

TEXTE

45/2020

# **Nexus Ressourceneffizienz und Landnutzung – Ansätze zur mehrdimensionalen umweltpolitischen Bewertung der Ressourceneffizienz bei der Biomasse- bereitstellung**

**Abschlussbericht**



TEXTE 45/2020

Umweltforschungsplan des  
Bundesministeriums für Umwelt,  
Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl 3715 31 103 0  
FB000284

## **Nexus Ressourceneffizienz und Landnutzung – Ansätze zur mehrdimensionalen umweltpolitischen Bewertung der Ressourceneffizienz bei der Biomassebereitstellung**

Abschlussbericht

von

Dr. Hannes Böttcher, Dr. Klaus Hennenberg, Kirsten Wiegmann, Margarethe  
Scheffler, Franziska Wolff, Martin Gsell  
Öko-Institut e.V., Freiburg/Berlin/Darmstadt

Anja Hansen, Dr. Andreas Meyer-Aurich, Dr. Philipp Grundmann  
Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V. (ATB), Potsdam

Dimitri Vedel  
Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg (HFR), Rottenburg

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

# Impressum

**Herausgeber:**

Umweltbundesamt  
Wörlitzer Platz 1  
06844 Dessau-Roßlau  
Tel: +49 340-2103-0  
Fax: +49 340-2103-2285  
buergerservice@uba.de  
Internet: [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

**Durchführung der Studie:**

Öko-Institut e.V.  
Schicklerstr. 5-7  
10179 Berlin

**Abschlussdatum:**

November 2017

**Redaktion:**

Fachgebiet I 1.1 Grundsatzfragen, Nachhaltigkeitsstrategien und -szenarien,  
Ressourcenschonung  
Jens Günther

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, März 2020

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den  
Autorinnen und Autoren.

## Kurzbeschreibung

Natürliche Ressourcen und Ökosystemleistungen sind unsere Lebensgrundlagen. Ihre Nutzung kann durch Erhöhung der Ressourceneffizienz optimiert werden. Zahlreiche Indikatoren zur Beschreibung der Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen weisen allerdings darauf hin, dass trotz erhöhter Effizienz, Nachhaltigkeitsgrenzen überschritten werden. Dieser Bericht präsentiert einen methodischen Ansatz der mehrdimensionalen Bewertung der Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen bei der Biomassebereitstellung. Dazu wurden zunächst Ansätze zur Effizienzbewertung der Biomassebereitstellung und Landnutzung sowie bestehende Konzepte zur Bewertung von Ökosystemleistungen erfasst und analysiert. Der Bericht stellt einen im Vorhaben entwickelten methodischen Ansatz zur Bewertung der Ressourceneffizienz der Biomassebereitstellung anhand von Beispielen aus der Land- und Forstwirtschaft vor, die nachhaltige Ressourcenleistung.

Diese ergibt sich aus der in einem gemeinsamen Bezugssystem skalierten Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen und dem normalisierten Nutzen von Ökosystemleistungen. Zur Anwendung und zum Test des Ansatzes wurden für die Umweltdimensionen Luft, Wasser, Boden und Biodiversität verschiedene Indikatoren ausgewählt. Mit Hilfe von Modellen wurden beispielhaft verschiedene Produktionssysteme aus der Land- und Forstwirtschaft simuliert und alternative Szenarien anhand des Ansatzes bewertet. Szenarien des Pflanzenbaus und der Tierhaltung beschreiben einen Intensitätsgradienten von der konventionellen Marktfrucht- und Milchproduktion zu extensiveren Varianten und die Auswirkungen auf Humusbilanz, Stickstoffsaldo und anderen Umweltindikatoren. Beispiele aus der Forstwirtschaft betrachten den möglichen Waldumbau von Nadelbaumbeständen und Naturschutzszenarien in Buchenwäldern und Änderungen in Produktivität, Totholzvorräten, Bestandesstrukturen und weiteren Indikatoren.

Die nachhaltige Ressourcenleistung erlaubt eine Differenzierung und Bewertung der vorgestellten Szenarien. Dabei kommt der Skalierung der Indikatoren eine wichtige Rolle zu. Annahmen zu Grenz- und Schwellenwerten bei der Skalierung müssen transparent und der Bewertungsmaßstab einheitlich sein, sollen Produktionssysteme und Szenarien untereinander und über die Zeit bezüglich ihrer nachhaltigen Ressourcenleistung miteinander verglichen werden.

## Abstract

Natural resources and ecosystem services are our livelihoods. Their utilization can be optimized by increasing resource efficiency. However, numerous indicators assessing natural resources indicate that, despite increased efficiency, sustainability limits are exceeded. This report presents a methodological approach to the multi-dimensional assessment of the utilization of natural resources for the production of biomass. To this end, approaches for assessing the efficiency of biomass supply and land use as well as existing concepts for evaluating ecosystem services were analyzed. The report presents a methodological approach developed in the project to assess the resource efficiency of biomass provision from agriculture and forestry, the sustainable resource output.

To estimate the sustainable resource output, indicators for assessing natural resources need to be scaled into a common reference system, including a scaling of utility of ecosystem services. For the application and testing of the approach, various indicators were selected covering the environmental dimensions of air, water, soil and biodiversity. Using models, various production systems from agriculture and forestry were simulated and alternative scenarios were evaluated using the suggested approach. Scenarios of crop production and livestock farming describe an intensity gradient from conventional crop and milk production to more extensive variants and effects on humus balance, nitrogen balance and other environmental indicators. Examples from forestry consider forest conversion of coniferous stands and conservation scenarios in beech forests and changes in productivity, deadwood stocks, stand structures and other indicators.

The sustainable resource output allows a differentiation and evaluation of the presented scenarios. The scaling of the indicators plays an important role. Scaling thresholds and other assumptions need to be transparent and consistent between production systems, scenarios and over time for an appropriate application of the sustainable resource output.



## Inhaltsverzeichnis

|       |                                                                                                               |    |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1     | Einleitung und Hintergrund .....                                                                              | 34 |
| 2     | Ziel und Ablauf des Vorhabens .....                                                                           | 38 |
| 2.1   | Forschungsfragen des Vorhabens.....                                                                           | 38 |
| 2.2   | Projektarbeitsplan und Struktur des Berichts.....                                                             | 38 |
| 3     | Definitionen, Evaluierung und Diskussion bestehender Ansätze .....                                            | 41 |
| 3.1   | Bestehende Definitionen .....                                                                                 | 41 |
| 3.1.1 | Definition von natürlichen Ressourcen und Mehrdimensionalität.....                                            | 41 |
| 3.1.2 | Definition von Ökosystemleistungen .....                                                                      | 41 |
| 3.1.3 | Definition von Ressourceneffizienz und Abgrenzung von anderen<br>Effizienzbegriffen .....                     | 42 |
| 3.2   | Diskussion bestehender Ansätze der Effizienzbewertung.....                                                    | 44 |
| 3.1.1 | Erfassung bestehender Ansätze der Effizienzbewertung .....                                                    | 44 |
| 3.1.1 | Diskussion einiger bestehender Ansätze der Effizienzbewertung .....                                           | 45 |
| 3.2.1 | Diskussion bestehender Konzepte der Bewertung von Ökosystemleistungen .....                                   | 46 |
| 3.2.2 | Konkrete Beispiele bestehender Bewertungsansätze von landwirtschaftlichen<br>Produktionssystemen .....        | 47 |
| 3.3   | Ressourceneffizienz aus Sicht der Systemanalyse .....                                                         | 52 |
| 3.4   | Fazit.....                                                                                                    | 53 |
| 4     | Herleitung des Bewertungsansatzes: Annahmen und Indikatoren .....                                             | 55 |
| 4.1   | Schritte der Effizienzbewertung .....                                                                         | 55 |
| 4.2   | Begriff der nachhaltigen Ressourcenleistung .....                                                             | 57 |
| 4.2.1 | Herleitung.....                                                                                               | 57 |
| 4.2.2 | Ermittlung des Grads der Ressourcenschonung – Skalierung der<br>Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen.....   | 58 |
| 4.2.3 | Vergleich unterschiedlicher Produktivitäten – Skalierung des Nutzens .....                                    | 58 |
| 4.2.4 | Berechnung der nachhaltigen Ressourcenleistung.....                                                           | 59 |
| 4.2.5 | Voraussetzungen der Anwendung der nachhaltigen Ressourcenleistung für die<br>mehrdimensionale Bewertung ..... | 60 |
| 4.3   | Darstellung des Nutzens .....                                                                                 | 60 |
| 4.4   | Darstellung der Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen .....                                                  | 61 |
| 4.4.1 | Natürliche Ressource Luft .....                                                                               | 62 |
| 4.4.2 | Natürliche Ressource Boden .....                                                                              | 63 |
| 4.4.3 | Natürliche Ressource Wasser.....                                                                              | 64 |
| 4.4.4 | Natürliche Ressource Ökosystemleistungen aus Biodiversität .....                                              | 64 |
| 4.5   | Zusammenfassung der Indikatoren für die Bewertung.....                                                        | 66 |



|       |                                                                                |     |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5     | Beschreibung und Modellierung von Produktionssystemen.....                     | 68  |
| 5.1   | Definition von Produktionssystem .....                                         | 68  |
| 5.2   | Modellbeschreibungen .....                                                     | 69  |
| 5.2.1 | FABio Agrarmodell .....                                                        | 69  |
| 5.2.2 | FABio Waldmodell.....                                                          | 70  |
| 5.3   | Produktionssystem Pflanzenbau .....                                            | 71  |
| 5.3.1 | Darstellung des Nutzens im Model (funktionelle Einheit) .....                  | 71  |
| 5.3.2 | Systemgrenzen .....                                                            | 72  |
| 5.3.3 | Darstellung der Indikatoren im Modell.....                                     | 73  |
| 5.4   | Produktionssystem Tierhaltung .....                                            | 76  |
| 5.4.1 | Darstellung des Nutzens im Modell (funktionelle Einheit) .....                 | 76  |
| 5.4.2 | Systemgrenzen .....                                                            | 77  |
| 5.4.3 | Darstellung der Indikatoren im Modell.....                                     | 77  |
| 5.5   | Produktionssystem Forstwirtschaft.....                                         | 79  |
| 5.5.1 | Darstellung des Nutzens im Modell (funktionelle Einheit) .....                 | 79  |
| 5.5.2 | Systemgrenzen .....                                                            | 79  |
| 5.5.3 | Darstellung der Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen im Modell .....         | 80  |
| 6     | Szenarien und Varianten .....                                                  | 84  |
| 6.1   | Produktionssystem Pflanzenbau und Tierhaltung.....                             | 84  |
| 6.1.1 | Szenarienentwicklung .....                                                     | 84  |
| 6.1.2 | Varianten.....                                                                 | 85  |
| 6.1.3 | Ergebnisse .....                                                               | 88  |
| 6.2   | Produktionssystem Forstwirtschaft.....                                         | 109 |
| 6.2.1 | Szenarienentwicklung .....                                                     | 109 |
| 6.2.2 | Ergebnisse .....                                                               | 116 |
| 7     | Darstellung und Bewertung der Ressourcenleistung von Produktionssystemen ..... | 125 |
| 7.1   | Skalierung und Darstellung.....                                                | 125 |
| 7.1.1 | Skalierung des Nutzens .....                                                   | 125 |
| 7.1.2 | Skalierung der Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen .....                    | 126 |
| 7.2   | Produktionssystem Pflanzenbau und Tierhaltung.....                             | 127 |
| 7.3   | Produktionssystem Forstwirtschaft.....                                         | 135 |
| 8     | Diskussion zur Bewertung des Ansatzes und seiner Anwendung .....               | 144 |
| 8.1   | Generelle Eignung des Bewertungsansatzes .....                                 | 144 |
| 8.1.1 | Konzept der nachhaltigen Ressourcenleistung .....                              | 144 |
| 8.1.2 | Erweiterung des Ansatzes .....                                                 | 145 |

|       |                                                                                                      |     |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 8.2   | Einflüsse der Modellierung und Berechnung auf das Ergebnis der Bewertung .....                       | 146 |
| 8.2.1 | Vollständigkeit der Indikatoren zur Beschreibung der Inanspruchnahme<br>natürlicher Ressourcen ..... | 146 |
| 8.2.2 | Wahl des Referenzsystems auf das Bewertungsergebnis.....                                             | 147 |
| 8.2.3 | Wahl der funktionellen Einheit des Nutzens.....                                                      | 148 |
| 8.2.4 | Gewichtung der adressierten Umweltproblemfelder .....                                                | 149 |
| 8.2.5 | Realitätsnähe der Szenariengestaltung .....                                                          | 149 |
| 8.2.6 | Ergebnisse und Darstellung.....                                                                      | 150 |
| 9     | Schlussfolgerungen.....                                                                              | 152 |
| 10    | Literaturverzeichnis .....                                                                           | 153 |
|       | Anhang I – Glossar .....                                                                             | 157 |
|       | Anhang II - Liste bestehender Bewertungsansätze .....                                                | 159 |

## Abbildungsverzeichnis

|                |                                                                                                                                                                                                                                                                     |     |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Abbildung 0-1: | Beispielhafte Darstellung der nachhaltigen Ressourcenleistung in einem Spinnendiagramm für die Bewertung der Produktionssysteme „Marktfrucht“, „Moderate Extensivierung“ und „Starke Extensivierung“ als Ergebnis des Vorhabens.....                                | 24  |
| Figure 0-2:    | Example for a presentation of the sustainable resource output in a spider diagram for assessing production systems „Crop production“, „Moderate Extensification“ and „Strong Extensification“ as a result of the project. ....                                      | 32  |
| Abbildung 2-1: | Überblick über die Arbeitspakete.....                                                                                                                                                                                                                               | 39  |
| Abbildung 3-1: | Ressourceneffizienz in Abhängigkeit von der Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen.....                                                                                                                                                                             | 43  |
| Abbildung 3-2: | Elemente und Annahmen der Effizienzbewertung aus Sicht der Systemanalyse .....                                                                                                                                                                                      | 53  |
| Abbildung 4-1: | Schritte der Bewertung.....                                                                                                                                                                                                                                         | 56  |
| Abbildung 4-2: | Berechnung der nachhaltigen Ressourcenleistung aus skaliertem relativem Nutzen und skaliertem relativer Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen mit Beispielzahlen.....                                                                                              | 59  |
| Abbildung 6-1: | C-Saldo der Szenariovarianten „MF_Hackfrucht-10a“ (Hackfrüchte alle 10 Jahre erlaubt statt alle drei Jahre) und „MF_Hackfrucht-10a_Stroh-20%“ (zusätzlich nur 20% statt 60% Stroh entnommen) im Vergleich zum Szenario „Marktfrucht“ .....                          | 93  |
| Abbildung 6-2: | Deckungsbeitrag der Marktfrüchte der Szenariovarianten „MF_Hackfrucht-10a“ (Hackfrüchte alle 10 Jahre erlaubt statt alle drei Jahre) und „MF_Hackfrucht-10a_Stroh-20%“ (zusätzlich nur 20% statt 60% Stroh entnommen) im Vergleich zum Szenario „Marktfrucht“ ..... | 94  |
| Abbildung 6-3: | N-Saldo der Szenariovariante „MF_N-110%“ (Erhöhung der N-Gabe auf 110%) im Vergleich zum Szenario „Marktfrucht“ .....                                                                                                                                               | 95  |
| Abbildung 6-4: | Biodiversitätsindex der Szenariovariante „ME_Blühstreifen-5%“ und „ME_Brache-5%“ im Vergleich zum Szenario „Moderate Extensivierung“ .....                                                                                                                          | 98  |
| Abbildung 6-5: | THG-Emissionen der Szenariovariante „MF_Milchkuh-1,5-GVE“ im Vergleich zum Szenario „Marktfrucht“ .....                                                                                                                                                             | 102 |
| Abbildung 6-6: | C-Saldo der Szenariovariante „MF_Milchkuh-1,5-GVE“ im Vergleich zum Szenario „Marktfrucht“ .....                                                                                                                                                                    | 103 |
| Abbildung 6-7: | N-Saldo der Szenariovariante „MF_Mkuh-1,5-GVE“ im Vergleich zum Szenario „Marktfrucht“ .....                                                                                                                                                                        | 104 |
| Abbildung 6-8: | Grünlandbelegung der Szenariovariante „SE_450-Milchkühe“ und „SE_600-Milchkühe“ im Vergleich zum Szenario „Starke Extensivierung“ .....                                                                                                                             | 105 |
| Abbildung 6-9: | Relative Durchmesser-Verteilung des Vorrats in den drei Beispielen .....                                                                                                                                                                                            | 111 |

|                 |                                                                                                                                                                       |     |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Abbildung 6-10: | Entwicklung des mittleren Vorrats in den Beispiel für verschiedene Szenarien in m <sup>3</sup> /ha.....                                                               | 118 |
| Abbildung 6-11: | Mittlere jährliche Zuwachsbilanz für jedes Beispiel in den verschiedenen Szenarien (2012-2112) in m <sup>3</sup> /ha/Jahr .....                                       | 119 |
| Abbildung 6-12: | Mittlere Totholzvorräte für jedes Beispiel in den verschiedenen Szenarien für den Zeitraum 2012-2112 in m <sup>3</sup> /ha .....                                      | 121 |
| Abbildung 6-13: | Verteilung des Vorrats über Durchmesserklassen in verschiedenen Szenarien im Beispiel 3 (Buchennaturschutz) im Jahr-2112 in Millionen m <sup>3</sup> .....            | 124 |
| Abbildung 7-1:  | Bewertung der Produktionssysteme „Marktfrucht“, „Moderate Extensivierung“ und „Starke Extensivierung“ (Umweltindikatoren, Deckungsbeitrag und Futter-Eigenanbau)..... | 129 |
| Abbildung 7-2:  | Bewertung der nachhaltigen Ressourcenleistung der Produktionssysteme „Marktfrucht“, „Moderate Extensivierung“ und „Starke Extensivierung“ .....                       | 130 |
| Abbildung 7-3:  | Bewertung der Produktionssysteme „Marktfrucht“ und „MF_Mkuh-1,5-GVE“ (Umweltindikatoren, Deckungsbeitrag und Futter-Eigenanbau) .....                                 | 131 |
| Abbildung 7-4:  | Bewertung der nachhaltigen Ressourcenleistung der Produktionssysteme „Marktfrucht“ und „MF_Milchkuh-1,5-GVE“ .....                                                    | 132 |
| Abbildung 7-5:  | Beispiel 1 – Fichtenumbau: Einfluss des Produktionssystems auf die Ressourcenschonung in verschiedenen Szenarien für den Zeitraum 2012-2052.....                      | 137 |
| Abbildung 7-6:  | Beispiel 1 – Fichtenumbau: Einfluss des Produktionssystems auf die Ressourcenschonung in verschiedenen Szenarien für den Zeitraum 2012-2112.....                      | 138 |
| Abbildung 7-7:  | Beispiel 2 – Kiefernumbau: Einfluss des Produktionssystems auf die Umweltindikatoren in verschiedenen Szenarien pro ha für den Zeitraum 2012-2112 .....               | 139 |
| Abbildung 7-8:  | Beispiel 3 – Buchennaturschutz: Einfluss des Produktionssystems auf die Umweltindikatoren in verschiedenen Szenarien pro ha für den Zeitraum 2012-2112 .....          | 140 |
| Abbildung 7-9:  | Beispiel 3 – Buchennaturschutz: nachhaltige Ressourcenleistung von Produktionssystemen in verschiedenen Szenarien für den Zeitraum 2012-2112.....                     | 142 |

## Tabellenverzeichnis

|               |                                                                                                                                                                                                                                                                                               |     |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabelle 3-1:  | Beispiele für Indikatoren zur Beschreibung verschiedener Nachhaltigkeitsdimensionen der Landwirtschaft .....                                                                                                                                                                                  | 50  |
| Tabelle 3-2:  | Beispiele für die Normalisierung von Indikatoren .....                                                                                                                                                                                                                                        | 51  |
| Tabelle 4-1:  | Liste der berücksichtigten Indikatoren für die land- und forstwirtschaftlichen Produktionssysteme .....                                                                                                                                                                                       | 67  |
| Tabelle 5-1:  | Alternative funktionelle Einheiten für den Pflanzenbau .....                                                                                                                                                                                                                                  | 72  |
| Tabelle 5-2:  | Punkteskala zur Berechnung der Biodiversitätswerte .....                                                                                                                                                                                                                                      | 74  |
| Tabelle 5-3:  | Herleitung der Indikatoren für den Pflanzenbau .....                                                                                                                                                                                                                                          | 75  |
| Tabelle 5-4:  | Auszug aus möglichen Rationszusammensetzungen (%) für eine Milchleistung von 8000 L pro Kuh und Jahr .....                                                                                                                                                                                    | 76  |
| Tabelle 5-5:  | Beschreibung der Indikatoren für die Tierhaltung .....                                                                                                                                                                                                                                        | 78  |
| Tabelle 5-6:  | Beschreibung der Indikatoren für die Forstwirtschaft .....                                                                                                                                                                                                                                    | 83  |
| Tabelle 6-1:  | Spezifizierung der Szenarien zu Pflanzenbau und Tierhaltung .....                                                                                                                                                                                                                             | 85  |
| Tabelle 6-2:  | Szenariovarianten mit einem Fokus auf den Pflanzenbau .....                                                                                                                                                                                                                                   | 87  |
| Tabelle 6-3:  | Szenariovarianten mit einem Fokus auf die Tierhaltung .....                                                                                                                                                                                                                                   | 87  |
| Tabelle 6-4:  | Anteile der Feldfrüchte in den drei Szenarien zu Pflanzenbau und Tierhaltung (alle Angaben in Hektar) .....                                                                                                                                                                                   | 89  |
| Tabelle 6-5:  | Zusammenfassende Ergebnisse der Szenarien Marktfrucht, Moderate Extensivierung und Starke Extensivierung .....                                                                                                                                                                                | 91  |
| Tabelle 6-6:  | Anteile der Feldfrüchte der Szenariovarianten „MF_Hackfrucht-10a“, „MF_Hackfrucht-10a_Stroh-20%“ und „MF_N-110%“ im Vergleich zum Szenario „Marktfrucht“ (alle Angaben in Hektar, Mittelwert über 5 Jahre) .....                                                                              | 96  |
| Tabelle 6-7:  | Zusammenfassende Ergebnisse der Szenariovarianten „MF_Hackfrucht-10a“, „MF_Hackfrucht-10a_Stroh-20%“ und „SE_N-110%“ im Vergleich zum Szenario „Marktfrucht“ .....                                                                                                                            | 97  |
| Tabelle 6-8:  | Anteile der Feldfrüchte der Szenarien-Varianten „ME_Blühstreifen-5%“ und „ME_Brache-5%“ im Vergleich zum Szenario „Moderate Extensivierung“ (alle Angaben in Hektar) .....                                                                                                                    | 99  |
| Tabelle 6-9:  | Zusammenfassende Ergebnisse der Szenariovarianten „ME_Blühstreifen-5%“ und „ME_Brache-5%“ im Vergleich zum Szenario „Moderate Extensivierung“ .....                                                                                                                                           | 100 |
| Tabelle 6-10: | Anteil der Feldfrüchte der Szenarien-Variante „MF_Milchkuh-1,5-GVE“ im Vergleich zum Szenario Marktfrucht und der Szenarien-Varianten „SE_450-Milchkühe“ und „SE_600-Milchkühe“ im Vergleich zum Szenario „Starke Extensivierung“ (alle Angaben in Hektar, Mittelwert über fünf Jahre ) ..... | 107 |
| Tabelle 6-11: | Zusammenfassende Ergebnisse der Szenarien-Variante „MF_Milchkuh-1,5-GVE“ im Vergleich zum Szenario „Marktfrucht“                                                                                                                                                                              |     |

|               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |     |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|               | und der Szenarien-Varianten „SE_450-Milchkühe“ und „SE_600-Milchkühe“ im Vergleich zum Szenario „Starke Extensivierung“ .....                                                                                                                                                                                                          | 108 |
| Tabelle 6-12: | Spezifizierung der Beispiele der Waldbewirtschaftung und Beschreibung der jeweiligen Szenarien .....                                                                                                                                                                                                                                   | 112 |
| Tabelle 6-13: | Kombinationen von Szenarien in den Beispielen der forstwirtschaftlichen Produktionssysteme .....                                                                                                                                                                                                                                       | 113 |
| Tabelle 6-14: | Parameter des BaU-Szenarios Waldbewirtschaftung nach Bestandestyp (Hauptbaumart und Mischungsform, d.h. Reinbestände (R) oder Mischbestände mit Nadelbäumen (MN) oder Laubbäumen (ML)) und Bestandesphase (nach Baumalter: Jungbestandspflege (JP), Durchforstung (DZ), Vorratspflege (VP), Nutzung (NZ) und Dauerwald (DW)) .....     | 114 |
| Tabelle 6-15: | Parameter des Extensiv-Szenarios Waldbewirtschaftung nach Bestandestyp (Hauptbaumart und Mischungsform, d.h. Reinbestände (R) oder Mischbestände mit Nadelbäumen (MN) oder Laubbäumen (ML)) und Bestandesphase (nach Baumalter: Jungbestandspflege (JP), Durchforstung (DZ), Vorratspflege (VP), Nutzung(NZ) und Dauerwald (DW)) ..... | 115 |
| Tabelle 6-16: | Modellergebnisse für die wichtigsten Indikatoren, Mittelwerte für die Periode 2012-2112 .....                                                                                                                                                                                                                                          | 116 |
| Tabelle 6-17: | Jährliche mittlere Emissionen (positive Werte) und Festlegungen (negative Werte) von CO <sub>2</sub> in lebender Biomasse für jedes Beispiel in den verschiedenen Szenarien in t CO <sub>2</sub> /Jahr/ha .....                                                                                                                        | 122 |
| Tabelle 6-18: | Relative Änderung des Bodenkohlenstoffvorrats für jedes Beispiel in den verschiedenen Szenarien im Vergleich zum jeweiligen BaU-Szenario (=100) bis 2112 .....                                                                                                                                                                         | 123 |
| Tabelle 7-1:  | Skalierung der Indikatoren für die Bewertung landwirtschaftlicher Produktionssysteme .....                                                                                                                                                                                                                                             | 126 |
| Tabelle 7-2:  | Ergebnisse der skalierten Indikatoren und des Nutzens .....                                                                                                                                                                                                                                                                            | 127 |
| Tabelle 7-3:  | Zusammenfassung der Bewertung der Umweltindikatoren, des Deckungsbeitrags und des Futter-Eigenanbaus für die Szenarien „Marktfrucht“, „Moderate Extensivierung“ und „Starke Extensivierung“ sowie den zugehörigen Szenariovarianten .....                                                                                              | 133 |
| Tabelle 7-4:  | Zusammenfassung der Bewertung der nachhaltigen Ressourcenleistung (Umweltindikator * Deckungsbeitrag) für die Szenarien „Marktfrucht“, „Moderate Extensivierung“ und „Starke Extensivierung“ sowie den zugehörigen Szenariovarianten .....                                                                                             | 134 |
| Tabelle 7-5:  | Ergebnisse der skalierten Indikatoren und des Nutzens .....                                                                                                                                                                                                                                                                            | 136 |
| Tabelle 7-6:  | Zusammenfassung der Bewertung der nachhaltigen Ressourcenleistung (skalierter Umweltindikator * skalierter Deckungsbeitrag) im Mittel 2012-2112 für die Beispiele und jeweiligen Szenarien .....                                                                                                                                       | 141 |
| Tabelle 7-7:  | Mittelwerte der nachhaltigen Ressourcenleistung im Mittel 2012-2112 für jedes Beispiel in den verschiedenen Szenarien .....                                                                                                                                                                                                            | 143 |

