AnteilBeanstandBio_Prozent	NormalTrunc	3	5	s.o.	3	7	Fusarien-Problematik	0	100
Interventionen_MilliardenCHF.pro.Jahr	NormalTrunc	3.7	0.05	BLW, 2014a	3.74	0.1	SR 910.13, 2015; Schoop & Fischler, 2014	0	7.4
Produktionskosten_MilliardenCHF.pro.Jahr	NormalTrunc	10.2	0.25	BFS, 2014	10.2	0.5	Annahme: gleich wie Ist-Zustand	9	11

Schlussbericht zum Projekt AProWa

Produkte- lös_MilliardenCHF.pro.Jahr	NormalTrunc	13.1	0.25	s.o.	13.1	0.5	Chervet, Schwarz, & Sturny, 2008	12	14
Arbeitszeit_Std.pro.Woche	NormalTrunc	60	10	BLW, 2013; Schätzung ausgehend von 2012	59	10	Chervet, Schwarz, & Sturny, 2008	38.5	80
SchwankungenArbeitsver- dienst_CHF	NormalTrunc	1539	250	BLW, 2014a	1600	500	s.o.	0	3000
Genet.Vielfalt_Prozent	NormalTrunc	77	10	BLW & Schweiz. Kommission f.d. Erh. v. Kulturpf. (SKEK), Kulturen im NAP, 2015; BLW, 1998; BLW, 2002	77	10	Annahme: gleich wie Ist- Zustand	0	100
Verl.LN_ha.pro.Jahr	NormalTrunc	1900	300	BLW, 2011	1900	300	s.o.	0	4000
Verl.alpw.Flächen_ha.pro.Jahr	NormalTrunc	1470	300	s.o.	1470	300	s.o.	0	4000
Bodenab- trag.flach_t.pro.ha.und.Jahr	NormalTrunc	2	5	Prasuhn, 2009; Kanton Solothurn, 2015	1	7	Dübendorfer, Fu, Tratschin, & Spycher, 2015	0	20
Bodenabtrag.tief_t.pro.ha.und.Jahr	NormalTrunc	2	5	s.o.	1	7	s.o.	0	20
TiefeWasserspiegelAcker_cm	NormalTrunc	140	50	18% der LN drainiert, 70% der FFF	140	50	Annahme: gleich wie Ist- Zustand	0	300
TiefeWasserspiegelGruen_cm	NormalTrunc	120	50	s.o.	120	50	s.o.	0	300
Grobporenvol_VolProzent	NormalTrunc	12	7	Schwab, et al., 2006	17	10	Schaller, Nemecek, Streit, & Zihlmann, 2006	0	25
Aggregatstab_g.pro.g	NormalTrunc	0.7	0.4	Burri, 2006	0.7	0.4	s.o.	0	1
Humusbilanz_kg.pro.ha.und.Jahr	NormalTrunc	150	400	BLW, 2014a	150	400	Chervet, Schwarz, & Sturny, 2008	-1500	2500
PGehalt_mgP2O5.pro.100g.Boden	NormalTrunc	0.6	0.4	Bolliger & Kneubühler, 2000	0.6	0.6	Annahme: gleich wie Ist- Zustand	0	2.5
Konz.Cadmium_mg.pro.kg	NormalTrunc	0.1	0.05	NABO, 1999	0.1	0.05	s.o.	0	50
Konz.Kupfer_mg.pro.kg	NormalTrunc	50	30	s.o.	50	30	s.o.	0	1500
Konz.Zink_mg.pro.kg	NormalTrunc	130	30	s.o.	130	30	s.o.	0	3000
Konz.Blei_mg.pro.kg	NormalTrunc	40	15	s.o.	40	15	s.o.	0	3000
GehaltPCDD.F_ITEQ.pro.kg	NormalTrunc	2	1.5	s.o.	2	1.5	s.o.	0	1500
GehaltPAK_mg.pro.kg	NormalTrunc	0.8	0.5	s.o.	0.8	0.5	s.o.	0	1500
GehaltPCB_mg.pro.kg	NormalTrunc	0.05	0.03	s.o.	0.05	0.03	s.o.	0	5
Regenwurmbiom_g.pro.m2	NormalTrunc	30	20	Scheffer & Schachtscha	50	30	Schaller, Nemecek,	0	300