Tabelle A-8:      Auswahl bestehender Bewertungsansätze .....159

## Abkürzungsverzeichnis

|                       |                                                                                                  |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>BaU</b>            | Business as Usual                                                                                |
| <b>BHD</b>            | Brusthöhendurchmesser                                                                            |
| <b>BMEL</b>           | Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft                                               |
| <b>BMUB/BMU</b>       | Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit                             |
| <b>BWI</b>            | Bundeswaldinventur                                                                               |
| <b>DB</b>             | Deckungsbeitrag                                                                                  |
| <b>C</b>              | Kohlenstoff                                                                                      |
| <b>CO<sub>2</sub></b> | Kohlendioxid                                                                                     |
| <b>DLG</b>            | Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft                                                            |
| <b>EC</b>             | European Commission (Europäische Kommission)                                                     |
| <b>ECM</b>            | Energy Corrected Milk (Energiekorrigierte Milch)                                                 |
| <b>FABio</b>          | Forestry and Agriculture Biomass Model                                                           |
| <b>FM</b>             | Frischmasse                                                                                      |
| <b>FNR</b>            | Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.                                                         |
| <b>GAP</b>            | Gemeinsame Agrarpolitik                                                                          |
| <b>GE</b>             | Getreideeinheiten                                                                                |
| <b>GIS</b>            | Geografisches Informationssystem                                                                 |
| <b>GVE</b>            | Großvieheinheiten                                                                                |
| <b>IPCC</b>           | Intergovernmental Panel on Climate Change                                                        |
| <b>Ha</b>             | Hektar                                                                                           |
| <b>KSL</b>            | Kriterien sozialverträglicher Landwirtschaft                                                     |
| <b>KSNL</b>           | Krisensystem Nachhaltige Landwirtschaft                                                          |
| <b>KUL</b>            | Kriterien umweltverträglicher Landwirtschaft                                                     |
| <b>KWL</b>            | Kriterien wirtschaftsverträglicher Landwirtschaft                                                |
| <b>LCA</b>            | Life Cycle Assessment (Ökobilanz)                                                                |
| <b>LULUCF</b>         | Land Use, Land Use Change and Forestry (Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft) |
| <b>MIPS</b>           | Material-Input pro Serviceeinheit                                                                |
| <b>MJ</b>             | Mega Joule                                                                                       |
| <b>N</b>              | Stickstoff                                                                                       |
| <b>ÖLF</b>            | Ökologisch und landeskulturell bedeutsame Flächen                                                |
| <b>PNV</b>            | Potenzielle Natürliche Vegetation                                                                |
| <b>RISE</b>           | Response-Inducing Sustainability Evaluation                                                      |
| <b>TEEB</b>           | The Economics of Ecosystems and Biodiversity                                                     |



|               |                                                                                    |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>TM</b>     | Trockenmasse                                                                       |
| <b>THG</b>    | Treibhausgas(e)                                                                    |
| <b>UBA</b>    | Umweltbundesamt                                                                    |
| <b>UN</b>     | United Nations (Vereinte Nationen)                                                 |
| <b>UNFCCC</b> | United Nations Framework Convention on Climate Change                              |
| <b>VDLUFA</b> | Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten e.V. |
| <b>WEHAM</b>  | Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung                                   |

## Zusammenfassung

### Was ist die Motivation für Effizienzbewertung in der Landnutzung und der Biomassebereitstellung?

Natürliche Ressourcen und Ökosystemleistungen sind unsere Lebensgrundlagen. Ihre Verfügbarkeit ist die Voraussetzung des gesundheitlichen, sozialen und wirtschaftlichen Wohlergehens aller Menschen. Nach aktuellen Zahlen der UN ist damit zu rechnen, dass die Weltbevölkerung bereits im Jahr 2050 die 10-Milliarden-Grenze übersteigen wird. Zudem wird sich der Bevölkerungsanteil, der sich am Konsummuster der gesellschaftlichen Mittelklasse in Industrieländern orientiert, verdreifachen. Beide Trends verschärfen die konkurrierende Nutzung natürlicher Ressourcen.

Die Notwendigkeit einer nachhaltigen und möglichst effizienten Nutzung der natürlichen Ressourcen (Luft, Wasser, Boden, Land und Ökosystemleistungen durch Biodiversität) wurde generell erkannt. Entsprechende Forderungen finden sich auf europäischer und deutscher Ebene in zahlreichen Zielen und Regelungen, z.B.:

- ▶ Roadmap to a Resource Efficient Europe
- ▶ Deutsches Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess, ProgRess II)
- ▶ Nationale Politikstrategie Bioökonomie
- ▶ Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe
- ▶ Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt

Für die erfolgreiche Umsetzung einer effizienten Ressourcennutzung ist ein übergreifendes Monitoring und Bewertungssystem nötig, das anhand von Indikatoren den Weg hin zu einer künftig nachhaltigen Bioökonomie planbar und bewertbar macht. Auf diese Weise können Fortschritte aber auch Grenzen einer effizienten Ressourcennutzung sichtbar gemacht werden.

### Was war das Ziel des Vorhabens?

Das Projekt entwickelte einen methodischen Ansatz, um die multifunktionale Nutzung von Land als Ressource zu beschreiben und zu bewerten und testete diesen an konkreten Beispielen aus der Land- und Forstwirtschaft. Das Vorhaben gliederte sich in drei Phasen:

1. **Welche Ansätze zur Bewertung von Effizienz mit Landnutzungsbezug existieren?** Zunächst wurden Ansätze zur Effizienzbewertung der Biomassebereitstellung und Landnutzung sowie bestehende Konzepte zur Bewertung von Ökosystemleistungen erfasst und analysiert. Ziel war es, diese Ansätze danach zu beurteilen, ob sie geeignet sind, Ressourceneffizienz und Landnutzung mehrdimensional und nach umweltpolitischen Kriterien zu erfassen.
2. **Wie könnte ein umfassender mehrdimensionaler Ansatz zur Bewertung von Ressourceneffizienz bei der Biomassebereitstellung aussehen?** Basierend auf dem erarbeiteten Wissen entwickelte das Vorhaben einen methodischen Ansatz zur Bewertung der Ressourceneffizienz der Biomassebereitstellung aus der Agrar- und Forstwirtschaft. Im Rahmen eines Workshops wurde dieser Ansatz mit Expertinnen und Experten aus der Praxis diskutiert.
3. **Wie kann dieser Ansatz in der Praxis umgesetzt werden?** Mit Hilfe modellhafter Szenarien und anhand von konkreten land- und forstwirtschaftlichen Produktionssystemen wurde die Anwendbarkeit des Bewertungsansatzes in der Praxis geprüft. Die modellhaften Produktionssysteme spiegeln Bedingungen in realen Landnutzungskonzepten wider. Sie lehnen sich an tatsächlichen Betriebsstrukturen an und können bei Bedarf für weitere Analysen angepasst werden.

Der Bewertungsansatz sollte im Rahmen der Vorlauftforschung entwickelt und an realistischen Beispielen getestet werden. Aufgrund des frühen Stadiums der Entwicklung und der eher konzeptionellen Ausrichtung des Vorhabens, wurde die Zielgruppe für eine Anwendung des Bewertungsansatzes nicht konkreter definiert.

niert. Vielmehr zielte das Vorhaben darauf ab, eine wissenschaftliche Grundlage zu legen und Optionen für einen möglichen Ansatz zu konkretisieren. Die notwendigen Schritte zu einer Anwendung in der Praxis sollten dabei diskutiert werden.

### **Wie kann Effizienz von Landnutzung bewertet werden?**

Eine häufige Bewertungsgröße ist die Ressourceneffizienz. Dabei handelt es sich, fokussiert auf das Feld der Landnutzung und Biomassebereitstellung, um das Verhältnis eines bestimmten Nutzens der Produktion zum dafür nötigen Einsatz an natürlichen Ressourcen.

Der mit der Landnutzung und durch die Biomassebereitstellung verbundene Nutzen ist in erster Linie durch den Verkauf der Ernteprodukte (pflanzliche oder tierische Produkte), aber auch durch die Bereitstellung von anderen Ökosystemleistungen gegeben. Obwohl es prinzipiell möglich und auch sinnvoll erscheint, alle Ökosystemleistungen in die Nutzenbetrachtung einzubeziehen, wurde im Rahmen dieses Vorhabens lediglich der ökonomische Nutzen betrachtet.

### **Was leisten bestehende Ansätze?**

Ansätze der Effizienzbewertung setzen den wirtschaftlichen Wert eines Produktes mit den damit verbundenen Umweltauswirkungen ins Verhältnis. In den meisten Ansätzen der Effizienzbewertung wird dabei meist aber nur eine Umweltauswirkung betrachtet, und die vielen Dimensionen der verschiedenen Ressourcen und deren Zusammenwirken nicht berücksichtigt.

Im Konzept der Ökosystemleistungen wird der Begriff des Nutzens erweitert und bezieht neben dem ökonomischen Nutzen auch weitere Leistungen der Ökosysteme als Nutzen mit ein. Dazu zählen Versorgungsleistungen, Regulierungsleistungen und kulturelle Leistungen. In diesem Sinne entspricht die Biomasseproduktion einer Versorgungsleistung, die zu ihrer effektiven Bereitstellung aber auf andere Ökosystemleistungen zurückgreift und diese bei hoher Produktivität oft negativ beeinflusst. Das Konzept der Ökosystemleistungen erlaubt eine Betrachtung des mehrdimensionalen Nutzens, in dem die Dimensionen auf eine gemeinsame Werteskala gebracht werden müssen.

Unterschiede in den im Vorhaben betrachteten bestehenden Bewertungsansätzen treten vor allem bei der Auswahl der Indikatoren, bzw. Umweltgüter auf. Diese können sehr spezifisch sein und sich z.B. auf Boden-erosion beziehen, oder sehr allgemein auf Fläche als natürliche Ressource. Indikatoren müssen allerdings quantitative Maße liefern können, die eine tatsächliche Bewertung und den Vergleich von Systemen ermöglichen. Mehrdimensionale Ansätze werden vor allem bei Nachhaltigkeitsbewertungen verwendet und verzichten meist auf eine Aggregation der Indikatoren, sondern stellen diese nebeneinander dar.

Erfahrungen mit bestehenden Ansätzen zeigen, dass eine explizite Aggregation von Indikatoren unterschiedlicher Dimensionen nur bedingt sinnvoll ist. Die Darstellung eines einheitlichen ökologischen Rucksackes z.B. in Tonnen Materialinput, wie im MIPS-Ansatz verfolgt, führt zu einer Einschränkung auf Indikatoren, die entsprechende Einheiten haben. Es verringert zudem die Transparenz des Ansatzes, wenn umfangreiche Umrechnungen mit entsprechenden Annahmen erfolgen müssen. Eine mehrdimensionale Bewertung erfordert weniger eine volle Integration von Indikatoren in gemeinsamen physikalischen Einheiten als eine Standardisierung der zu betrachtenden Dimensionen. So können Wasserqualität und Treibhausgasemissionen als unterschiedliche Indikatoren kaum sinnvollerweise physisch vereint werden. Allerdings lassen sie sich durch eine Skalierung vergleichbar machen, in dem z.B. der Grad der Zielerreichung eines Reduktionsziels oder die relative Überschreitung von Grenzwerten dargestellt werden.

## Wie kann der Begriff der Ressourceneffizienz erweitert werden?

Ausgangspunkt des Vorhabens war die Definition der Ressourceneffizienz, die sich als Quotient aus einem Nutzen zu einem dafür notwendigen Aufwand an natürlichen Ressourcen darstellt. Natürliche Ressourcen sind Naturgüter, also Bestandteile der Natur, wie z.B. Rohstoffe, Luft, Wasser oder Boden. Diese leisten direkte und indirekte Beiträge zum menschlichen Wohlergehen, die als **Ökosystem(dienst)leistungen** bezeichnet werden. Dabei handelt es sich um Leistungen und Güter, die dem Menschen einen direkten oder indirekten wirtschaftlichen, materiellen, gesundheitlichen oder psychischen **Nutzen** bringen.

Soll Ressourceneffizienz als zentraler Indikator für die Bewertung nachhaltiger Produktionssysteme dienen, so muss dabei eine wichtige Einschränkung beachtet werden. Ressourceneffizienz lässt in der obigen Definition keine Aussage über den absoluten Zustand der Ressourcen oder die Überschreitung von Grenzen der Nachhaltigkeit zu. Trotz steigender Ressourceneffizienz können sich die Nachfrage nach Rohstoffen und die Nutzung weiterer natürlicher Ressourcen erhöhen, z.B. durch Bevölkerungswachstum und die Veränderung von Konsummustern. Das heißt, eine relative Entkopplung von Ressourcennutzung und Wirtschaftswachstum durch die Steigerung der Ressourceneffizienz, ist für einen nachhaltigen Ressourcenerhalt und erfolgreichen Ressourcenschutz deshalb nicht ausreichend.

Mit dem Ansatz der Ökoeffizienz besteht bereits seit 1991 ein Konzept welches dem Konzept der Ressourceneffizienz – Erhöhung des Nutzens bei Verringerung des Ressourceneinsatzes – entspricht. Mit der Erweiterung des bestehenden Konzepts der Ressourceneffizienz um die Ökosystemleistungen ist ein mehrdimensionaler Ansatz entstanden, welcher die Auswirkungen der Produktion auf die verschiedenen Ökosystemleistungen darstellt.

## Was ist die nachhaltige Ressourcenleistung?

Die **nachhaltige Ressourcenleistung** wurde in diesem Vorhaben als eine alternative Erweiterung der Ressourceneffizienz vorgeschlagen. Sie bezieht neben der Ressourcenschonung auch Grenz- oder Schwellenwerte mit ein, die bei Überschreitung bewirken können, dass die Ressourcenleistung auf null gesetzt wird. Auch der erzielte Nutzen durch die Beanspruchung der natürlichen Ressourcen geht mit ein. Dadurch lassen sich Produktionssystemen unterschiedlicher Produktivität vergleichen.

Zur Berechnung der nachhaltigen Ressourcenleistung sind drei Schritte notwendig:

- 1) Die Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen muss durch **Skalierung** in ein relationales Bewertungssystem gebracht werden, um verschiedene Indikatoren vergleichbar zu machen. Auf diese Weise wird zudem die Ressourceninanspruchnahme als Grad der **Ressourcenschonung** betrachtet (z.B. 0=geringe Ressourcenschonung; 1=hohe Ressourcenschonung). Grenzwerte fließen ein, indem festgelegt wird, welche absoluten Werte bei der Skalierung zugeordnet werden.
- 2) Gleichfalls muss der Nutzen durch Skalierung vergleichbar gemacht werden, damit **Aussagen zu Systemen unterschiedlicher Produktivität** möglich werden (0=geringe Produktivität; 1=hohe Produktivität). Ebenfalls werden hier Grenzwerte über absolute Werte für 0 und 1 berücksichtigt.
- 3) Die nachhaltige Ressourcenleistung ergibt sich aus dem Produkt der skalierten Nutzung und der skalierten Ressourcenschonung.

## Welche Schritte sollten bei der Bewertung der Ressourcenleistung generell berücksichtigt werden?

Im Rahmen des Vorhabens wurden alle Schritte, die zur Entwicklung eines mehrdimensionalen Bewertungsansatzes erforderlich sind, transparent dargestellt und beschrieben. Der Bericht beschreibt somit die fünf notwendigen Schritte der Bewertung der nachhaltigen Ressourcenleistung von Biomasseproduktionssystemen.

- ▶ Systemdefinition: bestimmt die Systemgrenzen der Bewertung, die funktionelle Einheit, d.h. der Nutzen der Inanspruchnahme von Ökosystemleistungen;
- ▶ Bilanzierung: auf Grundlage der gewählten Datenbasis werden Indikatoren ausgewählt, die zur Ermittlung der Ressourcenleistung herangezogen werden sollen;
- ▶ Szenarioentwicklung: beinhaltet die Beschreibung eines Referenzsystems und Varianten, z.B. für eine Sensitivitätsanalyse;
- ▶ Darstellung: legt fest welche Art der Skalierung oder Normierung angewandt wird um Bewertungsindikatoren zu vereinheitlichen und zu aggregieren und in welcher Form sie grafisch dargestellt werden;
- ▶ Interpretation: nimmt eine Priorisierung oder Gewichtung vor.

Die fünf Schritte können in die zwei Kategorien "Modellierung" und "Bewertung" unterteilt werden. Bei der Modellierung werden die Fragen der Systemdefinition, Systemgrenzen und Einheiten beantwortet. Anschließend wird die Bilanzierung mittels Modell vorgenommen, bei welcher über die Datenbasis, Indikatoren und Variablen entschieden wird. Im dritten Schritt werden anschließend verschiedene Szenarien entwickelt die einem Referenzszenario gegenüberstehen. In den Schritten vier bis fünf, welche unter die Bewertung fallen, werden die entwickelten Szenarien miteinander verglichen. Die Interpretation der Ergebnisse muss schließlich die zuvor getroffenen Annahmen genauso wie Unsicherheiten der Berechnung berücksichtigen.

### **Welche Modelle wurden im Vorhaben eingesetzt?**

Zur Anwendung kam das Modell FABio (Forestry and Agriculture Biomass Model), das am Öko-Institut entwickelt wurde. FABio ist ein Simulationsmodell für die Beschreibung der Biomasseproduktion in land- und forstwirtschaftlichen Systemen. Im Rahmen des Projekts wurden das FABio Agrarmodell und das FABio Waldmodell eingesetzt. Beides sind agentenbasierte Simulationsmodelle, die mit der Software AnyLogic implementiert wurden.

Das Modell zur Beschreibung landwirtschaftlicher Produktionssysteme teilt die zur Verfügung stehende landwirtschaftliche Nutzfläche in einzelne Parzellen auf, die einheitlich bewirtschaftet werden und unterschiedlicher Größe sein können. Es besteht aus vier Modulen, die jeweils mittels bestimmter Parameter spezifiziert werden können:

- ▶ Feldfrüchte: es werden 17 verschiedene Feldfrüchte bzw. Mischungen, drei Grünlandnutzungen, Blühstreifen und Brache und Winterzwischenfrucht berücksichtigt;
- ▶ Anbauflächen: werden unterteilt in Acker- und Grünland. Auf diesen können die Feldfrüchte bestimmten Regeln folgend angebaut werden;
- ▶ Tiere: es wird ein Tierbestand festgelegt, für dessen Futter die nötige Anbaufläche entsprechend reserviert wird;
- ▶ Organischer Dünger: aggregiert den anfallenden organischen Dünger aus der Tierhaltung und verteilt ihn auf den Anbauflächen.

Das FABio Waldmodell ist ein Simulationsmodell, das Waldwachstum anhand der Entwicklung einzelner Bäume in Waldbeständen in die Zukunft projiziert. Dabei berücksichtigt es neben der Mortalität der Bäume auch das potenzielle Ernteaufkommen, die Totholzentwicklung, Bodenkohlenstoff und Holzprodukte. FABio beschreibt das Wachstum einzelner Bäume als distanzunabhängiges Einzelbaumwachstumsmodell. Als zentrale Datengrundlage für die Beschreibung des Waldzustands und der Initialisierung und der Parametrisierung des Modells dienen die Bundeswaldinventuren von 2002 und 2012, BWI-2 und BWI-3. Drei grundsätzliche Bewirtschaftungsoptionen werden unterschieden, die anhand einzelner Parameter differenziert werden können: Waldumbau, Änderung der Nutzungsintensität und Bestimmung von Flächen ohne Holznutzung (Schutzgebiete).

## Welche Produktionssysteme dienten im Vorhaben als Beispiele für die Anwendung des entwickelten Bewertungsansatzes?

Im Vorhaben wurden drei Produktionssysteme als Beispiele für die Anwendung des Bewertungsansatzes ausgewählt, anhand derer die nachhaltige Ressourcenleistung getestet werden sollte. Produktionssysteme wurden im Vorhaben ähnlich den „Betriebszweigen“ eines land-/forstwirtschaftlichen Betriebs verstanden:

- ▶ Forstwirtschaft (Waldumbau),
- ▶ Pflanzenbau (Marktfruchtanbau, Futteranbau und Grünlandnutzung),
- ▶ Tierhaltung (Milchviehhaltung).

Diese Produktionssysteme liefern Produkte und benötigen dafür Ressourcen (Fläche, Nährstoffe, etc.). Wieviel Produkt in welcher Qualität ein land- bzw. forstwirtschaftliches System bereitstellen kann, hängt vom **natürlichen Ressourcenraum** ab, in dem sie angesiedelt sind. Der natürliche Ressourcenraum beschreibt den Raum der direkten Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen durch ein konkretes oder auch abstraktes Produktionssystem. Es wurde die Annahme getroffen, dass Tierhaltung nur im Zusammenspiel mit Pflanzenbau (Futterbereitstellung) möglich ist, auch wenn die Futtermittel und entsprechende Anbauflächen nicht zwingend in der gleichen Region verortet sein müssen. Aufgrund dieser Abhängigkeit wurden Pflanzenbau und Tierhaltung als Produktionssysteme zusammen betrachtet, wobei es unterschiedliche Ausprägungen der Abhängigkeit geben kann. Zwischen dem Produktionssystem Pflanzenbau und Forstwirtschaft wurden keine Interaktionen angenommen, da Landnutzungsänderungen ausgeklammert wurden.

Anhand von definierten Szenarien, die in den einzelnen Systemen verschiedene Grade der Intensität der Produktion widerspiegeln, sollte ermittelt werden, inwieweit sich die Ressourcenleistung bei einer Steigerung oder einer Verringerung des Nutzens im Vergleich zum Referenzszenario ändert. Dabei wurde nicht betrachtet, welche Auswirkungen die Änderung des Betriebsmanagements (z.B. die Abdeckung von Güllelagern) oder die Verbesserung des Technikeinsatzes (z.B. bei der Düngemittelaufbringung im Pflanzenbau oder unterschiedliche Techniken der Holzurückung im Wald) auf die Ressourcenleistung haben.

## Auf welche Weise wurde der Nutzen der Produktionssysteme ermittelt?

Der mit der Landnutzung und durch die Biomassebereitstellung verbundene Nutzen ist in erster Linie durch den Verkauf der Ernteprodukte (pflanzliche oder tierische Produkte), aber auch durch die Bereitstellung von anderen Ökosystemleistungen gegeben. Obwohl es prinzipiell möglich und auch sinnvoll erscheint, alle Ökosystemleistungen in die Nutzenbetrachtung einzubeziehen, wurde im Rahmen dieser Studie lediglich der **Deckungsbeitrag** als ökonomische Erfolgsgröße berücksichtigt. Der Deckungsbeitrag definiert sich als monetäre Größe aus Erlös (Produktmenge mal Preis) abzüglich variabler Kosten der Produktion. Alternative Parameter zur Abbildung des Nutzens können die Bruttowertschöpfung, der Erlös, die Trockenbiomasse oder auch die Energie- oder Proteinproduktion sein.

## Welche Indikatoren für die Bewertung der Ressourcenleistung wurden für die Produktionssysteme berücksichtigt?

Aufbauend auf der gewählten Definition der nachhaltigen Ressourcenleistung wurden für die natürlichen Ressourcen Luft, Wasser, Boden und Biodiversität Indikatoren gewählt, aus denen der Einfluss des Produktionssystems auf die natürlichen Ressourcen abgeleitet werden kann. Im Produktionssystem Pflanzenbau und Tierhaltung wurden folgende Indikatoren betrachtet:

- ▶ Treibhausgasemissionen: ausgedrückt in kg CO<sub>2</sub> Äq. und hergeleitet über Fläche, Ackerfrüchte, Stickstoffbedarf, Erträge und Ausbringung von Wirtschaftsdünger;



- ▶ Biodiversität: ausgedrückt in Biotopwertpunkten, die u.a. den Flächenanteil zum Anbau von Blühstreifen und Brache, die Anzahl der Ackerfrüchte in der Fruchtfolge, Verzicht auf Düngemittel und Grünlandanteil berücksichtigen;
- ▶ N-Saldo: ausgedrückt in kg N Überschuss/ha und basierend auf Nährstoffeinträgen in und Austrägen aus dem System (Hoftorbilanz);
- ▶ Humussaldo: dargestellt als Humus Äquivalente (kg Humus C), ergibt sich aus der Humusbilanz von Fruchtfolge, Zwischenfrüchten, Ernteresten und der Ausbringung von Gülle/Stallmist;
- ▶ Nährstoffbelastung Gewässer: ausgedrückt als Prozentanteil der Fläche mit N-Saldo größer 50, hergeleitet über die ermittelten N-Bilanzen (Flächenbilanz).

Indikatoren für die Darstellung der Ressourcenleistung in der Forstwirtschaft waren:

- ▶ Holzvorrat: ausgedrückt als Kubikmeter Derbholz pro Hektar, berechnet im Modell als Einzelbaumvolumen- bzw. Bestandesvorrat, unterschieden nach 24 Baumartengruppen;
- ▶ Zuwachs: dargestellt als Kubikmeter Derbholzzuwachs pro Hektar und Jahr;
- ▶ Holzaufkommen: ausgedrückt in Kubikmeter Derbholz pro Hektar und Jahr, beschreibt den potenziell verfügbaren Erntevorrat getrennt nach Stammholz und sonstigem Derbholz (Industrieholz);
- ▶ Totholzvorrat: ausgedrückt in Kubikmeter pro Hektar, unterschieden nach Holzart (Nadelholz, Eiche, anderes Laubholz);
- ▶ Änderungen Biomassekohlenstoff, CO<sub>2</sub>-Senke Biomasse: ausgedrückt in Tonnen CO<sub>2</sub> pro Hektar und Jahr, abgeleitet aus dem modellierten Derbholzvorrat und Biomassefunktionen für andere Kompartimente (Wurzeln, Äste, Blätter);
- ▶ Änderungen Bodenkohlenstoff: ausgedrückt in Tonnen C pro Hektar und Jahr, berechnet durch ein Bodenkohlenstoffmodell, das angetrieben wird durch Klimaparameter, Streumenge und Streuzusammensetzung;
- ▶ Bestandesstrukturen: dargestellt durch den Vorrat der Bäume mit einem Durchmesser von mehr als 80 cm.

### Welche Szenarien wurden für die Produktionssysteme angenommen?

Es wurden drei Szenarien zu Pflanzenbau und Tierhaltung gewählt, die eine deutliche Abnahme der Bewirtschaftungsintensität von dem Szenario „Marktfrucht“ über das Szenario „Moderate Extensivierung“ bis zum Szenario „Starke Extensivierung“ abbilden. Besonders deutlich wird dies in den Annahmen zu Fruchtfolgeparameter, die sich im Szenario Marktfrucht auf Regeln des konventionellen Anbaus auf günstigen Standorten beziehen. Im Szenario „Moderate Extensivierung“ werden konventionelle Anbauregeln für ungünstige Standorte genutzt, die durch längere Wartezeiten geprägt sind, bis eine Feldfrucht wiederholt angebaut werden darf. Im Szenario Starke Extensivierung werden Fruchtfolgeregeln in Anlehnung an den Ökolandbau angewandt.

Als forstwirtschaftliche Produktionssysteme wurden beispielhaft drei Optionen ausgewählt, um typische Herausforderungen der Waldbewirtschaftung in Deutschland darzustellen:

- ▶ Beispiel 1: Waldumbau von Fichte zu Laubholz in den Mittelgebirgen
- ▶ Beispiel 2: Waldumbau Kiefer zu Laubholz in Nordost-Deutschland
- ▶ Beispiel 3: Ausweitung von Naturschutzvorgaben in Buchenwäldern in Süddeutschland

Diese Beispiele basieren auf Daten der Bundeswaldinventur und umfassen jeweils mehrere hundert-, bzw. zehntausend Hektar Staatswald. Zur Initialisierung wurden die Daten der Bundeswaldinventur (BWI) entsprechend gefiltert, um die Flächen mit einer für die Produktionssysteme typischer Flächenausstattung zu generieren. Für die Bewertung der Ressourcenleistung in der Forstwirtschaft wurden für die drei Beispiele verschiedene Szenarien simuliert. Ein **Business as Usual** oder Referenzszenario stellt die Fortschreibung von Trends dar, als eine Referenz, gegen die Alternativen verglichen werden können. Daneben wurde ein **Ex-**

**tensiv-Szenario** definiert, das generell von einer Verringerung der Bewirtschaftungsintensität ausgeht. Beispiel 1 und 2 sehen einen Waldumbau von Nadelholz zu Laubholz vor. Um diesen zu erreichen wurden in einem **Waldumbau-Szenario** Ernte und Pflegemaßnahmen umgesetzt um einen Baumartenwechsel zu Buche herbeizuführen. Beispiel 3 stellt Teile von Buchenwäldern unter Schutz (**Schutzflächenszenario**), um Naturschutzbelange stärker zu berücksichtigen. Dazu wurden Durchforstungen und Erntemaßnahmen in Beständen ausgesetzt, die älter als 160 Jahre alt sind.

### **Welche Ergebnisse ergaben sich aus der Bewertung der nachhaltigen Ressourcenleistung für die untersuchten Produktionssysteme?**

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgte auf verschiedenen Ebenen. In einem ersten Schritt wurden die Ergebnisse des Nutzens und der Umweltindikatoren für alle Szenarien mit dem Flächenbezug pro Hektar in einem Spinnendiagramm dargestellt. In einem zweiten Schritt wurde die nachhaltige Ressourcenleistung für alle Umweltindikatoren berechnet und es erfolgte ebenfalls eine Darstellung der Ergebnisse in Form eines Spinnendiagramms. In einem dritten Schritt war es möglich über die Bildung des Mittelwerts aller Ressourcenleistungen über die Indikatoren einen gemittelten Wert zu berechnen.

Die Ergebnisse des ersten Schrittes zeigten klar die Auswirkungen einer extensiveren Produktionsweise auf die einzelnen Umweltindikatoren (Verbesserung) und die Produktivität (Verschlechterung) im Vergleich zum intensiveren System. Auch in der Darstellung der nachhaltigen Ressourcenleistung überwogen für einige Umweltindikatoren die Vorteile der hohen Produktivität des intensiven Systems. Für andere hingegen fand die intensivere Nutzung allerdings so deutlich zu Lasten der Umweltindikatoren statt, dass trotz veringerte Produktivität die extensiven Systeme eine bessere nachhaltige Ressourcenleistung zeigten.

Im dritten Schritt wurde die nachhaltige Ressourcenleistung der Szenarien durch einen gemittelten Wert dargestellt. Die Reduktion der nachhaltigen Ressourcenleistung auf nur einen Wert pro Produktionssystem entspringt dem Wunsch nach einem richtungssicheren Indikator, der zum schnellen Vergleich von Produktionssystemen verwendet werden kann. Die Berechnung hat allerdings zur Folge, dass Informationen zu einzelnen Indikatoren verloren gehen und wurde deshalb auch in diesem Vorhaben kritisch diskutiert

Abbildung 0-1 zeigt beispielhaft ein zentrales Ergebnis des Vorhabens, die nachhaltige Ressourcenleistung für ein Beispiel aus der Landwirtschaft, dargestellt in einem Spinnendiagramm, in dem die Szenarien „Marktfucht“, „Moderate Extensivierung“ und „Starke Extensivierung“ anhand verschiedener skalierten Indikatoren miteinander verglichen werden.

### **Welche Vorteile, welche Nachteile hat der entwickelte Bewertungsansatz?**

Die nachhaltige Ressourcenleistung erlaubt eine Betrachtung der mehrdimensionalen Inanspruchnahme von natürlichen Ressourcen, bzw. der Ressourcenschonung, in dem die Dimensionen auf eine gemeinsame Werteskala gebracht werden. Theoretisch lässt sich auch der im Vorhaben betrachtete ökonomische Nutzen als Teil der Gleichung ausdehnen auf (monetär bewertete) andere Ökosystemleistungen. Die Ressourcenschutzstrategie stellt die klassische Ressourceneffizienz als einen Schlüsselindikator ins Zentrum. Das Konzept der nachhaltigen Ressourcenleistung kann direkt an das Konzept der Ressourceneffizienz anschließen und diesen erweitern.

Gleichwohl legen die Ergebnisse (v.a. die Besserstellung des intensiveren Systems bei Einbezug des produzierten Nutzens) nahe, dass positive Effekte der Ökosystemleistung viel stärker in den Nutzen zu integrieren sind (z.B. bei extensiveren Produktionssystemen), um zu ausgewogeneren Ergebnissen für die nachhaltige Ressourcenleistung zu gelangen.

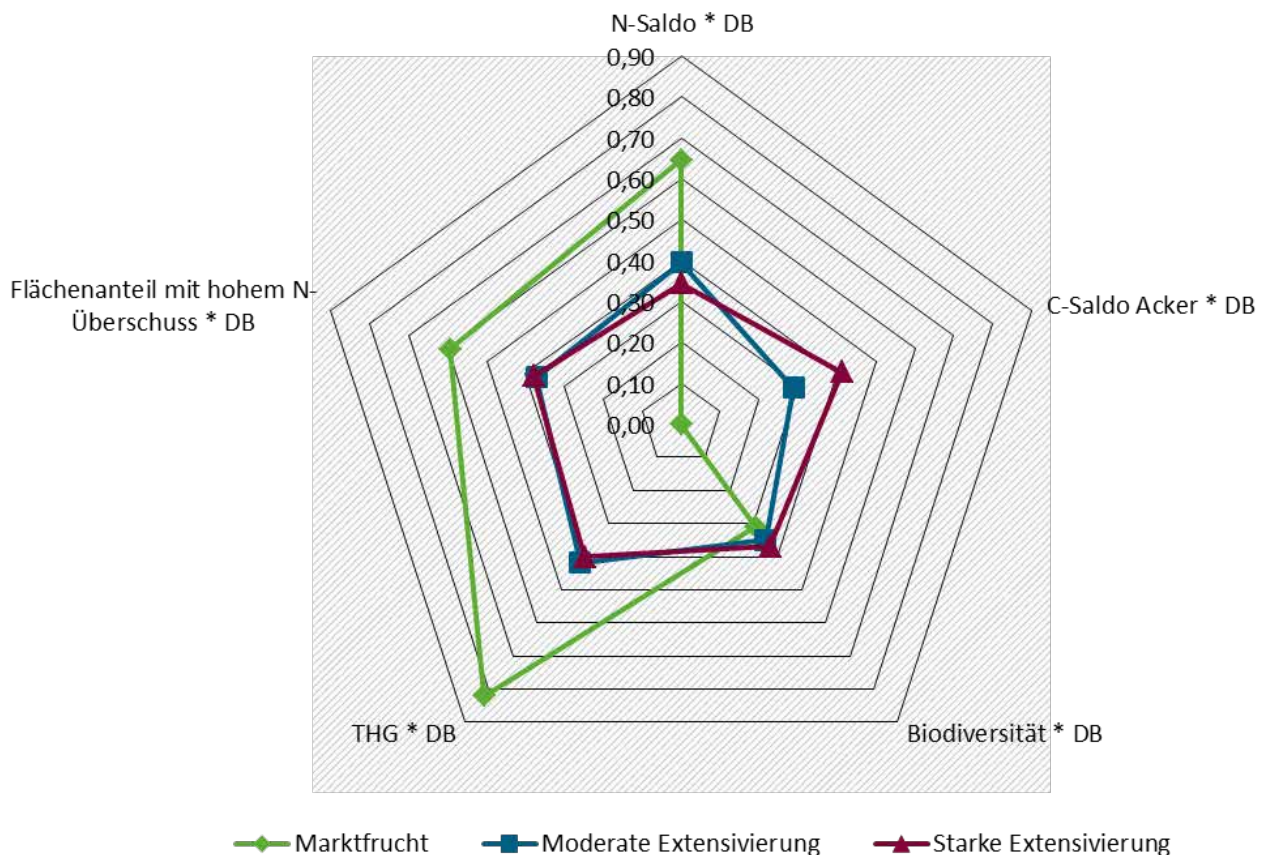
Wie in der klassischen Definition der Ressourceneffizienz, bleibt der entwickelte Bewertungsansatz bei dem monetären Wert des Nutzens in Form des direkten ökonomischen Nutzens für Biomasse (Deckungsbeitrag). In der beispielhaft durchgeführten Modellierung wurde der Nutzen auf die Herstellung der Biomasse und der damit verbundenen Erlöse beschränkt. Die Modellberechnungen berücksichtigen keinen zusätzlichen



**Nutzen** (i.S. einer Schonung der Ressourcen) wie höhere Preise für extensiver erzeugte Produkte noch **Lasten** z.B. durch erhobene Ordnungsgelder, Sanktionierung durch Kürzung von Prämien und Beihilfen bei Wirtschaftsweisen, die die Umweltqualitätsziele in Gefahr bringen. Dies führt zu einer Besserstellung von Produktionssystemen, in denen der größte Erlös aus der Produktion gebildet wird.

Damit ist eine Erweiterung der Datengrundlage bezüglich des Nutzens notwendig. Unter den heutigen Bedingungen erwirtschaften Landwirte höhere Erlöse/Deckungsbeiträge, da insbesondere die Lasten sich nicht im Preisgefüge widerspiegeln, sondern externalisiert sind. In diesem Sinne sind auch die Ergebnisse der Modellierung zu interpretieren, da sie auf das heutige Preisgefüge zurückgreifen. Im Rahmen des Projektes war es nicht vorgesehen ein Rechenmodell für die Monetarisierung externer Kosten zu entwickeln. Damit spiegeln die Ergebnisse die heutigen Bedingungen wider, in denen es nicht wirtschaftlich ist, Erträge einzubüßen um Ressourcen zu schonen. Die Verwendung eines erweiterten Datensatzes der explizit Lasten und Ressourcenschonung berücksichtigt kann hier Abhilfe leisten.

Abbildung 0-1: Beispielhafte Darstellung der nachhaltigen Ressourcenleistung in einem Spinnendia-gramm für die Bewertung der Produktionssysteme „Marktfrucht“, „Moderate Extensivierung“ und „Starke Extensivierung“ als Ergebnis des Vorhabens.



Quelle: Eigene Berechnungen

### **Welche Weiterentwicklungen sind generell denkbar?**

Grundsätzlich konnte in den Arbeiten im Projekt gezeigt werden, dass die nachhaltige Ressourcenleistung sinnvoll angewandt werden kann. Da es sich aber um einen neu entwickelten Bewertungsansatz handelt, sind weiterführende Arbeiten empfehlenswert. Hierzu zählen:

- ▶ Testen des Bewertungsansatzes bei einer Erweiterung des Nutzens (höhere Preise für extensivere Produktion, Berücksichtigung von Lasten);
- ▶ Berücksichtigung weitere Indikatoren für die Inanspruchnahme von natürlichen Ressourcen (z.B. Biodiversität);
- ▶ Detaillierte Untersuchungen zu Grenzwerten, die in die Berechnung der nachhaltigen Ressourcenleistung eingehen können.

Mit zukünftigen Arbeiten sollte angestrebt werden, den Bewertungsansatz der nachhaltigen Ressourcenleistung hin zu einem robusten Bewertungssystem weiterzuentwickeln, dass für eine Vielzahl von Produktionssystemen angewandt werden und in bestehende Bewertungstools eingegliedert werden kann. Bei Verknüpfung des Ansatzes mit einem geografischen Informationssystem, wären detaillierte räumliche Analysen und auch die Erweiterung der verwendeten Indikatoren möglich.

### **Welche Schlussfolgerungen werden aus dem Vorhaben gezogen?**

Im Rahmen dieses Projektes wurde ein nachvollziehbarer, transparenter und umfassender Ansatz entwickelt, welcher zur mehrdimensionalen Bewertung der nachhaltigen Ressourcenleistung bei der Biomassebereitstellung genutzt werden kann. In Zusammenhang mit den verwendeten land- und forstwirtschaftlichen Modellen wurde der Bewertungsansatz erfolgreich angewandt. Auch für andere Modellierungstools oder auch spezifische Datenerhebungen ist damit ein alternativer Baukasten verfügbar, der die Bewertung von Ressourceneffizienz in der Praxis ermöglicht.

## Summary

### What is the motivation for efficiency assessment in land use and biomass production?

Natural resources and ecosystem services are our livelihoods. Their availability is the prerequisite for health, social and economic well-being of all people. According to current figures of the UN, it is to be expected that by 2050 the world's population will exceed the 10 billion mark. In addition, the share of population with consumption patterns of the social middle class in industrialized countries will triple. Both trends exacerbate the competing use of natural resources.

The need to use natural resources (e.g. raw materials, air, water, soil, land and ecosystem services through biodiversity) in a sustainable and efficient manner has generally been recognized. Corresponding initiatives are found at European and German level in numerous goals and regulations, for example:

- ▶ Roadmap to a Resource Efficient Europe
- ▶ German Resource Efficiency Program (ProgRess, ProgRess II)
- ▶ National Policy Strategy Bioeconomy
- ▶ Subsidy Program Renewable Resources
- ▶ National Biodiversity Strategy

Successful implementation of efficient use of natural resources requires a comprehensive monitoring and assessment system that uses indicators helping to design and to evaluate the path to a sustainable bioeconomy. In this way, progress and also limits to the efficient use of natural resources can be made visible.

### What was the goal of the project?

The project developed a methodological approach to describe and evaluate the multifunctional use of land as a resource and tested it on concrete examples from agriculture and forestry. The project was divided into three phases:

#### 1. Which approaches already exist for assessing efficiency of land use and biomass production?

Initially, approaches for assessing efficiency of biomass production and land use as well as approaches for assessing ecosystem services were identified and analyzed. The aim was to identify approaches suitable for evaluating resource efficiency in a multi-dimensional way according to environmental criteria.

#### 2. How would a comprehensive multi-dimensional approach for assessing resource efficiency of biomass production look like?

Based on the knowledge gained in the previous step, the project developed a methodological approach to assess resource efficiency of biomass supply from agriculture and forestry. During a workshop, this approach was discussed with experts with practical experience.

#### 3. How can this approach be put into practice?

Using exemplary modeled scenarios of agricultural and forestry production systems, the applicability of the approach was tested in practice. The modeled production systems reflect realistic conditions. They are based on typical structures and can be adapted as needed for further analysis.

The approach was to be developed as early stage research and tested on realistic examples. Due to the more conceptual orientation of the project, the target group for applying the assessment approach was not defined concretely. Rather, the project aimed to provide a scientific basis and substantiate options for a possible approach. The necessary steps for an application in practice were meant to be discussed.

## How can efficiency of land use be assessed?

A common metric for an assessment is resource efficiency. Focusing on the field of land use and biomass production, this can be defined as the ratio of a particular utility or output of a production system and the associated input, consumption or use of natural resources.

The utility associated with land use and biomass production is primarily provided by the sale of crop products (plant or animal products), but also by the provision of other ecosystem services. It is reasonable to include all ecosystem services in the consideration of utility, however, only economic benefits were considered within the framework of this project.

## What do existing approaches do?

Approaches for assessing resource efficiency put the as utility the economic value of a product in relation to its associated environmental impact. Most approaches, however, address environmental impacts only individually. Thus, the plenty dimensions of various resources and their interaction are often not taken into account.

The concept of ecosystem services broadens the notion of utility and, in addition to economic benefits, also includes other ecosystem services as benefits. These include supply services, regulatory services and cultural services. In this sense, biomass production equals a supply service, but it uses other ecosystem services to effectively deliver it, often negatively impacting it. The concept of ecosystem services allows a consideration of the multi-dimensional benefits in which the dimensions must be brought to a common scale of values.

Differences in the existing assessment approaches considered in the project exist mainly regarding the selection of indicators or the environmental aspects covered. These may be very specific and may be e.g. refer to soil erosion, or very generally to land as a natural resource. However, indicators must be able to provide quantitative measures that allow an actual assessment and comparison of systems. Multi-dimensional approaches are mainly used in sustainability assessments and usually refrain from aggregating the indicators, but present them side by side.

Experience with existing approaches shows that an explicit aggregation of indicators of different dimensions makes only limited sense. The presentation of a uniform ecological backpack, e.g. in tonnes of material input, as pursued in the MIPS approach, results in a restriction to indicators that have common units. It also reduces the transparency of the approach when large conversions have to be made with appropriate assumptions. A multi-dimensional assessment requires not necessarily a full integration of indicators in common physical units but a standardization of the dimensions to be considered. Thus, water quality and greenhouse gas emissions as different indicators can hardly be physically combined. However, they can be compared through scaling e.g. regarding the degree of target achievement of a reduction target or the relative exceedance of limits.

## How can the concept of resource efficiency be extended?

The starting point of the project was the definition of resource efficiency, defined as the quotient of utility and input of natural resources. Natural resources are natural goods, i.e. components of nature, such as raw materials, air, water or soil. These make direct and indirect contributions to human well-being, which are referred to as **ecosystem services**. These are services and goods that deliver a direct or indirect economic, material, health or psychological **benefit**.

If resource efficiency is to serve as a central indicator for the evaluation of sustainable production systems, an important limitation must be taken into account. Resource efficiency following the above definition does not assess the absolute state of resources nor the transgression of sustainability. Despite increasing re-

source efficiency, the demand for raw materials and the use of other natural resources may increase, e.g. through population growth and changing patterns of consumption. Therefore, a relative decoupling of resource use and economic growth by increasing resource efficiency is not sufficient for sustainable resource use and successful **resource conservation**.