Schlussbericht zum Projekt AProWa

				bel, 1992			Streit, & Zihlmann, 2006; Chervet, Schwarz, & Sturny, 2008		
Mikr.Biom._mgC.pro.kg	NormalTrunc	1500	1000	BAFU & Agroscope, 2007	1500	1000	Annahme: gleich wie Ist-Zustand	0	3500
Basalatm._mgC.pro.h.und.kg	NormalTrunc	1.1	0.5	s.o.	1.1	0.5	s.o.	0	2.5
Vernetzung_Prozent	NormalTrunc	45	5	Schätzung	45	5	s.o.	0	100
Gen.Vielfalt_Prozent.Neobiota	NormalTrunc	85	30	s.o.	85	30	s.o.	0	100
GSBREITE	NormalTrunc	2	0.1	Daten AWEL, Stelle 168	2	0.1	s.o.	0	10
EINDOL	Discrete	0	1	s.o.	0	1	s.o.		
VNATABST	Discrete	0	1	s.o.	0	1	s.o.		
BREITENVAR	Discrete	3	1	s.o.	3	1	s.o.		
TIEFENVAR	Discrete	3	1	s.o.	3	1	s.o.		
SOHLVER	Discrete	5	1	s.o.	5	1	s.o.		
SOHLMAT	Discrete	5	1	s.o.	5	1	s.o.		
LBUKVER	Discrete	6	1	s.o.	6	1	s.o.		
RBUKVER	Discrete	6	1	s.o.	6	1	s.o.		
LBUKMAT	Discrete	5	1	s.o.	5	1	s.o.		
RBUKMAT	Discrete	5	1	s.o.	5	1	s.o.		
LUFBEBRE	Lognormal	5	0.25	s.o.	5	0.25	s.o.		
RUFBEBRE	Lognormal	5	0.25	s.o.	5	0.25	s.o.		
LUFERBER	Discrete	2	1	s.o.	2	1	s.o.		
RUFERBER	Discrete	2	1	s.o.	2	1	s.o.		
LUFBEBEW	Discrete	1	1	s.o.	1	1	s.o.		
RUFBEBEW	Discrete	1	1	s.o.	1	1	s.o.		
BEWALGEN	Discrete	3	1	s.o.	3	1	s.o.		
BEWMAKRO	Discrete	1	1	s.o.	1	1	s.o.		
TOTHOLZ	Discrete	3	1	s.o.	3	1	s.o.		
TfuerNH4	Lognormal	15	1	s.o.	15	1	s.o.		
NH4_N_korr	Lognormal	0.07	0.014	s.o.	0.05	0.02	Dübendorfer, Fu, Tratschin, & Spycher, 2015; Schaller, Nemecek, Streit, & Zihlmann, 2006		
NO3_N	Lognormal	11.9	1	s.o.	10	2	s.o.		
NO2_N_korr	Lognormal	0.008	0.0016	s.o.	0.008	0.002	Annahme: gleich wie Ist-Zustand		
Cl_Median	Lognormal	80.89	16.178	s.o.	80.89	16.178	s.o.		
PO4_P	Lognormal	0.05	0.01	s.o.	0.04	0.02	Dübendorfer,		

Schlussbericht zum Projekt AProWa

							Fu, Tratschin, & Spycher, 2015; Schaller, Nemecek, Streit, & Zihlmann, 2006		
Ges_P	Lognormal	0.13	0.065	s.o.	0.1	0.08	s.o.		
DOC	Lognormal	4.3	0.86	s.o.	4	1	s.o.		
Organophosphate	Discrete	schlecht	unbefriedigend	s.o.	unbefriedigend	schlecht	s.o.	0.7	0.3
Photosynthlnh	Discrete	schlecht	unbefriedigend	s.o.	unbefriedigend	schlecht	s.o.	0.7	0.3
Chloroazetanilide	Discrete	sehr gut	gut	s.o.	sehr gut	gut	s.o.	0.7	0.3
Auxinaktivitaet	Discrete	sehr gut	gut	s.o.	sehr gut	gut	s.o.	0.7	0.3
ibch	Lognormal	12	3	s.o.	12	5	Annahme: gleich wie Ist- Zustand		
diatindex	Lognormal	5.09	0.2545	s.o.	5.09	0.5	Annahme: gleich wie Ist- Zustand		
SPEAR	Lognormal	27.6	5	s.o.	30	7	Dübendorfer, Fu, Tratschin, & Spycher, 2015; Schaller, Nemecek, Streit, & Zihlmann, 2006		
A_hetero_Bew	Discrete	2	1	s.o.	2	1	gleich wie Ist- Zustand		
C_hetero_Bew	Discrete	0	1	s.o.	0	1	s.o.		
A_SulfidFlecken	Discrete	2	1	s.o.	2	1	s.o.		
C_SulfidFlecken	Discrete	0	1	s.o.	0	1	s.o.		
A_Schlamm	Discrete	1	1	s.o.	1	1	s.o.		
C_Schlamm	Discrete	0	1	s.o.	0	1	s.o.		
A_Schaum	Discrete	2	1	s.o.	2	1	s.o.		
C_Schaum	Discrete	0	1	s.o.	0	1	s.o.		
A_Truebung	Discrete	1	1	s.o.	1	1	s.o.		
C_Truebung	Discrete	0	1	s.o.	0	1	s.o.		
A_Verfaerbung	Discrete	1	1	s.o.	1	1	s.o.		
C_Verfaerbung	Discrete	0	1	s.o.	0	1	s.o.		
A_Kolmation	Discrete	2	1	s.o.	1	1	Weniger Ero- sion		
C_Kolmation	Discrete	0	1	s.o.	0	1	s.o.		
A_Feststoffe_SE	Discrete	1	1	s.o.	1	1	gleich wie Ist- Zustand		
A_ueb_Feststoffe	Discrete	1	1	s.o.	1	1	s.o.		
A_nat_Feststoffe	Discrete	1	1	s.o.	1	1	s.o.		

Schlussbericht zum Projekt AProWa

A_Geruch	Discrete	2	1	s.o.	2	1	s.o.		
C_Geruch	Discrete	Abwasser	1	s.o.	Abwasser	1	s.o.		
A_Totholz	Discrete	1	1	s.o.	1	1	s.o.		
Cd	Lognormal	0.65	0.1625	s.o.	0.65	0.2	s.o.		
Cr	Lognormal	49.5	12.375	s.o.	49.5	13	s.o.		
Cu	Lognormal	87.7	21.925	s.o.	87.7	21	s.o.		
Hg	Lognormal	0.28	0.07	s.o.	0.28	0.08	s.o.		
Ni	Lognormal	33.6	8.4	s.o.	33.6	9	s.o.		
Pb	Lognormal	76.5	19.125	s.o.	76.5	20	s.o.		
Zn	Lognormal	333	83.25	s.o.	333	84	s.o.		
Nat.Fischdurchhäng_Wert	NormalTrunc	0.7	0.5	Schätzung	0.7	0.5	s.o.	0	1
Gut.Vernetzung_Wert	NormalTrunc	0.7	0.5	s.o.	0.7	0.5	s.o.	0	1
Ökol.ZustandSeen_Wert	NormalTrunc	0.7	0.2	s.o.	0.7	0.2	s.o.	0	1
Ökol.ZustandKleingew_Wert	NormalTrunc	0.3	0.2	s.o.	0.3	0.25	s.o.	0	1
Ökol.ZustandGW_Wert	NormalTrunc	0.55	0.25	s.o.	0.55	0.3	s.o.	0	1

6.5 Involvierte Personen

Die Mitglieder des AProWa-Projektteams waren für das BLW Ruth Badertscher (FB Agrarumweltsysteme und Nährstoffe), als Projektoberleiterin Eva Reinhard (Leiterin Direktionsbereich (DB) Produktionssysteme und natürliche Ressourcen und stellvertretende Direktorin des BLW), sowie Hans-Ulrich Tagmann (FB Pflanzliche Produkte), Markus Wildisen (FB Agrarökonomie, Raum und Strukturen, vorher FB Meliorationen) und Pascal Zaffarano (DB Produktionssysteme und natürliche Ressourcen). Für die Eawag war Rik Eggen (stellvertretender Direktor der Eawag) als Projektoberleiter, sowie Judit Lienert (Abteilung Umweltsozialwissenschaften), Eric Rahn (Abteilung Umweltchemie, wissenschaftlicher Mitarbeiter AProWa), Katja Räsänen (Abteilung Aquatische Ökologie), Kristin Schirmer (Abteilung Umwelttoxikologie) und Christian Stamm (Abteilung Umweltchemie) involviert. Agroscope wurde durch Otto Daniel (Gruppe Ökotoxikologie), Jürg Fuhrer (Gruppe Lufthygiene, Klima) und Volker Prasuhn (Bereich Gewässerschutz) vertreten.

Zur Diskussion über die Ziele der gewässerschonenden Landwirtschaft haben wir zusätzlich Simon Briner (Mitarbeiter Direktion), Christian Eigenmann (FB Genetische Ressourcen und Technologien), Franziska Grossenbacher (FB Direktzahlungsprogramme), Peter Latus (FB Pflanzengesundheit und Sorten), Markus Richner Kalt (vorher FB Allgemeine Direktzahlungen) vom BLW, Tomas Nemecek (Gruppe Ökobilanzen, Reckenholz), Peter Weisskopf (Gruppe Bodenfruchtbarkeit/Bodenschutz, Reckenholz) von Agroscope und Sabine Hoffmann (Abteilung Wasserressourcen und Trinkwasser) von der Eawag kontaktiert.

Die qualitative Vorhersage wurde jeweils für einen Teil der Handlungsoptionen auch von Olivier Félix (FB Nachhaltiger Pflanzenschutz), Markus Hardegger (FB Genetische Ressourcen und Technologien), Stefanie Knauer (FB Nachhaltiger Pflanzenschutz), Hanspeter Lüthi (FB Tierische Produkte und Tierzucht), Susanne Menzel (FB Agrarökonomie, Raum und Strukturen), Andreas Schild (FB Meliorationen), Louis Tamborini (FB Produktionssicherheit und Tierernährung) vom BLW und von Hans-Ulrich Gujer (Sektion Landschaftsmanagement) vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) durchgeführt.