The concept of eco-efficiency already exists since 1991. It is a concept that corresponds to the concept of resource efficiency - increasing the benefits while reducing the use of resources. By extending the concept of resource efficiency to ecosystem services, eco-efficiency offers a multi-dimensional approach that is used for assessing impacts of production on different ecosystem services.

### What is sustainable resource output?

The **concept of sustainable resource output** was proposed in this project as an alternative extension of resource efficiency. In addition to utility and the impact on natural resources, it also includes thresholds and limits which, if exceeded, cause the resource output to be set to zero. The benefits gained through the use of natural resources can also be included. This allows production systems of different productivity to be compared regarding specific indicators.

There are three elements to calculating sustainable resource output:

- 1) The use of natural resources must be scaled into a relational **scaling system** to make different indicators comparable and assessing the degree of **resource conservation** (for example, 0 = low resource conservation, 1 = high resource conservation). Limits are integrated by determining which absolute values are assigned during scaling.
- 2) Similarly, the utility needs to be scaled in order to **assess systems of different productivity** (0 = low productivity, 1 = high productivity). Also here, limits are considered between 0 and 1.
- 3) Sustainable resource output results from the mathematical product of scaled utility and scaled resource conservation.

### Which steps are needed for assessing sustainable resource output?

As part of the project, the necessary steps for developing a multi-dimensional assessment approach have been developed and described. The report describes the five steps required to estimate sustainable resource output of biomass production systems.

- ▶ System definition: determines the system boundaries of the assessment, the functional unit, i.e. the benefits of using ecosystem services;
- ▶ Assessment: on the basis of the selected database, indicators are selected that are to be used to assess resource output;
- ▶ Scenario development: includes the description of a reference system and variants, e.g. for a sensitivity analysis;
- ▶ Presentation: determines which type of scaling or standardization is used to standardize and aggregate rating indicators and in which form they are graphically displayed;
- ▶ Interpretation: makes a prioritization or weighting.

The five steps can be divided into two categories, modelling and evaluation. Modeling addresses questions of system definition, system boundaries and units. Subsequently, the accounting is carried out by means of a model, in which the database, indicators and variables are selected. In the third step, various scenarios are then developed that are compared to a reference scenario. Finally, the interpretation of the results must take into account the assumptions made in earlier steps as well as uncertainties of the calculation.

## Which models were used in the project?

The model FABio (Forestry and Agriculture Biomass Model), developed at Öko-Institut, was used. FABio is a simulation model for the description of biomass production in agricultural and forestry systems. The project used the FABio agricultural model and the FABio forest model. Both are agent-based simulation models implemented in the software AnyLogic.

The model for describing agricultural production systems divides the available agricultural land into individual plots that are managed uniformly and can be of different sizes. It consists of four modules, each of which can be specified by means of specific parameters:

- ▶ Field crops: 17 different crops or mixtures, three grassland uses, flowering strips and fallow and winter intercropping are taken into account;
- ▶ Acreage: divided into arable and grassland. On these crops can be grown following certain rules;
- ▶ Animals: a livestock is established for whose feed the necessary acreage is reserved accordingly;
- ▶ Organic fertilizer: aggregates the resulting organic fertilizer from livestock management and distributes it to the cultivated areas.

The FABio forest model is a simulation model that projects forest growth into the future through the development of individual trees in forest stands. In addition to mortality of the trees, it also takes into account the potential crop yield, deadwood development, soil carbon and wood products. FABio describes the growth of individual trees as a distance-independent single tree growth model. The National Forest Inventories (BWI) of 2002 and 2012, BWI-2 and BWI-3, serve as a central data base for the description of forest conditions and the initialization and parameterization of the model. A distinction is made between three basic management options, which can be differentiated on the basis of individual parameters: forest conversion, change in intensity of use and determination of areas without wood use (protected areas).

## Which production systems were used in the project as examples for the application of the developed approach?

The project selected three production systems as application examples to test sustainable resource output. Production systems were designed to reflect different branches of a farm / forestry operation:

- ▶ Forestry (forest management change),
- ▶ Crop production (market crop and feed production and grassland management),
- ▶ Livestock management (dairy cattle husbandry).

These production systems supply products and require resources (area, nutrients, etc.). Productivity and quality depend on the **natural resource space** in which it is located. The natural resource space describes the space of direct use of natural resources through a concrete or even abstract production system. It was assumed that livestock management is only possible in conjunction with crop production (feed provision), even if the feed and corresponding cultivated areas do not necessarily have to be located in the same region. Because of this dependency, crop production and livestock management were considered together as production systems, whereby there may be different forms of dependency. No interactions were assumed between the crop production and forestry production systems as land-use changes were excluded.

Based on defined scenarios, which reflect different levels of production intensity in the individual systems, it was determined to what extent resource output changes in the scenarios compared to the reference. It did not consider the impact on sustainable resource output of the change in farm management (for example, covering the manure storage) or the improvement of the use of technology (for example in the application of fertilizers in crop production or different techniques of wood removal in the forest).



## How was the utility of the production systems determined?

The utility or benefit associated with land use and biomass production are primarily provided by the sale of crop products (plant or animal products), but also by the provision of other ecosystem services. Although it seems possible in principle and also makes sense to include all ecosystem services in the consideration of benefits, only the **contribution margin** (short: margin) was taken into account as an economic indicator. The contribution margin is defined as the monetary amount of revenue (product quantity times price) less variable costs of production. Alternative parameters for mapping the benefits could be gross value added, the revenue, dry biomass production or the energy or protein production.

## Which indicators of resource output assessment have been considered for the production systems?

Based on the definition of sustainable resource output, indicators for assessing the impact of the production system on natural resources were developed. The following indicators were considered in the production system crop production and livestock management:

- ▶ Greenhouse gas emissions: expressed in kg CO<sub>2</sub> eq. and derived from area, crops, nitrogen requirements, yields and application of manure;
- ▶ Biodiversity: expressed in biotope values, which e.g. take account of the proportion of land used for the cultivation of flowering strips and fallow land, the number of crops in crop rotation, the absence of fertilizers and the proportion of grassland;
- ▶ N-balance: expressed in kg N surplus / ha and based on nutrient inputs into and out of the system (farm gate balance);
- ▶ Humus balance: represented as humus equivalents (kg humus C), results from the humus balance of crop rotation, catch crops, crop residues and the application of manure / manure;
- ▶ Nutrient contamination of waters: expressed as a percentage of the area with an N-balance greater than 50, derived from the calculated N-balances (area balance).

Indicators for assessing sustainable resource output in forestry were:

- ▶ Growing stock: expressed as cubic meters of wood per hectare, calculated in the model as a single tree volume and aggregated to stand level growing stock, differentiated by 24 tree species groups;
- ▶ Increment: represented as cubic meters of wood increment per hectare and year;
- ▶ Harvest potential: expressed in cubic meters of wood per hectare per year, describes the potentially available growing stock separately for logs and other wood (industrial wood);
- ▶ Deadwood stock: expressed in cubic meters per hectare, differentiated by type of wood (coniferous, oak, other broadleaf);
- ▶ Changes in biomass carbon, CO<sub>2</sub> biomass sink: expressed in tonnes of CO<sub>2</sub> per hectare per year, derived from modeled growing stock and biomass functions for other compartments (roots, branches, leaves);
- ▶ Soil carbon changes: expressed in tonnes C per hectare per year, calculated using a soil carbon model driven by climate parameters, spreading rate and litter composition;
- ▶ Stand structures: represented by the volume of trees with a diameter of more than 80 cm.

## Which scenarios were developed for the production systems?

Three scenarios were chosen for crop production and livestock management, which show a significant decrease in management intensity from the "market crop" scenario to the "moderate extensification" scenario to the "strong extensification" scenario. This gradient becomes evident particularly looking at crop rotation parameters, which in the market crop scenario refer to rules of conventional cultivation in favorable locations. The moderate extensification scenario uses conventional cultivation rules for unfavorable loca-

tions, which are characterized by longer waiting times, until a crop may be planted repeatedly. In the strong extensification scenario, crop rotation rules based on organic farming are applied.

As forestry production systems, three options were selected to illustrate typical forest management challenges in Germany:

- ▶ Example 1: Forest conversion from spruce to broadleaf in the low mountain ranges
- ▶ Example 2: Forest conversion of pine to broadleaf in northeastern Germany
- ▶ Example 3: Extending nature conservation requirements in beech forests in southern Germany

These examples are based on data from the National Forest Inventory (BWI) and each comprises several hundred or ten thousand hectares of state forest. For initialization, the data of the BWI were filtered accordingly in order to generate the areas with a typical area equipment for the production systems. For the evaluation of resource output in forestry different scenarios were simulated for the three examples. A business as a usual or reference scenario represents the continuation of trends, as a reference against which alternatives can be compared. In addition, an extensive scenario was defined, which generally assumes a reduction in management intensity. Examples 1 and 2 provide forest conversion from coniferous to broadleaf. In order to achieve this, harvesting and silvicultural measures were implemented in a forest conversion scenario in order to induce a tree species change towards beech. Example 3 places parts of beech forests under protection (protection area scenario) in order to take greater account of conservation issues. For this purpose, thinning and harvesting were suspended in stocks older than 160 years old.

### **Which results were achieved by the evaluation of sustainable resource output for the examined production systems?**

The presentation of the results took place at different levels. In a first step, the results of utility and environmental indicators for all scenarios with the area per hectare were presented in a spider chart. In a second step, the sustainable resource output for all environmental indicators was calculated and the results were also presented in the form of a spider chart. In a third step, also an averaged value over all indicators was calculated.

The results of the first step clearly showed the effects of a more extensive mode of production on the individual environmental indicators (improvement) and productivity (deterioration) compared to the more intensive system. The presentation of sustainable resource management also outweighed the benefits of the high productivity of the intensive system for some environmental indicators. For others, however, more intensive use was so much at the expense of environmental indicators that, despite reduced productivity, the extensive systems showed better sustainable resource output.

In the third step, the sustainable resource output of the scenarios was summarized by an average value that was calculated for allowing comparisons of different production systems. However, the reduction to one value has the consequence that information on individual indicators is lost and was therefore also critically discussed in this project.

Figure 0-2 shows an example of a central result of the project, the sustainable resource output for an example from agriculture, shown in a spider chart, comparing the scenarios "market crop", "moderate extensification" and "strong extensification" with different scaled indicators.

### **What are the advantages and disadvantages of the developed approach?**

Sustainable resource output allows a consideration of the multi-dimensional use of natural resources, or the conservation of resources, in which the dimensions are brought to a common scale of values. Theoretically, the economic benefits considered in the project can also be extended to other ecosystem services (assessed in monetary terms) as part of the equation. The resource conservation strategy focuses on classic

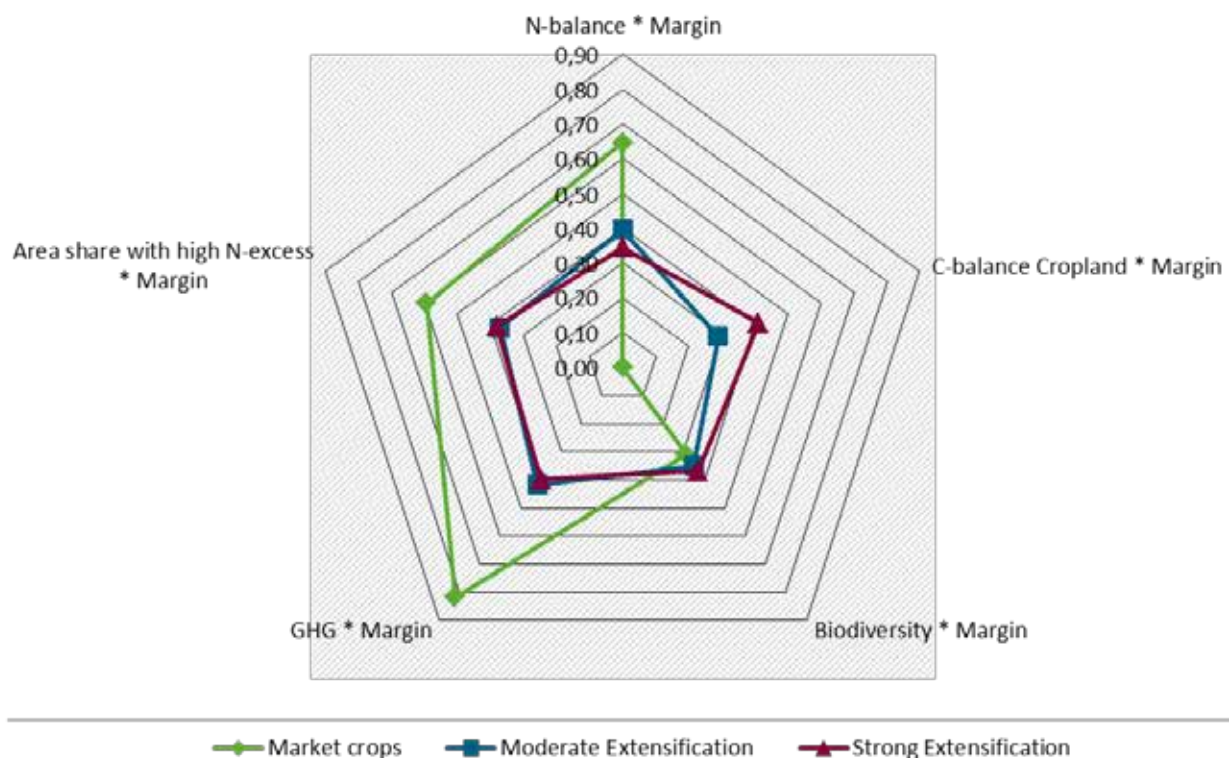


resource efficiency as a key indicator. The concept of sustainable resource output can directly follow and expand the concept of resource efficiency.

As in the classical definition of resource efficiency, the developed approach remains with the monetary value of the benefit in the form of the direct economic benefit for biomass (contribution margin). In the exemplary modeling, the benefits were limited to the production of biomass and the associated revenues. The model calculations did not take into account any additional benefits (i.e. conservation of resources) such as higher prices for extensively produced products nor costs, sanctions by cutting premiums and subsidies on business practices. This leads to a bias towards production systems with largest utility.

Thus, an extension of utility is necessary. In today's conditions, farmers that intensify can generate higher contribution margins, since environmental impacts are not reflected in the price structure, but are externalized. In this sense, the results of the scenarios should be interpreted carefully as they rely on today's price structure. Within the framework of the project it was not planned to develop a calculation model for the monetization of external costs. Theoretically, the economic benefit considered in the project can be extended as part of the equation to (monetarily assessed) other ecosystem services. The national resource protection strategy puts classic resource efficiency as a key indicator at the center. The concept of sustainable resource output can be directly linked to and extend the concept of resource efficiency.

Figure 0-2: Example for a presentation of the sustainable resource output in a spider diagram for assessing production systems „Crop production“, „Moderate Extensification“ and „Strong Extensification“ as a result of the project.



Source: Own calculations

### **Which further developments are generally conceivable?**

The project demonstrated that the concept of sustainable resources output can be applied meaningfully. Since this is a newly developed evaluation approach, further work is recommended. This includes:

- ▶ Testing the valuation approach with an extension of the benefits (higher prices for more extensive production, consideration of loads);
- ▶ Taking into account other indicators for the use of natural resources (such as biodiversity);
- ▶ Detailed investigations of thresholds and limits that can be included in the calculation of sustainable resource output.

Future work should seek to refine the sustainable resource output assessment approach towards a robust assessment system that can be applied to a variety of production systems and integrated into existing assessment tools. Linking the approach to a geographical information system would allow for a more detailed spatial analysis as well as the extension of the indicators used.

### **Which conclusions can be drawn from the project?**

Within the framework of this project, a comprehensible, transparent and comprehensive approach was developed, which can be used for the multi-dimensional evaluation of sustainable resource output in the provision of biomass. The approach was successfully applied in relation to the agricultural and forestry models used. For other modeling tools or specific data collections, an alternative toolkit is available that enables the evaluation of resource efficiency.

# 1 Einleitung und Hintergrund

**Natürliche Ressourcen** – d.h. erneuerbare und nicht erneuerbare Primärrohstoffe, der physische Raum (Fläche), die Umweltmedien (Wasser, Boden, Luft), die strömenden Ressourcen (z.B. Erdwärme, Wind-, Gezeiten- und Sonnenenergie) (UBA 2012b) sowie Ökosystemleistung<sup>1</sup>, sind unsere Lebensgrundlage. Ihre Verfügbarkeit ist die Voraussetzung des gesundheitlichen, sozialen und wirtschaftlichen Wohlergehens. Der Nutzungsdruck auf natürliche Ressourcen korreliert stark mit der Bevölkerungszahl und der Nutzungsweise der Ressourcen (z.B. den ökonomischen Rahmenbedingungen). Nach aktuellen Trendfortschreibungen der UN ist damit zu rechnen, dass die Weltbevölkerung bereits im Jahr 2050 die 10-Milliarden-Grenze übersteigen wird (UNDESA 2017). Parallel hierzu wird prognostiziert, dass sich der Bevölkerungsanteil, der sich am Konsummuster der gesellschaftlichen Mittelklasse in den hochentwickelten Industrieländern orientiert, gegenüber heute verdreifachen wird (EC 2011). Dies wird eine steigende sowie konkurrierende Nutzung natürlicher Ressourcen nach sich ziehen.

Der kontinuierliche Anstieg der Nutzung natürlicher Ressourcen ist gut dokumentiert, wie beispielsweise mittels der Berechnung des globalen ökologischen Fußabdrucks: 1961 wurden ca. 2/3 der jährlich erneuerbaren Ressourcen von der für den Menschen verfügbaren Fläche in Anspruch genommen; im Jahr 2017 wurde das gesamte Budget an Fläche für erneuerbare Ressourcen bereits in weniger als acht Monaten verbraucht<sup>2</sup>. Damit ist ausgedrückt, dass heute die Nutzung natürlicher Ressourcen deren Regenerationsfähigkeit deutlich übersteigt (vgl. auch BMUB 2012, 2016a).

Es ist zukünftig mit einer Verschlechterung der Situation zu rechnen. Ein steigender Nutzungsdruck auf Landflächen sowie andere natürliche Ressourcen für die Produktion von Agrar- und Forstgütern wird z.B. vom UBA (2012a) erwartet. Prognostiziert wird, dass die Nachfrage nach biogenen Rohstoffen (Nahrung, Futtermittel und Fasern) bis 2050 um 70% ansteigen könnte (EC 2011). Inwieweit eine derartig gestiegene Nachfrage durch eine nachhaltige Produktion zu decken ist, ist in Frage zu stellen (vgl. Thrän et al. 2015).

Die Notwendigkeit einer begrenzten, nachhaltigen und möglichst effizienten Nutzung natürlicher Ressourcen, die die Leistungsfähigkeit von Ökosystemen nicht überstrapaziert, wurde bereits in den 1970er Jahren gefordert (z.B. Grenzen des Wachstums, Meadows et al. 1972) und ist spätestens seit der UN Rio Erklärung zu Umwelt und Entwicklung 1992 in der politischen Diskussion angekommen. Heute findet sich die Forderung nach einer effizienten Nutzung von natürlichen Ressourcen auf internationaler, europäischer und deutscher Ebene in den Zielen und Regelungen zahlreicher Sektoren und auch in der Industrie wieder. Einige Beispiele mit Bezug zu Biomasseproduktion und Landnutzung hierfür werden an dieser Stelle angeführt:

- ▶ Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt (BMU 2007): Es wird herausgestellt, dass nicht-nachhaltige Produktions- und Konsummuster in Industrieländern zu den Hauptgründen für den weltweiten Verlust der biologischen Vielfalt gehören. Eine Möglichkeit zur Verbesserung der Situation sind z.B. eine Änderung der Konsummuster und eine effiziente Ressourcennutzung.
- ▶ Roadmap to a Resource Efficient Europe (EC 2011): *„Die Vision ist, dass „bis 2050 die Wirtschaft der Europäischen Union auf eine Weise gewachsen [ist], die die Ressourcenknappheit und die Grenzen des Planeten respektiert. [...] Alle Ressourcen werden nachhaltig bewirtschaftet, von Rohstoffen bis hin zu Energie, Wasser, Luft, Land und Böden. Die Etappenziele des Klimaschutzes wurden erreicht, während die Biodiversität und die Ökosystemleistungen, die sie unterstützt, geschützt und wertbestimmt werden und im Wesentlichen wiederhergestellt sind.“* Ebenfalls wird die Notwendigkeit einer ressourcenschonenden Landwirtschaft herausgestellt.

<sup>1</sup> Bezugnehmend auf die Leistungsbeschreibung wird in diesem Projekt in Abweichung zu UBA (2012) nicht Biodiversität als solche als natürliche Ressource betrachtet. Vielmehr sollten, unter Beachtung der Definition des Begriffes Ressource (welcher eine Nutzung impliziert), Ökosystemleistungen als natürliche Ressource betrachtet werden.

<sup>2</sup> Im Jahr 2017 war der 2. August der Earth Overshoot Day: Der Tag, an dem unser ökologische Fußabdruck die jährlich erneuerbaren Ressourcen übersteigt (<http://www.footprintnetwork.org/our-work/earth-overshoot-day/>)

- ▶ Deutsches Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess, BMUB 2012; ProgRess II BMUB 2016a): Ein schonender und gleichzeitig effizienter Umgang mit natürlichen Ressourcen wird als Schlüsselkompetenz einer zukunftsfähigen Gesellschaft herausgestellt. Es wird gefordert, dass die Erzeugung und Nutzung nachwachsender Rohstoffe in der Land- und Forstwirtschaft eine Effizienzsteigerung bei gleichzeitiger Beachtung der Nachhaltigkeit erreicht. Dabei sind Treibhausgasemissionen durch direkte und indirekte Landnutzungsänderungen oder negative Auswirkungen auf Biodiversität, Bodenqualität und Wassergüte sowie auf soziale Aspekte zu berücksichtigen. Im Hinblick auf biogene Rohstoffe wird von ProgRess in erster Linie die stoffliche Nutzung adressiert. Eine wesentliche Weiterentwicklung von ProgRess II, das 2016 von der Bundesregierung verabschiedet wurde, ist, dass verstärkt Material- und Energieströme gemeinsam betrachtet werden sollen. So sollen sich Synergieeffekte nutzen und Zielkonflikte rechtzeitig erkennen und reduzieren lassen. Der Ausbau nachwachsender Rohstoffe müsse aber u.a. unter Berücksichtigung des Vorrangs der Ernährungssicherheit erfolgen.
- ▶ Reform der Common Agricultural Policy (EC 2013b): Betont wird die Steigerung einer ressourceneffizienten Produktion und die Notwendigkeit eines nachhaltigen Managements natürlicher Ressourcen in der Landwirtschaft.
- ▶ EU Forest Strategy (EC 2013a): Ressourceneffizienz im Waldsektor bedeutet eine Nutzung von Waldressourcen in der Art, dass negative Einflüsse auf die Umwelt und das Klima minimiert und dass forstliche Produkte favorisiert werden, die sich positiv auf die Wertschöpfung, den Arbeitsmarkt und die Kohlenstoffbilanz auswirken.
- ▶ Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe (BMELV 2012): Im Sinne der Bioökonomiestrategie der Bundesregierung adressiert das Programm Forschung und Entwicklung im Bereich der nachhaltigen Erzeugung und der Nutzung nachwachsender Ressourcen. Ein Schwerpunkt ist die ressourceneffiziente und umweltschonende Herstellung biobasierter Produkte und Bioenergeträger.
- ▶ Nationale Politikstrategie Bioökonomie (BMEL 2013): Das Ziel ist ein Strukturwandel hin zu einer rohstoffeffizienten Wirtschaft, die auf erneuerbaren Ressourcen, und insbesondere der Biomassenutzung, beruht. Wertschöpfungsketten sollen mehr vernetzt werden und Nebenprodukte sowie Reststoffe möglichst hochwertig verwertet werden. Dabei kann u.a. die Kreislaufwirtschaft eine wichtige Rolle spielen.
- ▶ Unter der Präsidentschaft Deutschlands fassten die G7-Staaten 2015 Beschlüsse zur Ressourceneffizienz. Diese betonten die Bedeutung der Ressourceneffizienz für eine nachhaltige Entwicklung und forderten die G7-Staaten zu ambitionierten nationalen Maßnahmen zur Förderung von Ressourceneffizienz auf. Als neues Forum der Zusammenarbeit innerhalb der G7 wurde die der G7-Allianz für Ressourceneffizienz gegründet. Auf dem G20-Gipfel im Juli 2017 in Hamburg begründeten die teilnehmenden Staaten zudem einen Ressourceneffizienz-Dialog.
- ▶ Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie (Die Bundesregierung 2016): Konkretisiert die 17 globalen UN-Ziele (Sustainable Development Goals, SDGs) für Deutschland und benennt Maßnahmen der Bundesregierung, mit denen diese Ziele bis zum Jahr 2030 erreicht werden sollen. Von den SDGs beziehen sich mehrere auf konkrete natürliche Ressourcen, wie Wasser (Ziel 6), Klimaschutz (Ziel 13), Leben im Wasser (Ziel 14) und Leben an Land (Ziel 15). Mit Bezug zur effizienten und nachhaltigen Nutzung von natürlichen Ressourcen sind Ziel 8 (Menschenwürdige Arbeit und Wirtschaftswachstum) und Ziel 12 (Nachhaltige/r Konsum und Produktion) von besonderer Relevanz.