6.6 Danksagung

Wir danken den Mitgliedern des Projektteams und weiteren Expertinnen und Experten des BLW (Ruth Badertscher, Simon Briner, Christian Eigenmann, Olivier Félix, Franziska Grossenbacher, Markus Hardegger, Katja Knauer, Stefanie Knauer, Peter Latus, Hanspeter Lüthi, Susanne Menzel, Eva Reinhard, Markus Richner Kalt, Andreas Schild, Hans-Ulrich Tagmann, Louis Tamborini, Markus Wildisen), der Eawag (Rik Eggen, Sabine Hoffmann, Judit Lienert, Eric Rahn, Katja Räsänen, Kristin

Schirmer, Jacqueline Schlosser, Nele Schuwirth, Peter Reichert), von Agroscope (Otto Daniel, Jürg Fuhrer, Thomas Nemecek, Volker Prasuhn, Peter Weisskopf) und des BAFU (Hugo Aschwanden, Hans-Ulrich Gujer, Christian Leu) für zielführende Diskussionen und die gute Zusammenarbeit.

6.7 Glossar

Begriff	Bedeutung
Aggregation	Für die Bewertung des Gesamtsystems müssen die Vorhersagen für alle Attributwerte der Ziele auf der untersten Ebene der Zielhierarchie miteinander verrechnet werden. Damit kommt man zu einer Bewertung eine Ebene höher in der Zielhierarchie und letztlich auf eine Einschätzung, in wie weit das Ziel auf der obersten Ebene erreicht wird. Dazu braucht es eine Aggregation der Werte der Wertfunktionen, die alle zwischen 0 und 1 liegen. Es gibt verschiedene Aggregationstypen, eine mögliche ist beispielsweise die additive Aggregation mit gleichen Gewichten, also der Mittelwert.
Attribut	(auch: Zielvariable, Indikator) Ein Attribut misst, wie gut ein Ziel erreicht wird (z.B.: Kosten in CHF/Jahr für die Messung des Ziels „Geringe Kosten“). Jedes Ziel auf der niedrigsten Ebene der Zielhierarchie braucht ein Attribut.
Gewicht	Den zu einem Ziel gehörigen Unterzielen auf einer Ebene der Zielhierarchie können Gewichte gegeben werden, die bei der Aggregation eine Präferenz zwischen den verschiedenen Zielen angeben. Bei einer additiven Aggregation resultiert dies in einen gewichteten Mittelwert.
Handlungsoption	(auch: Alternative, Massnahme, Aktivität) Handlungsoptionen sind Möglichkeiten des Handelns. Diese können fiktive, zukünftige Handlungsoptionen umfassen (z.B.: Reduktion des Schweiz-weiten Obstanbaus um 50%), sowie Aktivitäten, die schon unternommen werden, um bestimmte Ziele zu erreichen (z.B.: Anlegen von Pufferstreifen zur Reduktion des Eintrags von Pflanzenschutzmitteln und Nährstoffen aus der Landwirtschaft). In der MCDA wird meist der Begriff „Alternative“ verwendet.
Oberziel	Ziele, die durch Unterziele auf tieferen Ebenen der Zielhierarchie genauer definiert werden, sind Oberziele. Nur die Ziele auf der untersten Ebene der Zielhierarchie, die durch Attribute beschrieben und gemessen werden, sind keine Oberziele.
Unterziel	Ziele, die ein allgemeineres Ziel auf der nächsthöheren Ebene der Zielhierarchie genauer beschreiben, sind Unterziele. Nur das oberste Ziel der Zielhierarchie ist nur ein Oberziel und nicht gleichzeitig auch ein Unterziel.
Wertfunktion	Zu jedem Attribut kann in einer Wertfunktion angegeben werden, welcher Attributwert welchen Wert zwischen 0 und 1 erreicht. Damit wird der Zielerreichungsgrad bewertet und normiert. Die Wertfunktionen machen es möglich, verschiedene Ziele mit unterschiedlichen Attributen, Einheiten und Attributbereichen miteinander zu vergleichen.
Ziel	Wenn Entscheidungen getroffen werden, verfolgen die Entscheidenden damit immer bestimmte Ziele. Die Ziele müssen bekannt sein, um rational zwischen Alternativen wählen zu können.
Zielhierarchie	(auch: Zielsystem, Kriterienbaum, Attributbaum) Eine Zielhierarchie liefert eine Strukturierung für eine transparentere Darstellung eines Entscheidungsproblems und damit eine Gliederung des Problems in handhabbare Teile. Sie unterteilt Ziele in übergeordnete Ziele auf höheren Ebenen und detailliertere Ziele auf niedrigeren Ebenen. Dabei wird ein übergeordnetes Ziel durch die Sammlung der ihm untergeordneten Ziele beschrieben.

6.8 Bibliographie

- Agroscope. (25. Mai 2015). *Ökologischer Ausgleich*. From Öko-Ausgleich in der Landwirtschaft: <http://www.agroscope.admin.ch/oekologischer-ausgleich/index.html?lang=de>
- Agroscope. (Februar 2009). GRUDAF 2009 - Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau. *Agrarforschung*, 26.
- Alder, S., Herweg, K., Liniger, H., & Prasuhn, V. (2013). *Technisch-wissenschaftlicher Bericht zur Gewässeranschlusskarte der Erosionsrisikokarte der Schweiz (ERK2) im 2x2-Meter-Raster*.
- Bühler, L., & Daniel, O. (2013). *Pflanzenschutzmittel-Eintrag aus ackerbaulich genutzten Parzellen in Oberflächengewässer: Analyse und Reduktionsmassnahmen auf Ebene Betrieb - Studie im Rahmen von Win4*. Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil ACW.
- Bühler, L., & Daniel, O. (2012). *Win hoch 4 Pilot VB Tänikon 2012. Analyse nach zwei Feldbegehungen*. Agroscope Chanings-Wädenswil.
- BAFU. (2009a). *Ergebnisse der Grundwasserbeobachtung Schweiz (NAQUA), Zustand und Entwicklung 2004 bis 2006*. Bern: Bundesamt für Umwelt.
- BAFU. (2012). *Merkblatt-Sammlung Wasserbau und Ökologie. Erkenntnisse aus dem Projekt Integrales Flussgebietsmanagement*. Bern: Bundesamt für Umwelt.
- BAFU. (2009b). *NAWA - Nationale Beobachtung Oberflächengewässerqualität. Erste Resultate*. Bern: Bundesamt für Umwelt.
- BAFU, & Agroscope. (2007). *Bodenmikrobiologische Kennwert. Erfassung des Zustands landwirtschaftlicher Böden im NABO-Referenzmessnetz anhand biologischer Parameter (NABObio)*. Umwelt-Wissen Nr. 0723.
- BAFU, & BLW. (2011). *Baulicher Umweltschutz in der Landwirtschaft. Ein Modul der Vollzugshilfe Umweltschutz in der Landwirtschaft, Stand Mai 2012*. Bern: Bundesamt für Umwelt.
- BAFU, & BLW. (2013a). *Bodenschutz in der Landwirtschaft. Ein Modul der Vollzugshilfe Umweltschutz in der Landwirtschaft*. Bern: Bundesamt für Umwelt.
- BAFU, & BLW. (2012). *Nährstoffe und Verwendung von Düngern in der Landwirtschaft. Ein Modul der Vollzugshilfe Umweltschutz in der Landwirtschaft*. Bern: Bundesamt für Umwelt.
- BAFU, & BLW. (2013b). *Pflanzenschutzmittel in der Landwirtschaft. Ein Modul der Vollzugshilfe Umweltschutz in der Landwirtschaft*. Bern: Bundesamt für Umwelt.
- BAFU, & BLW. (2008). *Umweltziele Landwirtschaft. Hergeleitet aus bestehenden rechtlichen Grundlagen*. Bern: Bundesamt für Umwelt.
- Baumgartl, T., & Horn, R. (1993). Die Bestimmung der Aggregatstabilität - ein Methodenvergleich. *Schriftenreihe Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 156, 385-391.
- Baumgartner, H. (2015). Mikroorganismen und Fauna im Grundwasser. *Ökologische Vielfalt im Untergrund. Umwelt*, 1.
- Béguin, J., & Smola, S. (2010). *Stand der Drainagen in der Schweiz. Bilanz der Umfrage 2008*. Bundesamt für Landwirtschaft.
- Bertemes, J.-P. (6. August 2013). Grüne Gentechnik, eine Vernunftfehe? *ZEIT ONLINE*.
- BFS. (2014). Die landwirtschaftliche Gesamtrechnung: Kontensequenz, Periode 1985-2014.
- Björnsen Gurung, A., & Stähli, M. (2014). *Wasserressourcen der Schweiz. Dargebot und Nutzung - heute und morgen. Thematische Synthese 1 im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramm NFP 61 "Nachhaltige Wassernutzung"*. Bern.
- BLW. (2013). *Agrarbericht 2013*.
- BLW. (2014a). *Agrarbericht 2014*.
- BLW. (2014b). *Agrarumweltmonitoring. Flyer*.
- BLW. (2002). *Die Rassenvielfalt bei den landwirtschaftlichen Nutztieren in der Schweiz, Bericht der Schweiz zuhanden der FAO in Rom*.
- BLW. (1998). *Konzept zur Erhaltung der Rassenvielfalt*.
- BLW. (2011). *Vernehmlassung zur Agrarpolitik 2014-2017 (AP14-17)*. Erläuternder Bericht.
- BLW, & Schweiz. Kommission f.d. Erh. v. Kulturpfl. (SKEK). (März 2015). *Kulturen im NAP*. From <http://www.bdn.ch/cultures/>
- Bolliger, R., & Kneubühler, H. (2000). In sieben Jahren 14000 Bodenproben untersucht. *Umwelt Aargau*, 11.
- Bundesversammlung. (16. März 2005). Interpellation 05.3090. *Ernährungssouveränität und Raumplanung*.