Für die erfolgreiche Umsetzung einer effizienten Ressourcennutzung ist ein fundiertes Monitoring bzw. Bewertungssystem von zentraler Bedeutung. Mit ihnen können Fortschritte, aber auch Grenzen einer effizienten Ressourcennutzung sichtbar gemacht werden. Das angelegte Monitoring in der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung, das vom Statistischen Bundesamt umgesetzt wird beinhaltet insgesamt 63 **Indikatoren**. Eine Reihe der Indikatoren zu Ressourceneffizienz und -effektivität haben einen direkten Bezug zu Biomasseproduktion und Landnutzung:

- ▶ Klimaschutz: Bis 2015 wurde eine Treibhausgasreduktion (inklusive Landwirtschaft und LULUCF) von 27% gegenüber 1990 erreicht. Um das Ziel von mindestens 40% bis 2020 zu erreichen, hat die Bundesregierung auf der politischen Ebene mit dem Klimaschutzaktionsplan bereits nachgesteuert (BMUB 2014).
- ▶ Flächenneuanspruchnahme: Die Flächenneuanspruchnahme für Siedlung und Verkehr nahm von 120 ha/Tag (Mittel 1993-1996) auf 66 ha in 2015 ab. Ob das Ziel von unter 30 ha/Tag aus der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie bis 2030 erreicht werden kann, steht in Frage.
- ▶ Artenvielfalt und Landschaftsqualität: Dieser Indikator, dem die Entwicklung der Bestände von 51 Vogelarten zu Grunde liegt, nahm 2013 lediglich 68 Prozentpunkte im Vergleich zum Zielwert von 100% ein. Da die Tendenz gleichbleibend bis fallend ist, ist dies als bedenklich einzustufen.
- ▶ Stickstoffüberschuss: Mit etwa 94 kg/ha (Mittel 2013-2015) liegt der Wert noch deutlich über dem Zielwert für das Jahr 2030 von 70 kg/ha.
- ▶ Ökologischer Landbau: Der Anteil von 7,5% Anbaufläche des ökologischen Landbaus an der landwirtschaftlichen Nutzfläche im Jahr 2016 liegt deutlich unter der Zielmarke von 20%.
- ▶ Schadstoffbelastung der Luft: Seit 2005 hat sich die Schadstoffbelastung der Luft um ca. 16% (2014) reduziert: Bis zum Jahr 2030 soll eine Reduktion um 45 % ggü. 2005 erreicht werden.

Für ein Monitoring auf EU-Ebene werden u.a. Indikatoren durch das Environmental Data Centre on Natural Resources<sup>3</sup> unter Eurostat erhoben, bzw. zusammengeführt. Indikatoren mit Bezug zur Biomassebereitstellung, Landnutzung und biologische Vielfalt sind dabei z.B. Produktivität der bebauten und unbebauten künstlichen Flächen, Anteil bebauter Flächen an der gesamten Landfläche, Bruttonährstoffbilanz der Agrarflächen (Stickstoff, Phosphor), Flächennutzung durch ökologische Landwirtschaft oder Landschaftszerstückelung.

Diese Indikatoren stehen beispielhaft für die Bewertung der **Ressourceneffizienz** von Biomasseproduktion und Landnutzung. Allerdings weisen sie mehrere Defizite auf, auf die im Projektzusammenhang eingegangen wurde:

- ▶ Die Indikatoren haben z.T. einen übergreifenden Charakter (z.B. lässt eine reine Flächeninanspruchnahme keine Aussage zur Qualität der genutzten bzw. verbleibenden Fläche zu);
- ▶ Die Auswahl der Indikatoren richtet sich nach politischen Zielgrößen, auch um die Effektivität von Maßnahmen abschätzen zu können, und nicht nach ökologisch sinnvollen Größen, die Aussagen über den Zustand und die Leistungsfähigkeit von Ökosystemen zulassen;
- ▶ Wichtige Schutzgüter wie Ökosystemleistungen, Boden und Wasserkörper werden nicht bzw. nur indirekt berücksichtigt;
- ▶ Es wird nur eine eindimensionale Bewertung des entsprechenden Indikators vorgenommen. Eine mehrdimensionale Bewertung unter Berücksichtigung der Wechselwirkung unterschiedlicher Indikatoren ist nicht möglich.

Im Hinblick auf die Nationale Politikstrategie Bioökonomie (BMEL 2013) wird vom Bioökonomierat und der Interministeriellen Arbeitsgruppe zur Bioökonomie die Notwendigkeit gesehen, ein übergreifendes Monitoring zu etablieren, das anhand von Indikatoren den Weg hin zu einer künftig nachhaltigen Bioökonomie planbar und bewertbar macht. Für eine Modellierung der Indikatoren stellen O'Brien et al. (2015) in ihrem Sachstandsbericht zum Monitoring der Bioökonomie die Entwicklung eines Systems Dynamics Modells als besonders geeignet heraus.<sup>4</sup> Diese Methode bietet einen praktischen Ansatz zur Beschreibung und Bewertung des komplexen Systems der Landnutzung zur Biomassebereitstellung und ihrer Auswirkungen auf Umwelt und Ökosystemleistungen. Innerhalb eines solchen Ansatzes lassen sich auch, wie oben als not-

<sup>3</sup> <http://ec.europa.eu/eurostat/web/environmental-data-centre-on-natural-resources>

<sup>4</sup> Diese Analyseverfahren wird zur Entwicklung eines Bewertungstools in Arbeitspaket AP 2 und AP 3 angewandt.

wendig betrachtet, Ökosystemleistungen konkret in einer mehrdimensionalen Bewertung von Ressourceneffizienz berücksichtigen. Dies gilt potenziell sowohl für ihre ökologischen, ökonomischen als auch für ihre soziokulturellen Werte. Ihre Integration setzt voraus, dass existierende Ansätze für die Bewertung von Ökosystemleistungen für eine mehrdimensionale Bewertung von Ressourceneffizienz fruchtbar gemacht und mit dem Ansatz des Systems Dynamics beschrieben werden können.



## 2 Ziel und Ablauf des Vorhabens

### 2.1 Forschungsfragen des Vorhabens

Ziel dieses Vorlaufforschungsvorhabens war es, einen mehrdimensionalen Bewertungsansatz zu entwickeln, anhand dessen Ressourceneffizienz bei der Biomassebereitstellung und die damit verbundene Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen beschrieben und bewertet werden kann. Zur Bewertung der Eignung des entwickelten Bewertungsansatzes sollte der Ansatz modellhaft und auf Basis von Szenarien (von konventionell bis nachhaltig) an ausgewählten land- und forstwirtschaftlichen Beispielen erprobt werden. Der in vielen Ansätzen relativ eng definierte Effizienzbegriff sollte dadurch erweitert werden und den Aufwand an Ökosystemleistungen bzw. deren Nutzen in die Bewertung mit einbeziehen. Konkrete Fragen dieses Vorhabens waren deshalb:

- ▶ Welcher Zusammenhang besteht zwischen Effizienzsteigerungen in der Biomasseproduktion, natürlichen Ressourcen und Umweltlasten?
- ▶ Wie kann der Ressourceneffizienzbegriff erweitert werden, um natürliche Ressourcen mit einzubeziehen?
- ▶ Welche Ansätze zur Bewertung von Ressourceneffizienz mit Landnutzungsbezug existieren und wie sind sie einzuordnen?
- ▶ Wie könnte ein umfassender mehrdimensionaler Ansatz zur Bewertung von Ressourceneffizienz bei der Biomassebereitstellung aussehen?

Im Zentrum der Bewertung standen dabei land- und forstwirtschaftliche Produktionssysteme, d.h. für die Produktion bestimmter Güter notwendige Einheiten. Dabei sollte die Bewertung über die reine Betrachtung einer ressourceneffizienten Nutzungsweise z.B. für Mais als Futter für Nutztiere oder für eine Biogasanlage, die z.B. mittels Ökobilanzierung erfasst werden kann, hinausgehen. Auch die Frage, wie ein einzelner land-/forstwirtschaftlicher Betrieb ressourceneffizient zu bewirtschaften ist, war nicht Gegenstand der Untersuchung. Vielmehr wurde mit der Definition der Produktionssysteme auf allgemeine Bedingungen der Produktion und mögliche Varianten gezielt.

Der Bewertungsansatz sollte als Diskussionsbeitrag im Rahmen der Vorlaufforschung entwickelt und an realistischen Beispielen getestet werden. Aufgrund des frühen Stadiums der Entwicklung und der eher konzeptionellen Ausrichtung des Vorhabens, wurde die Zielgruppe für eine Anwendung des Bewertungsansatzes nicht konkreter definiert. Vielmehr zielte das Vorhaben darauf ab eine wissenschaftliche Grundlage zu legen und Optionen für einen möglichen Ansatz zu konkretisieren. Die notwendigen Schritte zu einer Anwendung in der Praxis sollten dabei diskutiert werden.

### 2.2 Projektarbeitsplan und Struktur des Berichts

Das Flussdiagramm in Abbildung 2-1 stellt den Projektablauf dar, mit dem die genannten Forschungsfragen bearbeitet werden sollten. Folgende Arbeitspakete wurden unterschieden.

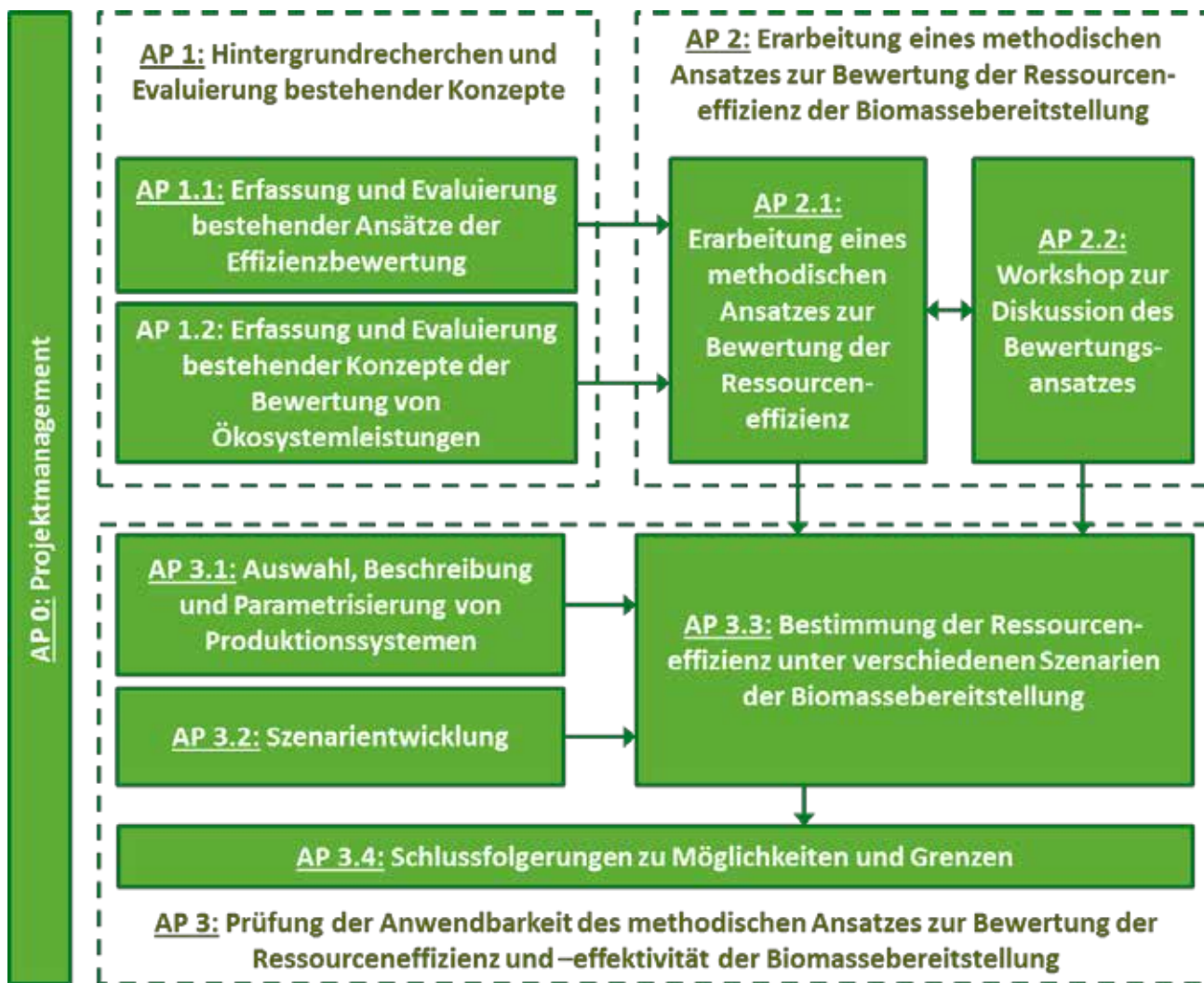
Im Rahmen des ersten Arbeitspakets (AP1) Hintergrundrecherchen und Evaluierung bestehender Konzepte wurden existierende Ansätze zur Effizienzbewertung (AP 1.1) und bestehende Konzepte zur Bewertung von Ökosystemleistungen (AP 1.2) erfasst und analysiert. Das Ziel war es, die Eignung dieser Bewertungsansätze vor dem Hintergrund einer mehrdimensionalen umweltpolitischen Bewertung der Ressourceneffizienz und Landnutzung zu evaluieren. Die Ergebnisse dieses Arbeitsschritts werden im Kapitel 3, präsentiert und diskutiert.

Arbeitspaket 2 (AP2) hatte die Erarbeitung eines methodischen Ansatzes zur mehrdimensionalen Bewertung der Ressourceneffizienz der Biomassebereitstellung zum Ziel. Dazu wurden die Erkenntnisse aus AP1 zu bestehenden Ansätzen genutzt um die relevanten Bausteine des Ansatzes zu ermitteln. Vor- und Nach-



teile, sowie Annahmen und notwendige Einschränkungen des vorgeschlagenen Ansatzes wurden mit Experten auf einem Workshop und mit dem UBA diskutiert. Dabei sollte auch ermittelt werden, ob der Bewertungsansatz vollständig, zielführend und aussagekräftig ist. Die theoretische Herleitung aus bestehenden Definitionen wird im Kapitel 4 Herleitung des Bewertungsansatzes: Annahmen und Indikatoren vorgestellt. In diesem Abschnitt werden auch allgemeine Annahmen festgelegt, z.B. welche Nutzendefinition im Projekt verwendet und wie die Inanspruchnahme von natürlichen Ressourcen mit der Hilfe von Indikatoren erfasst wurde.

Abbildung 2-1: Überblick über die Arbeitspakete



Quelle: Eigene Darstellung

Im Arbeitspaket 3 (AP3) schließlich sollte eine Prüfung der Anwendbarkeit des methodischen Ansatzes zur Bewertung der Ressourceneffizienz und -effektivität der Biomassebereitstellung vorgenommen werden. Dies sollte mit Hilfe modellhafter Szenarien für ausgewählte land- und forstwirtschaftliche Produktionssysteme geschehen. Kapitel 5, Beschreibung und Modellierung von Produktionssystemen stellt die Beispiele der Produktionssysteme aus dem Bereich Pflanzenbau, Tierhaltung und Forstwirtschaft vor, anhand derer der Ansatz getestet wurde. Neben einer Beschreibung der verwendeten Modelle für die Simulation der Systeme im Zeitverlauf werden hier die Systemgrenzen und die konkrete Darstellung der Indikatoren im Modell erläutert. Kapitel 6, Szenarien und Varianten beschreibt die Parametereinstellungen der Modelle in den Testszenarien. Kapitel 7 (Darstellung und Bewertung der Ressourcenleistung von Produktionssystemen)

men) liefert schließlich die Ergebnisse dieser Szenarien, verwendet diese für Berechnungen der im Ansatz entwickelten Metriken und interpretiert diese im Rahmen der Effizienzbewertung.

Die im AP3 vorgesehene Diskussion und Schlussfolgerungen aus der Prüfung des Ansatzes sind Gegenstand von Kapitel 8. In zwei Anhängen wird zum einen ein Glossar der wichtigsten im Bericht verwendeten Begriffe und Definitionen und eine Liste bestehender Ansätze als Produkt des Arbeitspakets 1 zur Verfügung gestellt.

### 3 Definitionen, Evaluierung und Diskussion bestehender Ansätze

Dieses Kapitel führt die bestehende Definition der Ressourceneffizienz und artverwandter Begriffe ein und präsentiert die wichtigsten Ergebnisse der Erfassung und Evaluierung bestehender Ansätze der Bewertung von Ressourceneffizienz und Ökosystemleistungen. Das Ziel war es, die Eignung dieser Bewertungsansätze vor dem Hintergrund einer mehrdimensionalen umweltpolitischen Bewertung der Ressourceneffizienz und Landnutzung zu evaluieren.

#### 3.1 Bestehende Definitionen

##### 3.1.1 Definition von natürlichen Ressourcen und Mehrdimensionalität

Ressourcen, die als Naturgüter, also als Bestandteil der Natur gezählt werden können, werden als **natürliche Ressourcen** bezeichnet (UBA 2012b). Hierzu zählen erneuerbare und nicht erneuerbare Primärrohstoffe, der physische Raum (Fläche), Umweltmedien (Wasser, Boden, Luft), strömende Ressourcen (z.B. Erdwärme, Wind-, Gezeiten- und Sonnenenergie) sowie die Ökosystemleistungen der Biodiversität. Wie im UBA Glossar zum Ressourcenschutz dargelegt, können natürliche Ressourcen als Quellen für die Herstellung von Produkten oder als Senken zur Aufnahme von Emissionen (Wasser, Boden, Luft) dienen (UBA 2012b). Natürliche Ressourcen werden auch als Naturkapital bezeichnet, die in Form des Bestands natürlicher Ökosysteme Ökosystemleistungen liefern (Costanza op. 2008). **Rohstoffe** sind wiederum natürliche Ressourcen, die als Stoffe in einen Produktionsprozess eingehen können. Dazu zählen biotische erneuerbare Rohstoffe, wie Produkte der Land- oder Forstwirtschaft, und fossile oder abiotische nicht erneuerbare Rohstoffe, wie Erdöl, Kohle, Erze und andere Mineralien.

Im Rahmen dieses Projekts wurden natürliche Ressourcen betrachtet, die in direktem Zusammenhang zur Landnutzung stehen: **Luft, Boden, Wasser** und Ökosystemleistungen durch **Biodiversität**. Auch **Land** als natürliche Ressource wird berücksichtigt. Durch ökosystemare Zusammenhänge stehen diese in engem wechselseitigem Verhältnis. Auswirkungen der Biomassenutzung auf den Boden ergeben gleichzeitig auch Implikationen für das Wasser und die Atmosphäre. Bewertungsansätze, die eine ganzheitliche Betrachtung der Nachhaltigkeit der Biomasseproduktion und Nutzung zum Ziel haben, müssen daher mehrdimensional sein. **Mehrdimensionalität** bedeutet, dass eine gleichzeitige Berücksichtigung verschiedener Indikatoren bzw. natürlicher Ressourcen und ihrer Wechselwirkung bei der Bewertung möglich ist. Dazu müssen verschiedene Indikatoren in ein gemeinsames Bewertungsschema integriert werden, damit sie sich vergleichen und eventuell sogar aufrechnen lassen. Diese Reduktion der vielfältigen Umweltindikatoren auf einen skalaren Divisor erfordert Umrechnungsverfahren, die gut dokumentiert werden müssen, um Transparenz und Objektivität zu erhalten (siehe Kapitel 7.1).

##### 3.1.2 Definition von Ökosystemleistungen

Direkte und indirekte Beiträge von Ökosystemen zum menschlichen Wohlergehen werden als **Ökosystem(dienst)leistungen** bezeichnet. Dabei handelt es sich um Leistungen und Güter, die dem Menschen einen direkten oder indirekten wirtschaftlichen, materiellen, gesundheitlichen oder psychischen **Nutzen** bringen (Naturkapital Deutschland – TEEB DE 2010).

Unterschieden werden Versorgungsleistungen (Nahrungsmittel, Trinkwasser, Fasern, Energie aus regenerativen Quellen etc.), Regulierungsleistungen (Klimaregulation, Hochwasserschutz, Luft-reinhaltung, Bestäubung, Schädlingsbekämpfung) und kulturelle Leistungen (Erholungswert von städtischem Grün, touristische Attraktivität von und Identitätsbildung durch abwechslungsreiche Kulturlandschaften) sowie Basisleistungen (Nährstoffkreislauf etc.). Ökosystemleistungen basieren auf biologischer Vielfalt. Sie können als „natürliche Ressource“ – also als aktiv genutztes Naturkapital – definiert werden. Im Unterschied zum Begriff der Ökosystemfunktion hebt der Begriff der Ökosystemleistung auf den Nutzen der Natur für den Menschen ab.

Einige Ökosystemleistungen sind marktfähige Produkte (typischerweise Versorgungsleistungen, teils auch kulturelle Leistungen), während andere Ökosystemleistungen freie Güter sind bzw. zumindest traditionell waren. Umstritten ist, ob die Inwertsetzung und der Handel mit solchen bislang noch nicht marktfähigen Ökosystemleistungen (z.B. Treibhausgas-Sequestrierung) den Naturschutz stärkt oder schwächt.

Das UN Millennium Ecosystem Assessment („MA“) von 2005 vertiefte und popularisierte das Konzept der Ökosystemleistungen und setzte ihn weltweit auf die politische Agenda (MA 2005). In der Folge des MA sowie des Stern-Berichts zu den Kosten unterlassenen Klimaschutzes (Stern 2006) wurde 2007 die TEEB-Initiative („The Economics of Ecosystems and Biodiversity“) ins Leben gerufen. Ihr Ziel war es, den ökonomischen Wert von Ökosystemleistungen und die Kosten von Naturzerstörung besser einschätzen und kommunizieren zu können (Naturkapital Deutschland – TEEB DE 2010).

In Deutschland wurde zur nationalen Umsetzung von TEEB 2011 die Studie „Naturkapital Deutschland“ in Auftrag gegeben. Aktion 5 (zum Einzelziel 2) der EU Biodiversitätsstrategie (2011-2020) erfordert(e) die Erfassung und Bewertung des Zustands von Ökosystemen und ihren Dienstleistungen innerhalb der Mitgliedsstaaten (bis 2014), sowie die ökonomische Bewertung von Ökosystemleistungen und den verstärkten Einbezug dieser Werte in die Berichterstattungssysteme auf EU- und mitgliedstaatlicher Ebene (bis 2020).