- Bundesrat. (2014). *Bedarfsabklärung eines Aktionsplans zur Risikoreduktion und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln - Bericht des Bundesrates in Erfüllung des Postulates Moser vom 16. März 2012 (12.3299)*.
- Burri, K. (2006). *Boden-Aggregatstabilität zur Quantifizierung von Vegetationseffekten auf oberflächennahe Bodenbewegungen*. Diplomarbeit ETH Zürich, Umweltnaturwissenschaften.
- BUWAL, Eawag, BWW, & AWEL. (1998). *Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer in der Schweiz. Modul-Stufen-Konzept*. Bern: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft.
- Chervet, A., Schwarz, R., & Sturny, W. G. (2008). *Trotz Fusarien: Direktsaat zum nachhaltigen Bodenschutz. Fusarien-Tagung*. Zürich-Reckenholz.
- Dönni, W., & Guthruf, J. (2014). *Biologische Erhebungen der nationalen Beobachtung Oberflächengewässerqualität (NAWA). Modul Fische (Startphase 2012-2013)*.
- Dübendorfer, C., Fu, R., Tratschin, R., & Spycher, S. (2015). *Massnahmen zur Reduktion von Einträgen von Pflanzenschutzmitteln in Gewässer. Eine Auslegeordnung*.
- Dübendorfer, C., Moser, D., Kempfer, T., Egloff, L., Müller, V., Wanner, P., et al. (2011). *Expertenbericht zu einem Modul Temperatur im Rahmen des Modul-Stufen-Konzepts*.
- Delbecq, A. L., & Van de Ven, A. H. (1971). A Group Process Model for Problem Identification and Program Planning. *Journal of Applied Behavioral Science*, 7 (4), 466-492.
- Eisenführ, F., Weber, M., & Langer, T. (2010). *Rational Decision Making*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Finger, R. (2014). Betriebswirtschaftliche Massnahmen zum Umgang mit Trockenheitsrisiken. *Vortrag 1. Agroscope-Nachhaltigkeitstagung "Wasser in der Landwirtschaft", 23. Januar 2014*.
- Freiermuth, R. (2006). *Modell zur Berechnung der Schwermetallflüsse in der Landwirtschaftlichen Ökobilanz - SALCA-Schwermetall*. Agroscope FAL Reckenholz.
- Fuhrer, J. (2012). *Bewässerungsbedarf und Wasserdargebot unter heutigen und künftigen Klimabedingungen*. Agroscope Reckenholz-Tänikon ART.
- Fuhrer, J. (2014). Klimawandel - Wasser - Landwirtschaft: Künftige Risiken und Handlungsoptionen. *Vortrag 1. Agroscope-Nachhaltigkeitstagung "Wasser in der Landwirtschaft", 23. Januar 2014*.
- Fuhrer, J., Holzkämper, A., Klein, T., & Lehmann, N. (2013). Wasser und Schweizer Landwirtschaft - Das Projekt AGWAM im Rahmen des NFP 61. *Aqua & Gas*, 7/8, 34-39.
- Geiger, F., Crole-Rees, A., & Daniel, O. (2011). *Zwischenbericht Vorprojekt Win hoch 4*. Agroscope Changins-Wädenswil.
- Gisler, S., Liniger, H., & Prasuhn, V. (2010). *Technisch-wissenschaftlicher Bericht zur Erosionsrisikokarte der landwirtschaftlichen Nutzfläche der Schweiz im 2x2-Meter-Raster (ERK2)*.
- Grenzgänger-Arbeitnehmer-Arbeitgeber-Verband GAAV. (13. Mai 2015). *Arbeitsrecht, Arbeitszeit*. From <http://www.gaav.de/arbeitsrecht-arbeitszeit.php>
- Hoffmann, S., Hunkeler, D., & Maurer, M. (2014). *Nachhaltige Wasserversorgung und Abwasserentsorgung in der Schweiz: Herausforderungen und Handlungsoptionen*. Thematische Synthese 3 im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61 "Nachhaltige Wassernutzung", Bern.
- Indermuehle, N., Angélibert, S., & Oertli, B. (2007). *IBEM - Biodiversitätsindex für stehende Kleingewässer. Eine neue Methode zur Bewertung der Biodiversität stehender Kleingewässer. Flyer*.
- Jain, A. K. (2010). Data clustering: 50 years beyond K-means. *Pattern Recognition Letters*, 31, 651-666.
- Kanton Solothurn. (2015). *Amt für Umwelt*. From Erosion: <https://www.so.ch/verwaltung/bau-und-justizdepartement/amt-fuer-umwelt/landwirtschaft/bodenschutz/erosion/>
- Kantonales Labor Zürich. (2013). *Jahresbericht 2013*.
- Kaufman, L., & Rousseeuw, P. J. (1990). Partitioning around medoids (Program PAM). In *Finding Groups om Data: An Introduction to Cluster Analysis* (pp. 68-125). John Wiley & Sons, Inc.
- Keeney, R. L. (1982). Decision analysis: an overview. *Operations Research*, 30 (5), 803-838.
- Knauer, K., & Félix, O. (2012). Pflanzenschutzmittel und Oberflächengewässer: praxisnahe Schutzmassnahmen. *Agrarforschung Schweiz*, 3 (11-12), 532-537.

- Langhans, S. D., & Reichert, P. (2011). Einbettung von Verfahren zur Fliessgewässerbewertung in ein übergeordnetes Gewässermanagementkonzept. Vorschläge am Beispiel des Modulstufenkonzepts. *Wasser Energie Luft*, 103 (3), 204-214.
- Langhans, S. D., Lienert, J., Schuwirth, N., & Reichert, P. (2013). How to make river assessments comparable: A demonstration for hydromorphology. *Ecological Indicators*, 32, 264-275.
- Langhans, S. D., Reichert, P., & Schuwirth, N. (2014). The method matters: A guide for indicator aggregation in ecological assessments. *Ecological Indicators*, 45, 494-507.
- Lanz, K., Rahn, E., Siber, R., & Stamm, C. (2014). *Bewirtschaftung der Wasserressourcen unter steigendem Nutzungsdruck. Thematische Synthese 2 im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramm NFP 61 "Nachhaltige Wassernutzung"*. Bern.
- Last, L., Buchmann, N., Gilgen, A. K., Grant, M., & Shreck, A. (2015). *Foresight Study: Research for a Sustainable Swiss Food System*. Zurich: World Food System Center, ETH.
- Ledermann, T., & Schneider, F. (2008). Verbreitung der Direktsaat in der Schweiz. *Agrarforschung*, 15 (8), 408-413.
- Lienert, J. (2013). Multi-Criteria Decision Analysis. *Vorlesung ETH Zürich 701-1522-00 D-USYS*.
- Mathys, H. (2010). Tropfbewässerung oder Rollomat. *UFA-Revue*, 3.
- Matile, L., Sauer, C., Fischer, E., & Berger, R. (2013). *Optimierung einer selbstregulierenden Bewässerungssteuerung für die ressourcenschonende Anwendung im Agrarbereich (PlantCare smart irrigation)*. erster Zwischenbericht.
- Menetrey, N., Oertli, B., & Lachavanne, J.-B. (2011). The CIEPT: A macroinvertebrate-based multimetric index for assessing the ecological quality of Swiss lowland ponds. *Ecological Indicators*, 11, 590-600.
- NABO. (1999). *Böden der Schweiz. Kurzfassung*.
- Naef, A., Mouron, P., & Höhn, H. (2011). Nachhaltigkeitsbewertung von Pflanzenschutzstrategien im Apfelanbau. *Agrarforschung Schweiz*, 2 (7-8), 334-341.
- Obenauf, U., Borchardt, I., Lubkowitz, C., & Kock, C. (1. Juni 2013). Pflug-, Mulch- oder Direktsaat - was passt wo am besten? *Bauernblatt*.
- Oberholzer, H.-R., & Scheid, S. (2007). *Bodenmikrobiologische Kennwerte. Erfassung des Zustands landwirtschaftlicher Böden im NABO-Referenzmessnetz anhand biologischer Parameter (NABObio)*. Bern: BAFU.
- Oberholzer, H.-R., Weisskopf, P., Gaillard, G., Weiss, F., & Freiermuth Knuchel, R. (2006). *Methode zur Beurteilung der Wirkungen landwirtschaftlicher Bewirtschaftung auf die Bodenqualität in Ökobilanzen SALCA-SQ*. Agroscope FAL Reckenholz.
- Oertli, B., Auderset Joye, D., Castella, E., Juge, R., Lehmann, A., & Lachavanne, J.-B. (2005). PLOCH: a standardized method for sampling and assessing the biodiversity in ponds. *Aquatic conservation: marine and freshwater ecosystems*, 15, 665-679.
- Powlson, D., Gregory, P., Whalley, W., Quinton, J., Hopkins, D., Whitmore, A., et al. (2011). Soil management in relation to sustainable agriculture and ecosystem services. *Food Policy*, 36, S72-S87.
- Prasuhn, V. (2009). Erosion - Ausmass der Bodenerosion im Mittelland. *Informationstagung Landtechnik*. Tänikon.
- Presler, J., Carizzoni, M., & Widmer, D. (2013). *Gemeinsame Bodenüberwachung der Zentralschweizer Kantone (KABO-ZCH)*. Fachstelle Bodenschutz, Dienststelle Umwelt und Energie Kanton Luzern im Namen der ZUDK.
- R Development Core Team. (2011). R: a language and environment for statistical computing. Wien: R Foundation for Statistical Computing.
- Rüttimann, M. (2001). *Boden-, Herbizid- und Nährstoffverluste durch Abschwemmung bei konservierender Bodenbearbeitung und Mulchsaat von Silomais* (Vol. 30). Physiogeographica. Basler Beiträge zur Physiogeographie.
- Reichert, P., Schuwirth, N., & Langhans, S. (2013). Constructing, evaluating and visualizing value and utility functions for decision support. *Environmental Modelling & Software*, 46, 283-291.
- Schaller, B., Nemecek, T., Streit, B., & Zihlmann, U. (2006). Vergleichsökobilanz bei Direktsaat und Pflug. *Agrarforschung*, 13 (11-12), 482-487.
- Scheffer, F., & Schachtschabel, P. (1992). *Lehrbuch der Bodenkunde* (13 ed.). Stuttgart: Enke.