### 3.1.3 Definition von Ressourceneffizienz und Abgrenzung von anderen Effizienzbegriffen

Effizienz (E) lässt sich generell als Quotient von einem Output zum dafür notwendigen Input verstehen:

$$E = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} \quad (1)$$

oder auch als das Verhältnis von einem Nutzen (N) zu einem dafür notwendigen Aufwand (A):

$$E = \frac{N}{A} \quad (2)$$

Bei der **Ressourceneffizienz** (RE) handelt es sich entsprechend um das Verhältnis eines bestimmten Nutzens oder Ergebnisses zum dafür nötigen (natürlichen) **Ressourceneinsatz** (UBA 2012b): Im umweltwissenschaftlichen Sprachgebrauch ist mit Ressourceneinsatz die Inanspruchnahme (I) von natürlichen Ressourcen gemeint.

$$RE = \frac{N}{I} \quad (3)$$

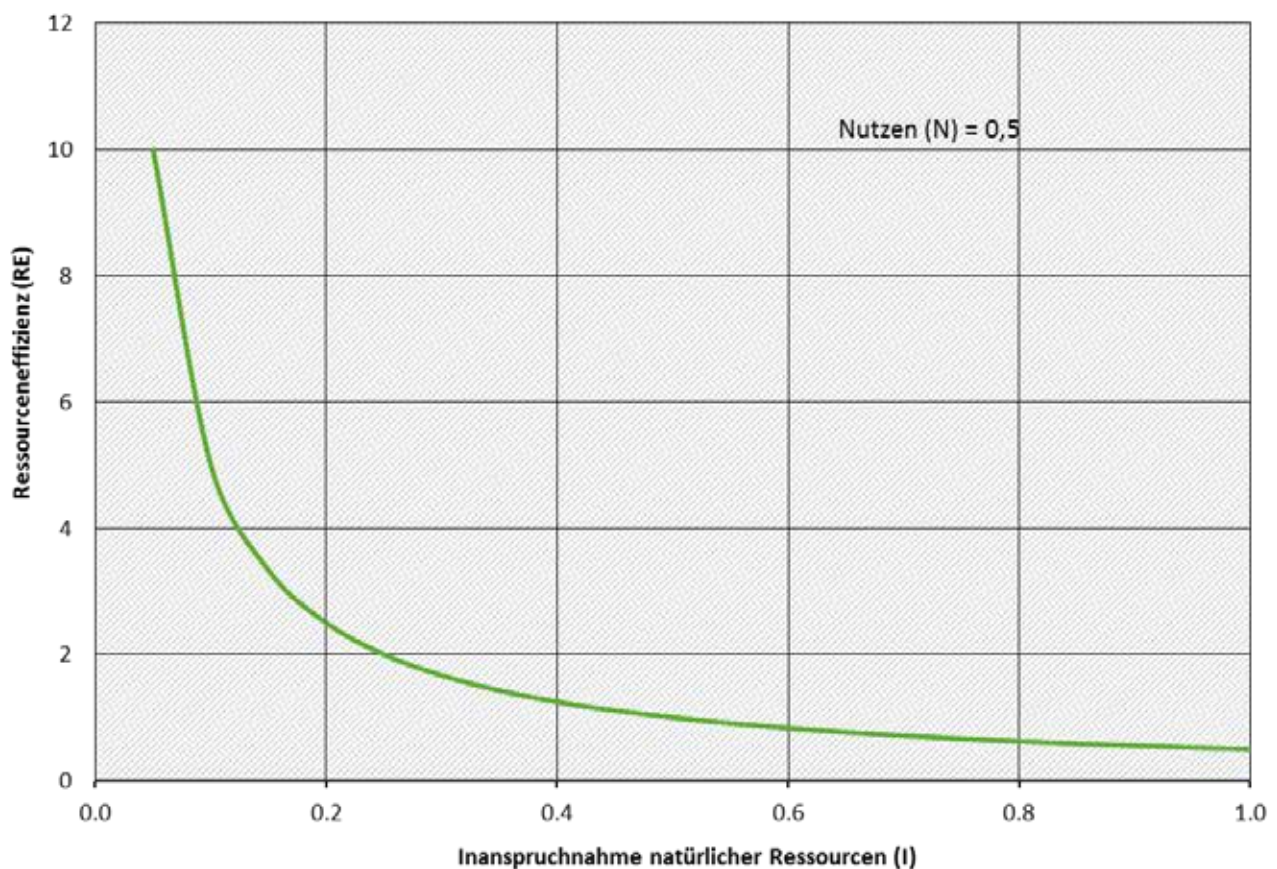
Bildet man den Kehrwert aus diesem Verhältnis ergibt sich die **Ressourcenintensität**, die darstellt wie hoch die Inanspruchnahme von natürlichen Ressourcen für eine Einheit eines Produkts ist.

Ein grundsätzliches Problem des Indikators Ressourceneffizienz ist, dass der Indikator sich nicht linear verhält. Abbildung 3-1 zeigt beispielsweise, dass als Resultat der Quotientenbildung für Änderungen der Inanspruchnahme von natürlichen Ressourcen (I) im Bereich kleinerer Werte für I (z.B. zwischen 0,2 und 0,3) stärkere Änderungen der Ressourceneffizienz errechnet werden als im Bereich größerer Werte für I (z.B. zwischen 0,7 und 0,8). Für die idealisierte Betrachtung in Abbildung 3-1 wurde der Nutzen (N) konstant auf 0,5 gehalten.

Aus einer wirtschaftspolitischen Perspektive wird Ressourceneffizienz meist mit einer relativen Entkoppelung von Produktion und Ressourceneinsatz, d.h. einer Steigerung der **Ressourcenproduktivität** (Verhältnis

von Produktionsergebnis zu Ressourceneinsatz) gleichgesetzt (Werland und Klaus 2016). Tatsächlich ist die Abgrenzung zur Ressourceneffizienz nicht immer eindeutig und die Begriffe werden in der existierenden Literatur unterschiedlich verwendet (Werland und Klaus 2016; UNEP 2017; OECD 2016). Wenn zwischen den Begriffen aber unterschieden wird, wird Ressourcenproduktivität eher als ein quantitatives Maß für den ökonomischen Nutzen pro Einheit des direkten Ressourcen- bzw. Rohstoffeinsatzes gesehen, während Ressourceneffizienz umfassender ausgelegt wird. Diese umfassendere Betrachtung beinhaltet auch, dass absolute Minderungsziele für die Ressourcennutzung formuliert werden und nicht allein auf den Reduktionseffekt durch steigenden Rohstoffpreise vertraut wird.

Abbildung 3-1: Ressourceneffizienz in Abhängigkeit von der Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen



Quelle: Eigene Darstellung

Land- und Forstwirtschaft greifen durch die Nutzung großer Flächen tief in den Naturhaushalt ein und nutzen dabei verschiedene Ökosystemleistungen, indem diese den Ressourceneinsatz und Auswirkungen auf die Umwelt kompensieren. So dient beim Einsatz von Kunstdünger die Atmosphäre als Senke für  $N_2O$ , das nach der Ausbringung auf dem Acker entsteht. Durch die Veränderung von Ökosystemen wirken Produktionssysteme damit wiederum direkt oder indirekt auf diese Ökosystemleistungen. Gleichzeitig sind landwirtschaftliche und forstwirtschaftliche Produkte aber auch Ökosystemleistungen („Versorgungsleistungen“) an sich. Zur Beschreibung der Ressourceneffizienz von Produktionssystemen, die Ökosystemleistungen zur Verfügung stellen, sollte der Begriff der Ressourceneffizienz daher weiter gefasst werden. Begreift man Ökosystemleistungen selbst als natürliche Ressourcen, so lautet die Gleichung:



$$RE = \frac{N_{\text{öSL}}}{I_{\text{öSL}}} \quad (4)$$

Damit finden Ökosystemleistungen sowohl in den Zähler als auch in den Nenner Eingang. Damit werden die Systemzusammenhänge zwischen Produktionssystem und Ökosystemen deutlich gemacht. Eine große Herausforderung ist es, den Nutzen verschiedener Ökosystemleistungen zu ermitteln und zu vergleichen.

## 3.2 Diskussion bestehender Ansätze der Effizienzbewertung

### 3.1.1 Erfassung bestehender Ansätze der Effizienzbewertung

Im Rahmen des Vorhabens wurde eine Literaturstudie zu bestehenden Ansätzen der Effizienzbewertung durchgeführt. Dazu wurden zunächst Studien, die Bewertungsansätze aber auch für eine Bewertung verwendete einzelne Indikatoren und sonstige Bewertungsinstrumente beschreiben und anwenden, recherchiert und zusammengestellt. Nicht nur Ansätze der Biomassebereitstellung und Landnutzung wurden berücksichtigt, sondern generell Ansätze zur Bewertung der Ressourceneffizienz und -effektivität. Allgemeine Leitfragen für die Auswertung existierender Studien und Ansätze waren:

- ▶ Wie ist der Bezug zur Biomassebereitstellung bzw. Landnutzung?
- ▶ Welche Kriterien der (Ressourcen-)Effizienz gibt es in existierenden Konzepten?
- ▶ Wie werden sie dort verwendet?
- ▶ Welche Herausforderungen sind mit bestehenden Konzepten verbunden?
- ▶ Welche Aspekte sind bisher wenig oder unberücksichtigt?
- ▶ Lassen sich diese Kriterien bzw. Ansätze ggf. für eine mehrdimensionale umweltpolitische Bewertung nutzen?

Daraufhin wurden Kategorien aus den Leitfragen für die Analyse abgeleitet und bestehenden Ansätzen zugeordnet, die dazu verwendet werden können, Ressourceneffizienz darzustellen und zu quantifizieren.

Zunächst wurden Typen von Bewertungssystemen wie z.B. Zertifizierungsansätze, Ansätze zur Nachhaltigkeitsbewertung etc. identifiziert. Der Vollständigkeit halber wurden auch Bewertungsprogramme mitaufgenommen, da sie für die Entwicklung von Szenarien und Referenzwerten bei der Skalierung eine Rolle spielen. Diese Kategorisierung zielte vor allem darauf ab Bewertungsinstrumente nach ihrem Komplexitätsgrad und der Zielsetzung zu unterscheiden. Zertifizierungssysteme und Nachhaltigkeitsbewertungen sind oft mehrdimensional in Bezug auf die Indikatoren, d.h. Umweltdimensionen ausgerichtet, setzen diese aber nicht konkret in ein Verhältnis zum Nutzen. Trotzdem können sie wertvolle Informationen zu praktikablen Indikatoren für ein Bewertungssystem liefern.

Unterschieden wurden auch verschiedene methodische Ansätze: z.B. ökonomische und ökologische Effizienzbewertung, Ressourcenproduktivitätsbewertung, Stoffstromanalyse sowie ökonomische und ökologische Bewertung von Ökosystemleistungen und integrierte Bewertungssysteme. Eine Abgrenzung war vielfach schwierig. Allerdings hilft auch eine grobe Einordnung, um die Bandbreite verwendeter Methoden deutlich zu machen und Unterschiede zwischen Ansätzen herauszustellen. Des Weiteren wurde hinsichtlich der Bezugsgröße kategorisiert: Ansätze beziehen sich meist entweder auf ein Produkt, ein Unternehmen bzw. eine Unternehmenssparte oder einen Betrieb, oder auf ganze Volkswirtschaften. Schließlich wurde abgefragt, welche Umweltdimensionen/-güter die Bewertungsansätze abdecken (z.B. Fläche, Boden, Wasser, Biologische Vielfalt, Atmosphäre, Rohstoffe etc.).

Es wurden mehr als 120 verschiedene Kriterien, Ansätze, Konzepte und Systeme identifiziert, die dazu verwendet werden können, Ressourceneffizienz darzustellen und zu quantifizieren. Nicht alle haben die Biomasseproduktion als Fokus. Sie reichen von Methoden der reinen Effizienzbewertung im Sinne des Materi-

aleinsatzes im Verhältnis zur Produktionsmenge, über Stoffstromanalysen bis hin zur Bewertung von Ökosystemleistungen. Sie dienen der Bewertung von ganzen Volkswirtschaften, Unternehmen, Zertifizierung von Produkten oder Herstellungsketten.

### 3.1.1 Diskussion einiger bestehender Ansätze der Effizienzbewertung

#### Ökoeffizienz

Ökoeffizienz ist ein recht allgemeiner Ansatz zur Effizienzbewertung, der 1991 vom World Business Council for Sustainable Development entwickelt wurde (WBCSD 2000). Ökoeffizienz bezieht sich auf Produkte und ist definiert als der Quotient aus dem wirtschaftlichen Wert eines Produktes und den durch den Herstellungsvorgang auf die Umwelt ausgeübten Auswirkungen:  $\text{Ökoeffizienz} = (\text{Wirtschaftlicher Wert eines Produktes}) / (\text{Einfluss bzw. Auswirkungen auf die Umwelt})$ . Im Zentrum des Konzepts steht die Maximierung des Wertes, der pro Einheit Umweltverbrauch generiert werden kann. Dies kann durch die Verringerung von Material- und Energieintensität von Produkten und die Reduzierung des Schadstoffausstoßes aber auch durch die Erhöhung der Recyclingfähigkeit von Produkten erzielt werden.

Wie viele Effizienzkennzahlen erfordert die Ökoeffizienz, dass Wirkungen auf verschiedene Umweltdimensionen wie Treibhausgasausstoß, Wasserverbrauch oder Flächeninanspruchnahme in irgendeiner Weise auf einen quantitativen Nenner gebracht werden. Wie diese Zusammenfassung der Umweltwirkungen passieren ist weniger genau definiert. Das Konzept zieht keine genauen Systemgrenzen und lässt damit viel Spielraum für Interpretationen wenn diese nicht ausreichend bei der Anwendung definiert wurden. Zudem ist das Konzept der Ökoeffizienz besser geeignet um relativen Fortschritt bei der Erhöhung der Effizienz zu dokumentieren. Über den Grad der Übernutzung der Kapazitäten von Ökosystemen lassen sich keine Aussagen treffen. Soziale Aspekte der Nachhaltigkeit berücksichtigt der Ansatz nicht.

#### MIPS, FIPS und ökologischer Rucksack

Ähnlich der Ökoeffizienz ist das MIPS-Konzept (=Material-Input pro Serviceeinheit). MIPS ist ein ökologisches Bewertungskonzept zur Erfassung von Material- und Energieströmen (Inputs) in physikalischen Einheiten (z.B. kg) über den gesamten Lebenszyklus eines Gutes. Diese stellen den ökologischen Rucksack dar. Der Material-Input ist bezogen auf einen definierten Nutzen. Es sind fünf Inputkategorien aufgeführt: abiotische und biotische Rohstoffe, Wasser, Luft, und Bodenbewegungen in der Land- und Forstwirtschaft. Werte für die Materialintensität sind für verschiedene Rohstoffe, Energieträger, Transportdienstleistungen und Lebensmittel verfügbar (Wuppertal Institut 2014). Daneben wurde auch ein reiner Flächenindikator (Flächeninput pro Serviceeinheit, FIPS) entwickelt, der ein quantitatives Maß für den „Verbrauch natürlicher Oberfläche“ pro Nutzeneinheit darstellen soll. Für diesen Ansatz konnte bei der Recherche keine aktuellen Dokumente oder Publikationen gefunden werden, weshalb davon ausgegangen werden muss, dass der Ansatz nicht mehr weiter verfolgt wird.

Methodisch lässt sich der Ansatz gut auf verschiedene Produktionssysteme (mit gleicher Nutzenbasis) beziehen. Er liefert allerdings auf Grund des Bezugs auf reine physische Größeneinheiten nur einen groben Indikator für die Umweltwirkung (z.B. Klimawirkungspotenzial oder Toxizität). Im Ergebnis können keine spezifischen Umweltwirkungen für unterschiedliche Materialien und Rohstoffe durch den Indikator gemessen und angezeigt werden (Lexikon der Nachhaltigkeit 2015), (Grießhammer 2015).

#### Ökologischer Fußabdruck und Product-Carbon Footprint

Der ökologische Fußabdruck nach William E. Rees und Mathis Wackernagel gibt die Menge an produktiven Land- und Wasserflächen an, die für den Ressourcenverbrauch eines Landes oder einer Person (auch eines Unternehmens) genutzt werden. Dabei wird die Bereitstellung der Ressourcen, wie auch die Aufnahme der Abfälle berücksichtigt. Der ökologische Fußabdruck wird vom Global Footprint Network weiter entwickelt



und findet durch den „Global Overshoot Day“ inzwischen eine breitere öffentliche Aufmerksamkeit. Dieser Tag gibt an, wann das globale nachhaltige Budget an Fläche bzw. Wasser für das laufende Jahr aufgebraucht ist. Eng mit dem ökologischen Fußabdruck verbunden ist eine Diskussion zu globalen Gerechtigkeitsfragen, da insbesondere Industrieländer weiter über ihr eigenes „Budget“ hinaus Wasser und Flächen beanspruchen. Globale Daten sind für nicht-kommerzielle Zwecke frei erhältlich (Global Footprint Network 2016).

Angelehnt an den ökologischen Fußabdruck gibt der Product Carbon Footprint (PFC) die mit dem Lebenszyklus eines Produkts in Verbindung stehenden Treibhausgasemissionen an. Insbesondere für die Produktkennzeichnung wurde der Ansatz international diskutiert und die Methodik durch die British Standard Institution genormt (Publicly Available Specification (PAS) 2050:2011). Mit dem Ansatz können CO<sub>2</sub>-Minderungspotenziale wichtiger Produkte angegeben werden und auch unterschiedliche Konsummuster sind darstellbar (Grießhammer und Hochfeld 2009). Jedoch sind über Treibhausgase hinaus keine weiteren Umweltaspekte einbezogen, direkte und indirekte Landnutzungsänderungen und die gesamte Nutzungsphase bleibt unberücksichtigt. Daher lassen sich produktbezogene Vergleiche unterschiedlicher Güter über den Ansatz nicht durchführen (ebenda).

### **3.2.1 Diskussion bestehender Konzepte der Bewertung von Ökosystemleistungen**

#### **Zusammenhang zwischen Biomasse und Ökosystemleistungen**

Während Biomasse selbst im eben definierten Verständnis von Ökosystemleistungen eine Versorgungsleistung ist, bedarf es zu ihrer effektiven Bereitstellung anderer Ökosystemleistungen. Diese umfassen sowohl Versorgungsleistungen (z.B. genetischer Vielfalt), Regulierungsleistungen (z.B. Klimaregulation, Hochwasserschutz) als auch Basisleistungen (z.B. fruchtbarer Böden).

Zugleich kann sich eine flächeneffiziente (input-intensive, monokulturelle) Biomassebereitstellung negativ auf andere Ökosystemleistungen (CO<sub>2</sub>-Senkenfunktion, ästhetisches Landschaftsbild) bzw. Ressourcen (Wasser als Senke) auswirken.

#### **Ansätze für die Bewertung von Ökosystemleistungen**

Die Bewertung von Ökosystemleistungen dient dazu, den Nutzen natürlicher Ressourcen sowie die Kosten ihres Verlusts zu identifizieren. Dies kann zum einen zur (Umwelt-)Kommunikation oder zur Bewusstseins-schaffung genutzt werden. Zum anderen können die identifizierten Kosten und Nutzen als Input in Entscheidungs-hilfungsverfahren genutzt werden, mit deren Hilfe konkrete Landnutzungs-, Planungs- oder Politik-entscheidungen getroffen werden (z.B. über die ökologische möglichst vorteilhafte Positionierung eines Naturschutzgebietes oder die möglichst geringen Schaden verursachende Streckenführung einer Bundesstraße).

Grundsätzlich können Bewertungen absolut oder relativ erfolgen (Hansjürgens und Lienhoop 2015). Wenn Ökosystemleistungen an sich bewertet werden, spricht man von absoluter Bewertung. Damit kann der Beitrag einer Ökosystemleistung für das menschliche Wohlbefinden herausgearbeitet werden. Eine solche absolute Bewertung wird beispielsweise im Rahmen der EU Biodiversitätsstrategie angestrebt, der zufolge alle Ökosystemleistungen in den EU-Mitgliedsstaaten erfasst, kartiert und monetarisiert werden sollen. Bei der relativen Bewertung geht es um Änderungen in der Bereitstellung von Ökosystemleistungen.

Die (absolute und relative) Bewertung von Ökosystemleistungen folgt i.d.R. einer von zwei Stoßrichtungen: Sie schätzt Kosten, die aus dem Verlust von Ökosystemleistungen folgen, oder sie schätzt den Nutzen, der sich mit der Existenz bzw. dem Erhalt von Ökosystemleistungen verknüpft. Relative Bewertungen sind zur Entscheidungsunterstützung nützlicher, weil es dabei i.d.R. ja um die Abwägung zwischen verschiedenen Handlungsalternativen geht und nicht um den totalen Verlust einer Ökosystemleistung.

Grundsätzlich kann der identifizierte Wert (bzw. die Kosten oder der Nutzen) einer Ökosystemleistung(sveränderung) ökonomisch (monetär) sein, aber auch ökologisch, soziokulturell oder mehrdimensional. Dabei besteht ein Zusammenhang zwischen dem Typus der erfassten Werte und dem Typus der Ökosystemleistung.

### **Bewertung von nicht-monetären Ökosystemleistungen**

Es gibt verschiedene Ansätze der Monetarisierung von Ökosystemleistungen (Fromm und Brüggemann 1999; Naturkapital Deutschland – TEEB DE 2010). So ermittelt die ökonomische Bewertung angebotsseitig die Kosten der Bereitstellung bzw. des Verlusts von Ökosystemleistungen; oder nachfrageseitig nach dem Wert, den Landnutzer Ökosystemleistungen zumessen (Bsp. Nutzwert, Existenz- oder Vermächtniswert). Damit lassen sich Präferenzen und Zahlungsbereitschaften in Bezug auf den Erhalt von Ökosystemleistungen feststellen. Hierfür können einerseits marktwirtschaftliche Bewertungsverfahren auf Basis von z.B. Marktpreisen, Schadenskosten, Schadensvermeidungskosten etc. eingesetzt werden. Andererseits können für nicht am Markt gehandelte Ökosystemleistungen nichtmarktwirtschaftliche monetäre Bewertungsverfahren genutzt werden, wie indirekte Marktbewertung, die kontingente Bewertungsmethode zur Ermittlung von ‚stated preferences‘, sowie Gruppenbewertungen. Auch für die Bewertung von Leistungen der Biodiversität gibt es mehr und mehr Ansätze (z.B. Meyerhoff et al. 2012).

Ökonomische Bewertungsansätze werden im Rahmen von Entscheidungshilfungsverfahren wie der Kosten-Nutzen-Analyse, Kosten-Wirksamkeits-Analyse oder der Multi-Kriterien-Analyse eingesetzt, um die (geschätzten monetären) Werte von Ökosystemleistungen in politischen Entscheidungsprozessen berücksichtigen zu können, z.B. bei der Durchführung von (Infrastruktur-, Naturschutz- etc.) Maßnahmen. Auf diese Weise ermittelte Beträge können dem Nutzenterm hinzugefügt werden und damit in den Bewertungsansatz und das Konzept der nachhaltigen Ressourcenleistung integriert werden.

### **Mehrdimensionale und integrierte Bewertung**

Eine mehrdimensionale Bewertung von Ökosystemleistungen adressiert verschiedene der genannten Bewertungsdimensionen (mit verschiedenen Methoden, u.a. Multi-Kriterien-Analyse). Eine integrierte Bewertung adressiert dabei auch Wechselwirkungen (trade-offs) zwischen unterschiedlichen Ökosystemleistungen oder Nutzungsansprüchen.

Insbesondere die integrierte Bewertung („Integrated Valuation“) von Ökosystemleistungen ist noch in der Entwicklung befindlich. Sie versucht, die unterschiedlichen (ökonomischen, ökologischen und sozialen) Werte, die sich mit unterschiedlichen Ökosystemleistungen (Versorgungs-, Regulations-, Basis-, kulturelle Leistungen) verbinden, zu synthetisieren. Dabei geht sie von der Existenz multipler und oft nicht gegeneinander aufwägbarer Werte aus. Noch existiert kein Standardverfahren für die integrierte Bewertung. Die zentrale Herausforderung liegt in der Integration von Bewertungen entlang verschiedener Wertedimensionen, teils auch räumlicher Skalen, und im Umgang mit „nicht zusammen messbaren“ Werten und Trade-offs dazwischen.

Der Bewertungsansatz richtet sich an die Wissenschaft, Behörden, Politik, Unternehmen und die Zivilgesellschaft mit unterschiedlichen möglichen Zwecken: bspw. der Schaffung von Bewusstsein, der Prioritätensetzung in Planungs- und Entscheidungsprozessen, der Umweltkostenrechnung etc.

#### **3.2.2 Konkrete Beispiele bestehender Bewertungsansätze von landwirtschaftlichen Produktionssystemen**

Konkrete Kriterien für eine mehrdimensionale umweltpolitische Bewertung von Landnutzungssystemen sind vor allem in den Ansätzen zur Nachhaltigkeitsbewertung landwirtschaftlicher Produktionssysteme zu finden. Durch die Zunahme von Umweltbelastungen infolge einer erhöhten Produktivität wurden für die Messung einer nachhaltigen Landnutzung eine Vielzahl von Methoden und Instrumenten entwickelt, die die

Nachhaltigkeit der Produktion bewerten sollen. Die Nachhaltigkeitsbewertung landwirtschaftlicher Produktionssysteme enthält daher Ansätze zur mehrdimensionalen Bewertung der Landnutzung, die auch zur erweiterten Bewertung der Ressourceneffizienz verwendet werden können.

Europaweit existieren verschiedene Bewertungsansätze wie z.B. das französische INDIGO, das in der Schweiz entwickelte SALCA (Ökobilanzmethode – Swiss Agricultural Life Cycle Assessment) oder die in Sachsen-Anhalt und Thüringen entwickelten Ansätze REPRO und KUL/USL (Bockstaller et al. 2006). Weitere Indikatorensysteme wie z.B. RISE (Response Inducing Sustainability Evaluation) (HAFL 2017) finden weltweit Anwendung bei der Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Betriebe.

Die Bewertungsansätze basieren auf Indikatoren, welche die Auswirkungen der Produktion auf die natürlichen Ressourcen beurteilen. In der Literatur wird dazu der Indikator als ein quantitatives oder qualitatives Maß definiert, welches aus erhobenen Daten den Zustand eines bestimmten Nachhaltigkeitsaspekts bestimmen kann (Roesch et al. 2016). Zur Bewertung mehrdimensionaler Aspekte können einzelne Indikatoren weiter aggregiert werden. Die OECD hat im Jahr 2008 zusammen mit dem Joint Research Centre (JRC) ein Handbuch veröffentlicht, welches Empfehlungen für die Entwicklung von Indikatoren sowie deren weiterer Aggregation und mögliche Darstellungsformen diskutiert. Neben der Auswahl von geeigneten, messbaren Indikatoren, beschreibt dieses empfohlene Schritte der Normalisierung, Gewichtung und Aggregation (OECD 2008).

Im Folgenden soll am Beispiel der bestehenden Bewertungsansätze für landwirtschaftliche Produktionssysteme aufgezeigt werden, wie Indikatoren zur Bewertung hergeleitet und entwickelt werden und welche Methoden zur Verfügung stehen. Dabei werden die folgenden Fragestellungen berücksichtigt:

1. Was wird bewertet (Betrieb, Produkt, Region)?
2. Welche Indikatoren werden gewählt, um den entsprechenden Nachhaltigkeitsaspekt zu bewerten?
3. Wie werden die Indikatoren normalisiert, gewichtet und skaliert?
4. Wie werden die Indikatoren aggregiert und dargestellt?

### **Was wird bewertet?**

Bei landwirtschaftlichen Produktionssystemen kann die Bewertung der Nachhaltigkeit auf verschiedenen Ebenen erfolgen. Neben einer Einzelschlagbewertung ist auch eine gesamtbetriebliche Bewertung, die Bewertung einer größeren Region (Kreis, Land, global) oder auch die Bewertung eines Produktes möglich. Ausschlaggebend für die Bewertungsebene ist das Ziel der Bewertung: Geht es um eine einzelbetriebliche Optimierung oder sollen anhand der Betrachtung politische Handlungsempfehlungen für die Region oder den Landwirtschaftssektor insgesamt abgeleitet werden.

Die oben genannten Systeme werden überwiegend für die Bewertung von landwirtschaftlichen Betrieben eingesetzt. Je nach Detailgrad des Systems erfolgt die Bewertung Einzelschlag-bezogen und wird anschließend über den Gesamtbetrieb gemittelt. Auch die Ökobilanzmethode SALCA setzt auf der Ebene des Gesamtbetriebes an. Für die Bewertung der Nachhaltigkeit der gesamten deutschen Landwirtschaft hat die DLG (Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft) einen Nachhaltigkeitsindex entwickelt (DLG 2016).

### **Welche Dimensionen und Indikatoren werden berücksichtigt?**

Neben der ökologischen Dimension der Nachhaltigkeit wird in den letzten Jahren verstärkt auch die soziale und ökonomische Dimension der Nachhaltigkeit betrachtet. Manche bereits bestehenden Bewertungssysteme, wie beispielsweise das in den 90er Jahren entwickelte KUL (Kriterien umweltverträglicher Landwirtschaft), wurde erweitert und umfasst nun unter dem Namen „Kriteriensystem nachhaltige Landwirtschaft“ (KSNL) auch die Kriterien wirtschaftsverträglicher Landwirtschaft (KWL) und Kriterien sozialverträglicher

Landwirtschaft (KSL) (KTBL 2009). Die folgende Tabelle 3-1 zeigt beispielhaft für unterschiedliche Bewertungssysteme die betrachteten Nachhaltigkeitsdimensionen und die verwendeten Parameter für den Indikator „Ökologie“.

Zur Bewertung der sozialen, ökonomischen und ökologischen Nachhaltigkeit werden unterschiedliche Indikatoren verwendet. Für die Bewertung der ökologischen Dimension werden in allen betrachteten Nachhaltigkeitssystemen ähnliche Indikatoren herangezogen. Je nach Komplexität werden einzelne Unterindikatoren genutzt, die den Gesamtindikator genauer beschreiben.

Viele der Ansätze wurden im Laufe der Zeit auch erweitert, von daher stellt die Tabelle keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Vor allem der Indikator Treibhausgase wurde in vielen Bewertungssystemen ergänzt.

### **Wie werden die Indikatoren normalisiert, gewichtet und skaliert?**

Neben der Auswahl aussagekräftiger und messbarer Indikatoren ist die Bewertung der Ergebnisse entscheidend. Die Ergebnisse können Vergleichswerten gegenübergestellt werden, oder es werden unabhängig von den ermittelten Werten Grenzwerte bzw. Zielwerte festgelegt.

Liegen die Indikatoren in verschiedenen Einheiten vor, müssen sie für die weitere Darstellung und Bewertung der Ergebnisse auf eine gleiche dimensionslose Skala überführt werden (Normalisierung). Dafür stehen nach OECD (2008) verschiedene Methoden wie z.B. die Rangfolge, die Min/Max Normalisierung, die Standardisierung oder die Abweichung zum Referenzwert zur Verfügung. Die in der Praxis verfügbaren Ansätze gehen unterschiedlich vor. Die folgende Tabelle 3-2 zeigt Beispiele für die Normalisierung der Indikatoren.

Nach der Vereinheitlichung der Indikatoren kann eine weitere Gewichtung erfolgen. Die einzelnen Indikatoren können entweder gleichgewichtet werden, oder es erfolgt unter Einbezug von Stakeholdern und Entscheidungsprozessen eine Wertung bzw. wissensbasierte Gewichtung.

Tabelle 3-1: Beispiele für Indikatoren zur Beschreibung verschiedener Nachhaltigkeitsdimensionen der Landwirtschaft

| Bewertungssystem                         | Dimensionen                                                                      | Indikator Ökologie                                                                                                                                                                                                                                                            |
|------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>INDIGO</b>                            | Ökologie                                                                         | Kulturvielfalt, Fruchtfolge, Humus, Phosphor, Stickstoff, PSM, Energie                                                                                                                                                                                                        |
| <b>KSNL</b>                              | Ökologie (KUL),<br>Soziales (KSL),<br>Ökonomie (KWL)                             | Nährstoffhaushalt (Flächensaldo (N, P, K), Humussaldo), Bodenschutz (Erosion, Verdichtung), Pflanzenschutz (Intensität, Risikominimierung), Landschafts- und Artenvielfalt (Anteil ÖLF, Median Feldgröße), Energieeinsatz (Energieinput, Energiesaldo)                        |
| <b>REPRO = DLG Zertifizierungssystem</b> | Ökologie, Soziales,<br>Ökonomie                                                  | Treibhausgasemissionen, Ressourceneinsatz Energieintensität, korrigierter P-Saldo, Biodiversität, Agrobiodiversität, Landschaftspflegeleistungen, Pflanzenschutzintensität, Bodenschutz, Bodenschadverdichtung, Wassererosion, Humussaldo, Wasser- und Luftbelastung, N-Saldo |
| <b>SALCA</b>                             | Ökologie, Ökonomie,<br>Soziales                                                  | Energieressourcen (MJ Äq./ha), Gesamteutrophierung (kg PO <sub>4</sub> /ha), aquatische Ökotoxizität (g Zn Äq./ha), terrestrische Ökotoxizität (g Zn Äq./ha)                                                                                                                  |
| <b>RISE</b>                              | Ökologie (natürliche Ressourcen und Ressourcenmanagement),<br>Ökonomie, Soziales | Bodennutzung, Tierhaltung, Wassernutzung, Energie und Klima, Biodiversität, Betriebsmittel und Umweltschutz                                                                                                                                                                   |
| <b>DLG Nachhaltigkeitsbericht</b>        | Ökologie, Ökonomie und Innovation, Soziales und internationale Verantwortung     | Flächeninanspruchnahme, Kulturpflanzendiversität, Stickstoffbilanz, Energieeffizienz, Treibhausgase, Biodiversität, Belastung des Grundwassers mit Pflanzenschutzmitteln                                                                                                      |

Quelle: Eigene Darstellung basierend auf KTBL 2009; HAFL 2017; DLG 2016; Bockstaller et al. 2006

Im DLG Nachhaltigkeitsbericht wird aus verschiedenen Einzelindikatoren zu Wasser, Luft, Boden und Biodiversität ein Schlüsselindikator „Umweltverträglichkeit“ gebildet. Die Skalierung erfolgt über die gesetzlich festgelegten Ziele bzw. Grenzwerte (Stickstoffüberschüsse nach der Düngeverordnung 60 kg N/ha nach der Flächenbilanz, Reduktion der THG Emissionen aus dem Landwirtschaftsbereich nach EU-Kommission bei -30% ggü. 1990). Der Zielwert entspricht in der Skalierung 100%. Auf Grund der aktuellen gesellschaftlichen Diskussion zu Stickstoffüberschüssen und Treibhausgasen erfolgt zusätzlich eine Gewichtung der Indikatoren. Die Stickstoffüberschüsse werden mit 2/3 gewichtet, während die THG mit 1/3 gewichtet werden.

Tabelle 3-2: Beispiele für die Normalisierung von Indikatoren

| Bewertungssystem                         | Skala                                                                                                | Bewertung, Darstellung                                                                                                                                                              |
|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>INDIGO</b>                            | 0 (erhöhtes Risiko), 10 (vernachlässigbares Risiko)                                                  | Mindestwert = 7, Bewertung von Einzelparzellen, Darstellung als gewichtete Mittelwerte des Gesamtbetriebs als Netzdiagramm                                                          |
| <b>KSNL</b>                              | Skala von 1 bis 12, 1 = Optimum, 6 = maximal tolerable Belastung, > 6 Handlungsbedarf                | Festlegung von Toleranzbereichen (anzustrebendes Optimum – maximal tolerabel) anhand von Grenzwerten, Darstellung als Balkendiagramm                                                |
| <b>REPRO = DLG Zertifizierungssystem</b> | Skala von 0 bis 1, 0 = ökologisch ungünstigste Situation, 1 = ökologisch günstigste Situation        | Normalisierung anhand von Bewertungsfunktion, Ergebnisvergleich ggü. anderer Betriebe oder ggü. Referenzwert möglich, Darstellung als Netzdiagramm                                  |
| <b>SALCA</b>                             | -                                                                                                    | Ökobilanz (Bezugsgröße Fläche, Ertrag in kg N oder Nährwert), Vergleich der Ergebnisse anhand von Referenzwerten ähnlicher Betriebe, Balkendiagramm                                 |
| <b>RISE</b>                              | Skala 0 bis 100, (0-33 problematischer Bereich, 34-66 Überprüfungsbereich, 67-100 positiver Bereich) | Identifizierung von Stärken und Schwächen des Betriebes, Referenzdaten für die Bewertung werden regional kalibriert, Darstellung als Netzdiagramm                                   |
| <b>DLG Nachhaltigkeitsbericht</b>        | Skala 0-100%, 100% Zielerreichung                                                                    | Skalierung anhand von Zielwerten (z.B. THG-Reduktion von -30% ggü. 1990), Darstellung als Liniendiagramm mit zeitlichem Verlauf und durchschnittlicher jährlicher Zielverbesserung. |

Quelle: Eigene Darstellung basierend auf KTBL 2009; HAFL 2017; DLG 2016; Bockstaller et al. 2006

### Aggregation und Darstellung

Inwieweit Einzelindikatoren aggregiert werden sollten ist in der Literatur umstritten (Christen und O'Halloran-Wietzholtz 2002). Durch die Aggregation gehen wesentliche Informationen verloren. Allerdings ist vor allem bei politischen Entscheidungsträgern der Wunsch nach einer Vereinfachung und einem klaren Ergebnis gegeben.

Die OECD (2008) schlägt für die Aggregation von Indikatoren verschiedene Methoden vor. Bei der additiven Aggregation werden die gewichteten Indikatoren aufsummiert, während bei der multiplikativen Aggregation die gewichteten Indikatoren multipliziert werden. Bei der multiplikativen Aggregation können sich die Indikatoren nur teilweise kompensieren, da ein Indikatorwert von 0 auch zu 0 im Ergebnis führt. Werden mehrere unabhängige Indikatoren aggregiert kann man die Mehrkriterien-Aggregation anwenden. Hier können die Indikatoren sich nicht gegenseitig ausgleichen.



Viele der betrachteten Systeme verzichten auf eine weitere Aggregierung der Daten. Damit wird die Transparenz aufrechterhalten. Einige Systeme die Unterkategorien gebildet haben, wie z.B. das KSNL, aggregieren die Unterkategorien zu einem Indikator (z.B. Nährstoffhaushalt). Eine komplette Aggregierung der einzelnen Indikatoren findet nur im DLG Nachhaltigkeitsbericht statt. Hier wird ein Gesamtindex für die deutsche Landwirtschaft berechnet und als Zahlenwert ausgewiesen. Über den Jahresverlauf kann damit die Entwicklung der Nachhaltigkeit der landwirtschaftlichen Produktion Deutschlands bewertet werden. Werden die unterschiedlichen Indikatoren nicht weiter aggregiert und kein einzelner Wert berechnet, muss auch die Darstellung der Ergebnisse angepasst werden. Als gängige Darstellungsformen mehrdimensionaler Indikatoren werden im OECD Handbuch z.B. Balkendiagramme mit Rangfolgen, Spinnendiagramme oder Ampelsysteme genannt.

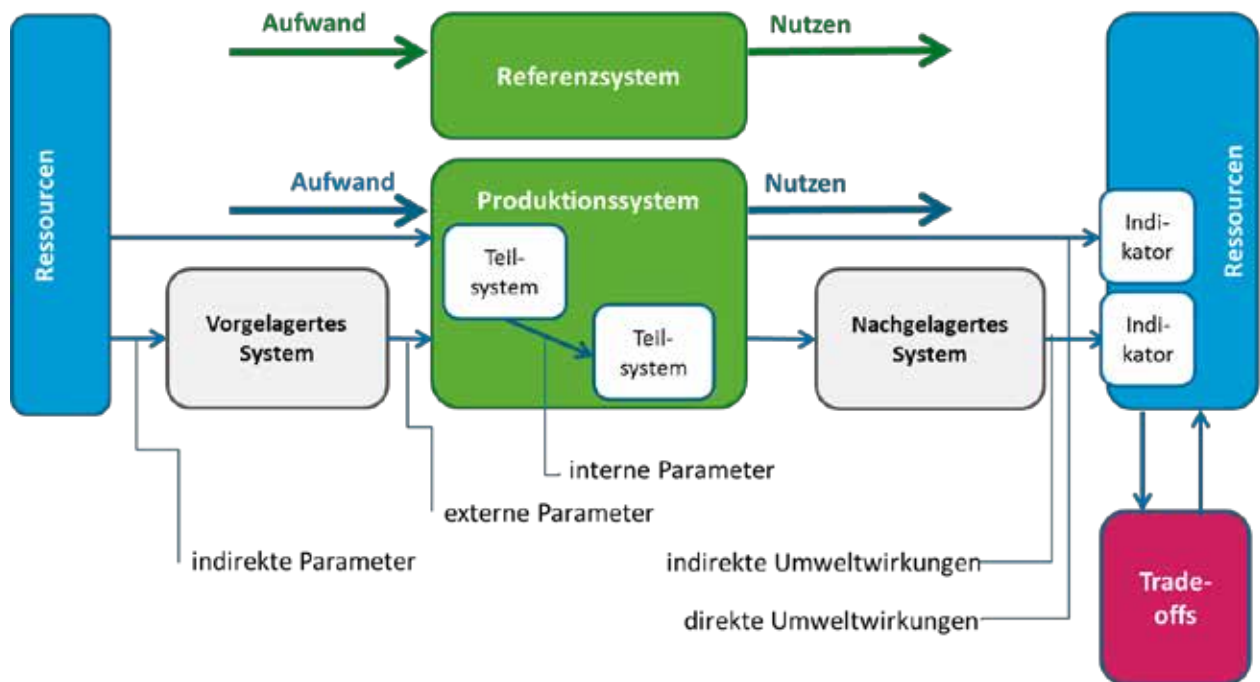
### 3.3 Ressourceneffizienz aus Sicht der Systemanalyse

Die Systemanalyse ist eine Methode, die sich gut dafür eignet, die dynamischen Aspekte der Landnutzung im Allgemeinen und die komplexen Bedingungen der Biomasseproduktion im Speziellen abzubilden. Mit ihrer Hilfe erstellt der Anwender ein Modell des Systems zunächst als Black Box und verfeinert dieses schrittweise bis zu einer Auflösung, die die für die Bewertung relevanten Systemteile enthält. Auf diese Weise kann ein Produktionssystem in Teilsysteme zerlegt werden. Parameter oder Kenngrößen bestimmen diese Systeme und können Teile des Systems (extern gesteuerte interne Parameter, externe Parameter) oder vorgelagerte Systeme betreffen (indirekte Parameter, siehe z.B. Grabowski et al. 2014). Abbildung 3-2 beschreibt zentrale Elemente und notwendige Annahmen der Bewertung von Ressourceneffizienz aus Sicht der Systemanalyse.

Natürliche Ressourcen nehmen in einer solchen Darstellung eine Doppelrolle ein: Sie sind zum einen Mittel, auf die das Produktionssystem direkt oder indirekt über vorgelagerte Systeme zugreift. Sie sind aber auch Ziel direkter oder indirekter Umweltwirkungen des Produktionssystems. Für den Einbezug natürlicher Ressourcen in die Aufwands-/Nutzen-Gleichung ist zunächst eine Abschätzung der Umweltwirkungen notwendig. Dies erfolgt mittels Indikatoren, die den Ressourcen zugeordnet werden.

In der mehrdimensionalen Bewertung ist die Einbeziehung verschiedener Indikatoren in einen einheitlichen und konsistenten Bewertungsansatz essentiell. Indikatoren sind dabei nicht immer völlig unabhängig voneinander. Vielmehr können sie einander bedingen oder entgegenlaufen. Solche Wechselwirkungen (Trade-offs) können zwischen betrachteten Indikatoren stattfinden, aber auch mit Systemen, die außerhalb des zu bewertenden Produktionssystems stehen und trotzdem hohe Relevanz für die Bewertung haben.

Abbildung 3-2: Elemente und Annahmen der Effizienzbewertung aus Sicht der Systemanalyse



Quelle: Verändert nach Grabowski et al. 2014

### 3.4 Fazit

Unterschiede in den betrachteten bestehenden Bewertungsansätzen treten vor allem bei der Auswahl der Indikatoren, bzw. Umweltgüter auf. Diese können sehr spezifisch sein und sich z.B. auf Bodenerosion beziehen, oder sehr allgemein auf Fläche als natürliche Ressource. Indikatoren müssen allerdings quantitative Maße liefern können, die eine tatsächliche Bewertung und den Vergleich von Systemen ermöglichen. Mehrdimensionale Ansätze werden vor allem bei Nachhaltigkeitsbewertungen verwendet und verzichten meist auf eine Aggregation der Indikatoren, sondern stellen diese nebeneinander dar.

Erfahrungen mit bestehenden Ansätzen zeigen, dass eine explizite Aggregation von Indikatoren unterschiedlicher Dimensionen nur bedingt sinnvoll ist. Die Darstellung eines einheitlichen ökologischen Rucksackes z.B. in Tonnen Materialinput, wie im MIPS-Ansatz verfolgt, führt zu einer Einschränkung auf Indikatoren, die entsprechende Einheiten haben. Es verringert zudem die Transparenz des Ansatzes, wenn umfangreiche Umrechnungen mit entsprechenden Annahmen erfolgen müssen. Eine mehrdimensionale Bewertung erfordert weniger eine volle Integration von Indikatoren in gemeinsamen physikalischen Einheiten als eine Standardisierung der zu betrachtenden Dimensionen. So können Wasserqualität und Treibhausgasemissionen als unterschiedliche Indikatoren kaum sinnvollerweise physisch vereint werden. Allerdings lassen sie sich durch eine Skalierung vergleichbar machen, in dem z.B. der Grad der Zielerreichung eines Reduktionsziels oder die relative Überschreitung von Grenzwerten dargestellt werden. Solche kommen beispielsweise in Bewertungsansätzen wie RISE (Response-Inducing Sustainability Evaluation) oder dem KSNL (Kriteriensystem nachhaltige Landwirtschaft zur Analyse und Bewertung von Landwirtschaftsbetrieben bereits zur Anwendung (Breitschuh et al. 2008).

Die Zusammenfassung von Indikatoren in einer einzigen Zielgröße erschwert zudem die Interpretation von Indikatoren, da für die Skalierung Annahmen getroffen werden müssen. Gerade Wechselwirkungen (Trade-

Offs) zwischen unterschiedlichen Indikatoren sind für die Bewertung der Ressourceneffizienz besonders wichtig. Deshalb sollten die Annahmen der Skalierung gut dokumentiert und möglichst allgemeingültig gehalten werden.

Die Bewertung von Ressourceneffizienz kann von der Bewertung von Ökosystemleistungen in mindestens zwei Hinsichten profitieren. Zum einen lässt sich von den methodischen Diskussionen und emergenten Ansätzen für ein integratives, multidimensionale Bewertung lernen. So sind zum Beispiel die Prämissen integrierter Ökosystemleistungs-Bewertung übertragbar auf eine multidimensionale Bewertung der Ressourceneffizienz. Zum anderen schafft die Auseinandersetzung mit dem Ökosystemansatz Aufmerksamkeit für die Berücksichtigung von Auswirkungen auf Ökosystemleistungen durch Formen (auch ressourceneffizienter) Landnutzung. Konkret im gegebenen Vorhaben bedeutet dies, dass Auswirkungen auf Ökosystemleistungen (als Schutzgüter) im zu entwickelnden mehrdimensionalen Ansatz für die Bewertung von Ressourceneffizienz in der Landnutzung mitzudenken sind. Die geschilderten Bewertungsansätze ermöglichen es grundsätzlich, diese Auswirkungen in ihrer ökonomischen, ökologischen und / oder soziokulturellen Dimension zu beschreiben, teils auch zu quantifizieren.

## 4 Herleitung des Bewertungsansatzes: Annahmen und Indikatoren

Für die Herleitung des in diesem Projekt entwickelten Bewertungsansatzes werden nachfolgend zunächst die einzelnen Schritte die zur Entwicklung eines Bewertungsansatzes notwendig sind erläutert und anhand bestehender Bewertungsansätze für landwirtschaftliche Produktionssysteme diskutiert. Anschließend wird der im Projekt entwickelte Ansatz hergeleitet und seine theoretische Anwendung diskutiert. Das Kapitel geht dann darauf ein, welche Annahmen für die Anwendung des Ansatzes getroffen und welche Art von Indikatoren verwendet wurden, um die Ressourceninanspruchnahme darzustellen.