- Schlosser, J. A., Haertel-Borer, S., Liechti, P., & Reichert, P. (2013). *Konzept für die Untersuchung und Beurteilung der Seen in der Schweiz. Anleitung zur Entwicklung und Anwendung von Beurteilungsmethoden*. Bern: Bundesamt für Umwelt.
- Schmid, T. (5. März 2013). *AP 17: Aufwind für Direktsaat?* From Schweizer Bauer: <https://www.schweizerbauer.ch/pflanzen/ackerbau/ap-17-aufwind-fuer-direktsaat-9132.html>
- Scholten, L., Egger, C., Zheng, J., & Lienert, J. (2014). Multikriterielle Entscheidungsanalyse. Neue Ansätze für langfristige Infrastrukturplanung in der Wasserver- und -entsorgung. *Aqua & Gas*, 5, 62-69.
- Schoop, J., & Fischler, M. (2014). Direkzahlung: Ressourceneffizienzbeiträge REB Beitragsdauer 2014-2019. Schonende Bodenbearbeitung.
- Schuwirth, N., Reichert, P., & Lienert, J. (2012). Methodological aspects of multi-criteria decision analysis for policy support: A case study on pharmaceutical removal from hospital wastewater. *European Journal of Operational Research*, 220, 472-483.
- Schwab, P., Weisskopf, P., Berli, M., Rehbein, K., Brunner, H., Scheid, S., et al. (2006). *Langzeitbeobachtung von physikalischen und biologischen Bodeneigenschaften. Pilotprojekt LAZBO. Teil 2 Bodenphysikalische Untersuchungen*. Agroscope FAL Reckenholz.
- Schwarz, R., Chervet, A., Hofer, P., Sturny, W. G., & Zuber, M. (2007). Kanton Bern fördert Ressourcen schonenden Ackerbau. *Agrarforschung*, 14 (3), 128-133.
- Schweizerische Gesellschaft für Ernährung (SGE). (2014). *Lebensmittelpyramide*.
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, 27, 379-423.
- SR 101 a. (18. April 1999). Bundesverfassung (Stand am 18. Mai 2014). *Art. 104 Landwirtschaft Abs. 1 Bst. a BV*.
- SR 101 b. (18. April 1999). Bundesverfassung (Stand am 18. Mai 2014). *Art. 74 Umweltschutz Abs. 1-3*.
- SR 814.12. (1. Juli 1998). Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo).
- SR 814.20. (24. Januar 1991). Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz, GSchG).
- SR 814.201. (28. Oktober 1998). Gewässerschutzverordnung (GSchV).
- SR 910.13. (23. Oktober 2013). Verordnung über die Direktzahlungen an die Landwirtschaft (Direktzahlungsverordnung DZV).
- Stamm, C., Doppler, T., Prasuhn, V., & Singer, H. (2011). *Standortgerechte Landwirtschaft bezüglich der Auswirkung von landwirtschaftlichen Hilfsstoffen auf Gewässer, Schlussbericht*. Studie im Auftrag des BAFU.
- Strelöke, M., Fischer, R., Kula, C., Pucilek-Günther, P., & Smith, B. (2007). Die Festlegung von Risikominderungsmaßnahmen zum Schutz des Naturhaushaltes als typische Managementaufgabe im Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel. *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit*, 2, 78-82.
- TOPPS. (2013). *Best Management Practices to reduce water pollution with plant protection products from run-off and erosion*.
- Zeh Weissmann, H., Könitzer, C., & Bertiller, A. (2009). *Strukturen der Fliessgewässer in der Schweiz. Zustand von Sohle, Ufer und Umland (Ökomorphologie). Ergebnisse der ökomorphologische Kartierung*. Bern: Bundesamt für Umwelt.