### 4.1 Schritte der Effizienzbewertung

Die Analyse bestehender Ansätze zeigte, dass es sinnvoll ist, die verschiedenen Schritte, die zu einer Bewertung der Ressourceneffizienz von Biomasseproduktionssystemen erforderlich sind, klar zu differenzieren. Jeder Schritt erfordert es, Annahmen zu treffen, die wesentlich dazu beitragen, wie die Bewertung am Ende ausfällt. Es bietet sich an, fünf methodische Schritte zu unterscheiden (siehe Abbildung 4-1). Diese können in zwei Gruppen gefasst werden: Modellierung und Bewertung. Besonders zu Methoden der Modellierung (inklusive der Systemdefinition, Bilanzierung und Szenarioentwicklung) finden sich zahlreiche Studien und Methodenhandbücher, die vor allem auf die technischen Erfordernisse eingehen (z.B. Wolf et al. 2016). Weniger bearbeitet ist das Feld der eigentlichen Bewertung, das vor allem Fragen der Darstellung und Interpretation beinhaltet, aber auch weniger quantitative Ansätze umfasst.

In den drei Schritten der Modellierung muss zunächst das System definiert werden. Dies erfordert u.a. die Bestimmung von Systemgrenzen auf zeitlicher, geografischer und technischer Ebene. Zudem muss die **funktionelle Einheit** (die Bezugsgröße) festgelegt werden, um eine einheitliche Bewertung vornehmen zu können. Die spezifischen Systemdefinitionen für die in diesem Projekt ausgewählten Produktionssysteme werden in den Kapiteln 5.2 (Modellbeschreibung), 5.3 (Produktionssystem Pflanzenbau), 5.4 (Produktionssystem Tierhaltung), bzw. 5.5 (Produktionssystem Forstwirtschaft) vorgenommen.

Auf der Grundlage der Systemdefinition erfolgt die eigentliche Bilanzierung. Für die Bilanzierung müssen Entscheidungen über die Datenbasis getroffen werden. Diese Wahl kann erhebliche Auswirkungen auf die Unsicherheiten der Analyse insgesamt haben und damit für die Interpretierbarkeit der Ergebnisse. Zudem muss eine Auswahl an Indikatoren vorgenommen werden, die als relevant für die Bewertung erachtet werden. Indikatoren werden im Rahmen der Bilanzierung in Beziehung zu bestimmten Ausgabevariablen der Modellierung gesetzt. Auch hierbei müssen Annahmen getroffen werden, besonders wenn Variable und Indikator nicht identisch sind, sondern eine indirekte Ableitung erfolgen muss. Die Beschreibung von Indikatoren für die in diesem Projekt ausgewählten Produktionssysteme werden in Kapitel 4.4 im Allgemeinen beschrieben und ihre Herleitung im Modell in Kapitel 5 für die einzelnen Produktionssysteme spezifiziert.

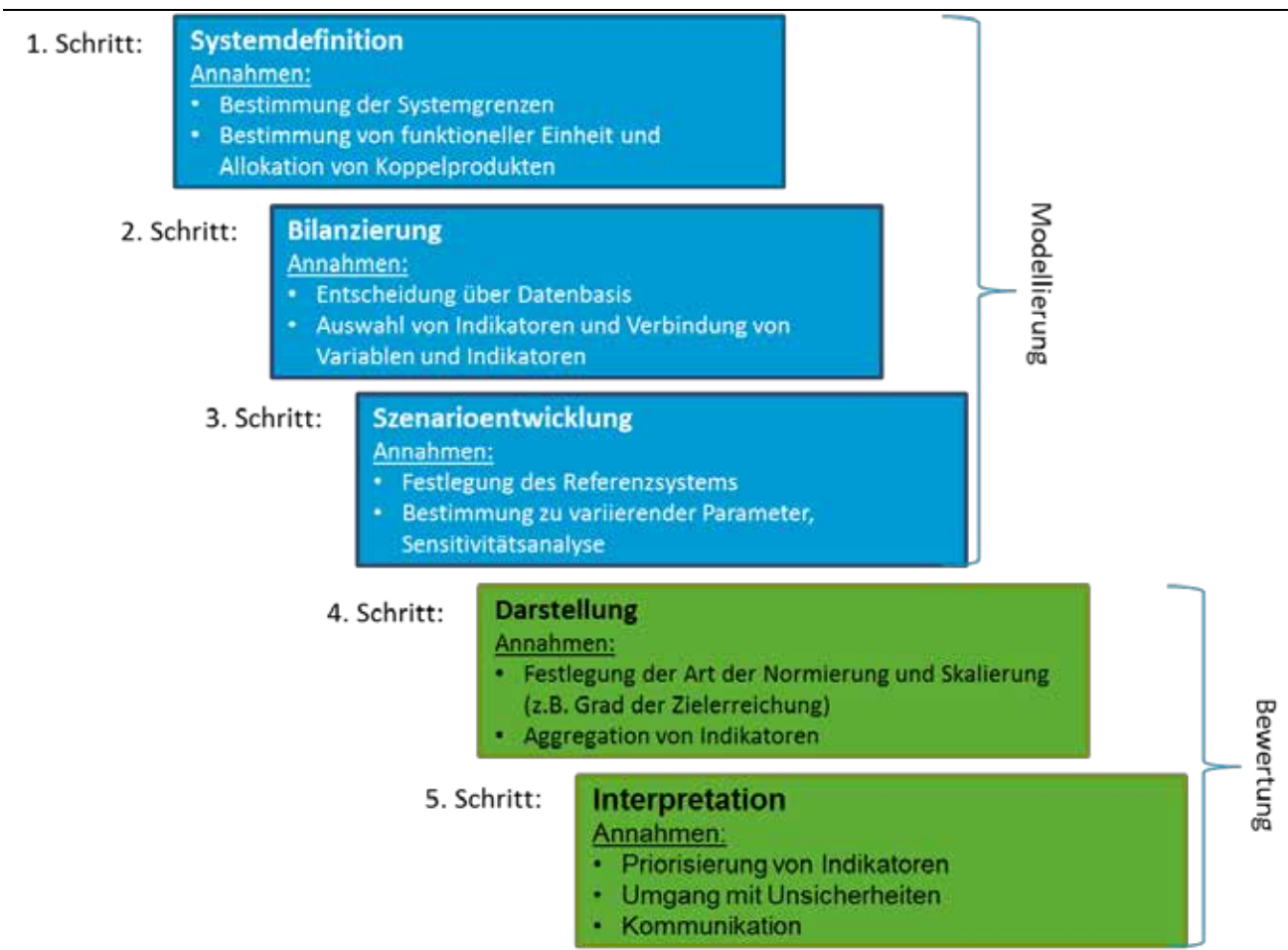
Wie oben beschrieben, wird die Bewertung von Ressourceneffizienz meist im Vergleich zu einem Referenzsystem vorgenommen. Im Schritt Szenarienentwicklung werden deshalb Referenzszenarien und davon abweichende Alternativen bestimmt. Szenariovarianten können sich in nur einem aber auch in vielen Parametern unterscheiden. Die Auswahl und Einstellung zu variierender Parameter ist eine wichtige Annahme im Vorgehen der Bewertung. Die spezifischen Szenariodefinitionen für die in diesem Projekt ausgewählten Produktionssysteme werden in Kapitel 6 dargestellt.

Ein besonderes Augenmerk sollte bei der Bewertung der Ressourceneffizienz einer Unsicherheitenanalyse gelten. Dabei ist die Unsicherheit, die durch Messfehler von Parametern entsteht, zu unterscheiden von der natürlichen Schwankung von Parameterwerten und der Unsicherheit durch das gänzliche oder teilweise Fehlen von Informationen. Dies ist insbesondere für die Kommunikation von Unsicherheit wichtig, da unterschiedliche Quellen der Unsicherheit zu unterschiedlichen Schlussfolgerungen in der Interpretation führen können. Annahmen und Ergebnisse von Sensitivitätsanalysen, die für landwirtschaftliche Produktionssysteme in Form von Szenariovarianten umgesetzt wurden, stellt ebenfalls Kapitel 6 vor.

In Schritt 4 erfolgt dann die Visualisierung der Ergebnisse (Kapitel 7). Dieser Schritt kann der Bewertung zugerechnet werden, da hier weniger Berechnungen vorgenommen werden, sondern die Zahlen vielmehr normiert, skaliert und aggregiert werden. Die Annahmen, die in diesem Schritt getroffen werden, sind wichtig für die Möglichkeiten der Interpretation und auch Kommunikation der Ergebnisse. Die Kommunikation erfordert es normalerweise, eine Priorisierung der Ergebnisse vorzunehmen. Aber auch für die Interpretation aus der Sicht verschiedener Stakeholder sind Wichtungen der Indikatoren oft sinnvoll.

Die einzelnen Schritte des Ansatzes spielen für die Bewertung eine besonders hohe, andere eine untergeordnete Rolle. Nichtsdestotrotz müssen alle Schritte mit Sorgfalt und dem Bewusstsein für die Konsequenzen der getroffenen Annahmen vorgenommen werden.

Abbildung 4-1: Schritte der Bewertung



Quelle: Eigene Darstellung

## 4.2 Begriff der nachhaltigen Ressourcenleistung

### 4.2.1 Herleitung

Soll Ressourceneffizienz als zentraler Indikator für die Bewertung nachhaltiger Produktionssysteme dienen, so muss dabei eine wichtige Einschränkung beachtet werden. Ressourceneffizienz lässt in der obigen Definition keine Aussage über den absoluten Zustand der Ressourcen oder die Überschreitung von Grenzen der Nachhaltigkeit zu. Trotz steigender Ressourceneffizienz können sich die Nachfrage nach Rohstoffen und die Nutzung natürlicher Ressourcen erhöhen, z.B. durch Bevölkerungswachstum und die Veränderung von Konsummustern. Das heißt, eine relative Entkopplung von Ressourcennutzung und Wirtschaftswachstum durch die Steigerung der Ressourceneffizienz, ist für einen nachhaltigen Ressourcenerhalt und erfolgreichen Ressourcenschutz deshalb nicht ausreichend (UBA 2012b).

UBA (2012b) definiert den Begriff der **Ökoeffizienz**, die als der Quotient aus dem Wert eines Produkts und der durch sein Produktionssystem verursachten Umweltbelastungen errechnet wird. Zwar wird das Ziel formuliert, durch Erhöhung der Ökoeffizienz Umweltauswirkungen und Ressourcenintensität auf ein Niveau der ökologischen Tragfähigkeit der Erde zu bringen. Allerdings wird nicht deutlich wie diese konkret ermittelt werden kann.

Ressourcenschonung ist auch das Ziel von **Konsistenzstrategien**, die zu einer relativen oder absoluten Senkung der Ressourceninanspruchnahme durch Einbettung von Prozessen in natürliche Stoffkreisläufe führen sollen (UBA 2012b). Dazu bedarf es eines Übergangs von einer Durchfluss- hin zu einer Kreislaufwirtschaft, mit möglichst vollständiger Schließung von Stoffkreisläufen, wofür es einer Erhöhung der **Ressourceneffektivität** bedarf. Die Erhöhung der Ressourceneffektivität bedeutet praktisch eine Rückführung von Reststoffen in Kreisläufe, in denen die Ressourcen neuen Produktionsprozessen zugeführt werden. Während Effizienzstrategien meist anstreben, ein Wachstum in bestehenden Strukturen optimaler zu gestalten, zielt der Konsistenzansatz mehr auf einen Strukturwandel der Produktionsweise durch Innovation.

Insgesamt greift der Ansatz der Ressourceneffizienz also zu kurz, wenn es darum geht einen Indikator für die mehrdimensionale umweltpolitische Bewertung der Nachhaltigkeit von Produktionssystemen der Landnutzung zu finden, wie es im Vorhaben geplant war. Wie in Kapitel 3.1 erläutert, stellt sich der Quotient Ressourceneffizienz zudem als nicht linear dar, was eine Interpretation insbesondere beim Vergleich oder der Verrechnung verschiedener Indikatoren deutlich erschwert.

Im Rahmen dieses Vorhabens wurde deshalb ein **neuer Indikator** entwickelt, der es zum einen erlaubt, Grenzwerte in die Bewertung direkt mit einzubeziehen und zum anderen einen besseren Vergleich zwischen Produktionssystemen unterschiedlicher Produktivität ermöglicht. Dazu sind drei Schritte notwendig:

- 4) Die Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen muss durch **Skalierung** in ein relationales Bewertungssystem gebracht werden, um verschiedene Indikatoren vergleichbar zu machen. Auf diese Weise wird zudem die Ressourceninanspruchnahme als Grad der **Ressourcenschonung** betrachtet (z.B. 0 = geringe Ressourcenschonung; 1 = hohe Ressourcenschonung).
- 5) Gleichfalls muss der Nutzen durch Skalierung vergleichbar gemacht werden damit **Aussagen zu Systemen unterschiedlicher Produktivität** möglich werden (0 = geringe Produktivität; 1 = hohe Produktivität).
- 6) Berechnung des Produkts aus skaliertem Nutzen und skaliertem Ressourcenschonung als **nachhaltige Ressourcenleistung**.

Im Folgenden werden die drei Schritte weiter ausgeführt und Beispiele der Berechnung, sowie notwendige Voraussetzungen der Anwendung dargelegt.



#### 4.2.2 Ermittlung des Grads der Ressourcenschonung – Skalierung der Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen

Durch eine Normierung der einzelnen Umweltindikatoren auf einer Skala können einzelne Indikatoren vergleichbar gemacht werden. Grundsätzlich können die normierten Umweltindikatoren anschließend zusammengefasst werden, wenn es inhaltlich sinnvoll ist. Oft gehen allerdings bei der Berechnung dieser aggregierten Größe viele Informationen verloren. Beispielsweise kann es schwieriger nachzuvollziehen sein, nach welchen Aggregationsalgorithmen der Quotient letztendlich über die verschiedenen Ebenen ermittelt wurde. Diese müssen deshalb gut dokumentiert werden. Die genannte Skalierung erfolgt mittels eines Skalierungsfaktors  $\lambda$ , der den Maßstab innerhalb der bestimmten Grenzwerte darstellt:

$$I'_{\text{öSL}} = \lambda I \quad (5)$$

Eine Skalierung dient auch dazu Grenz- und Mindestwerte in die Bewertung einfließen zu lassen. So kann die Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen durch Skalierung auf einen Wertebereich zwischen 0 und 1 deutlich machen, wie stark die Beanspruchung einzelner Ressourcen ausfällt. Dabei stellt 1 einen Wert der nachhaltigen Inanspruchnahme dar, die die Ressourcenbereitstellung nicht negativ beeinflusst. Anders ausgedrückt: das Produktionssystem schont die Ressourcen. Fällt die Bewertung auf der Skala unter 1 verringert sich die Schonung und erhöht sich die Inanspruchnahme. Erreicht die Produktion eine Intensität, die dafür sorgt, dass Grenzwerte einer nachhaltigen Ressourcennutzung überschritten werden, wird diese Inanspruchnahme (Ressourcenschonung) mit Null bewertet. Der Wert Null signalisiert damit eine Intensität, die jenseits begründbarer Grenzen (Grenzwerte, Orientierungswerte) liegt. Solche Grenz- und Toleranzwerte können in vielen Fällen aus der Literatur entnommen werden. Sie können auch aus den Ergebnissen von z.B. Modellszenarien von Produktionssystemen abgeleitet werden.

#### 4.2.3 Vergleich unterschiedlicher Produktivitäten – Skalierung des Nutzens

Der direkte Vergleich von Produktionssystemen mittels des Indikators Ressourceneffizienz ist problematisch, wenn Systeme mit unterschiedlicher Produktivität verglichen werden sollen. So kann ein hochproduktives System, das allerdings zu hohen Umweltbelastungen führt, einem unproduktiveren System mit geringeren Auswirkungen unterlegen sein, was die Ressourceneffizienz angeht. Andererseits muss eine Verringerung der Produktion durch Extensivierung unweigerlich zu einer Flächenausdehnung oder Importen führen, wird angenommen, dass eine bestimmte Menge an Produkten erzeugt werden muss.

Um eine einheitliche Bewertung und Darstellung der Systeme über verschiedene Produkte hinweg im Verhältnis zu ihren Umweltlasten zu ermöglichen, kann auch der Nutzen der Produktion normiert werden, z.B. auf einer Skala von 0 bis 1.

$$N' = \lambda N \quad (6)$$

Durch die Heterogenität von naturräumlichen Standorten und Produktionsweisen kann sich die Skalierung des wirtschaftlichen Nutzens anders – als die Skalierung der Inanspruchnahme – nur schwer an Literaturwerten orientieren. Die Normierung des Nutzens mit Hilfe des Skalierungsfaktors  $\lambda$ , kann daher leichter über Modellläufe, bzw. Annahmen vorgenommen werden. Wiederum besteht die Möglichkeit, bei der Skalierung Grenzwerte einzubinden.

#### 4.2.4 Berechnung der nachhaltigen Ressourcenleistung

Zur Ermittlung der Ressourcenleistung wird die skalierte Inanspruchnahme von natürlichen Ressourcen (Ressourcenschonung) mit dem skalierten Nutzen multipliziert und durch das Zeitintervall  $t$  geteilt:

$$RL = I'_{\text{öSL}} * N'_{\text{öSL}} / t \quad (7)$$

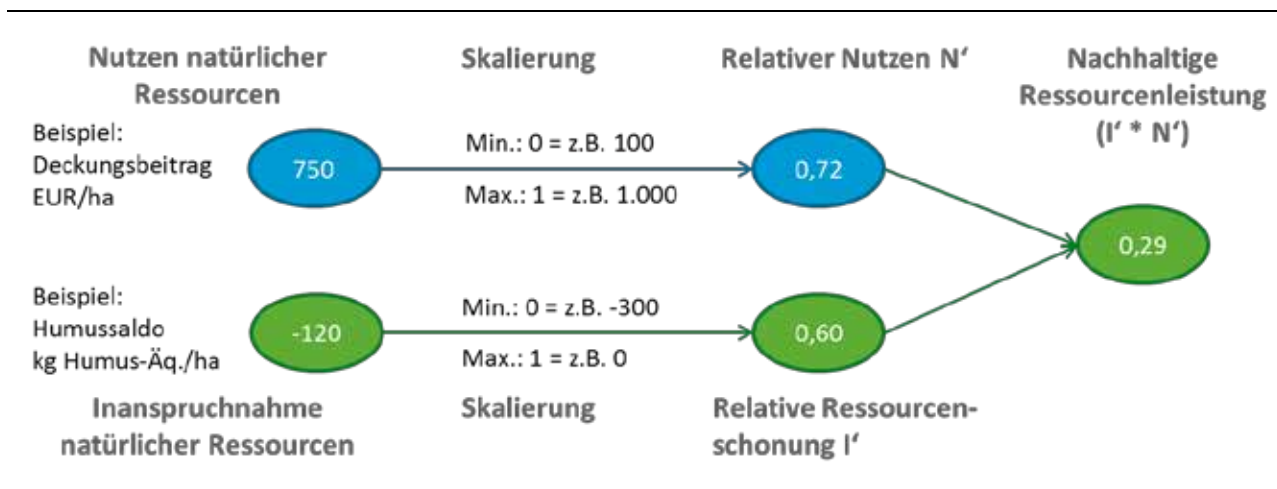
Da in die Berechnung der skalierten Inanspruchnahme von natürlichen Ressourcen und den ggf. auch des skalierten Nutzen Nachhaltigkeitsgrenzwerte einfließen, wird der Begriff der **nachhaltigen Ressourcenleistung (RL)** verwendet. Die nachhaltige Ressourcenleistung kann in Anlehnung an die physikalische Definition der Leistung ( $P = W/t = (F*s)/t$ ) verstanden werden. Dabei entspricht bei der Berechnung der nachhaltigen Ressourcenleistung die Inanspruchnahme der „Kraft“ einer natürlichen Ressource der Kraft  $F$  und der erreichte Nutzen dem Weg  $s$ . Wird die durchschnittliche Ressourcenleistung für ein Zeitintervall  $t$  auf ein Jahr bezogen, reduziert sich der Berechnungsterm auf:

$$RL_{1a} = I'_{\text{öSL}} * N'_{\text{öSL}} \quad (7)$$

Die Berechnungen der nachhaltigen Ressourcenleistung in dem Bericht beziehen sich stets auf ein Zeitintervall von einem Jahr.

Das Produkt aus den skalierten Termen beträgt Null, wenn die skalierte Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen Grenzwerte überschreitet und dadurch auf null gesetzt wurde. Gleichfalls ist die Ressourcenleistung auch Null wenn keinerlei (quantifizierbarer) Nutzen erzeugt wird. Das Produkt kann maximal den Wert des einen oder anderen skalierten Terms annehmen (Abbildung 4-2). Zudem reagiert die Ressourcenleistung linear auf Änderungen sowohl der Inanspruchnahme von natürlichen Ressourcen als auch des Nutzens.

Abbildung 4-2: Berechnung der nachhaltigen Ressourcenleistung aus skaliertem relativem Nutzen und skaliertem relativer Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen mit Beispielzahlen



Quelle: Eigene Darstellung

#### 4.2.5 Voraussetzungen der Anwendung der nachhaltigen Ressourcenleistung für die mehrdimensionale Bewertung

Die Skalierung der Werte einzelner Indikatoren der Ressourceninanspruchnahme bzw. Ressourcenschonung ermöglicht, dass mehrdimensionale Bewertungen vorgenommen werden können, d.h. eine gleichzeitige Berücksichtigung verschiedener Indikatoren bzw. natürlicher Ressourcen und ihrer Wechselwirkung bei der Bewertung möglich ist.

Durch die Skalierung jedes einzelnen Indikators ergeben sich Indikatorwerte zwischen 0 und 1. Diese lassen sich über alle Indikatoren mitteln. Dabei ist zu prüfen, inwiefern eine Gewichtung der Indikatoren sinnvoll ist. Eine Gewichtung kann dafür sorgen, dass Indikatoren, denen eine höhere Relevanz zugesprochen wird, in der Bewertung und Darstellung stärker als andere Indikatoren einfließen. Über die Gewichtung kann unterschiedlich detailliert bewerteten Umweltdimensionen das gleiche Gewicht gegeben werden. So kann z.B. einer Indikatorgruppe, die nur durch einen Indikator repräsentiert wird, gegenüber einer Indikatorgruppe, die mit mehreren Indikatoren einfließt, in der Bewertung durch eine Gewichtung systemische Verzerrungen ausgeglichen werden.

Der Indikator der nachhaltigen Ressourcenleistung ist generell stark abhängig von der Skalierung von Ressourceninanspruchnahme und des Nutzens. Eine wichtige Voraussetzung ist deshalb, dass die Skalierung der Indikatoren transparent und eindeutig hergeleitet und dargestellt wird, insbesondere, wenn Produktionssysteme verglichen werden. Vor allem muss die Skalierung aber auch auf dem gleichen Bezugssystem basieren, und die Bewertung anhand der nachhaltigen Ressourcenleistung lässt damit nur Aussagen über eine relative Performance eines Produktionssystems zu anderen Systemen zu, wenn diese das gleiche System verwenden.

Die Konstanz der Skalierung als Voraussetzung gilt auch für die Anwendung des Ansatzes über die Zeit. Bei der Bewertung zu unterschiedlichen Zeitpunkten muss die Länge des jeweils betrachteten Zeitintervalls in die Berechnung der nachhaltigen Ressourcenleistung einbezogen werden (vgl. Kapitel 4.2.4).

### 4.3 Darstellung des Nutzens

Der mit der Landnutzung und durch die Biomassebereitstellung verbundene Nutzen ist in erster Linie durch den Verkauf der Ernteprodukte (pflanzliche oder tierische Produkte), aber auch durch die Bereitstellung von anderen Ökosystemleistungen gegeben. Bezogen auf die Biomasseproduktion ist es wichtig, dass Nutzen nicht nur als Output in Form von Masse (Trockenmasse) oder Energie (Heizwert) ermittelt wird, sondern auch gemäß des tatsächlichen Nutzens, d.h. der Einsatzmöglichkeiten. Dies kann auf Eigenschaften der stofflichen Zusammensetzung (wie zum Beispiel nach Eiweiß, Stärke und Ölen) basieren und darauf, ob ein Produkt als Nahrungs- und Futtermittel verwendet werden kann oder nicht.

Obwohl es prinzipiell möglich und auch sinnvoll erscheint, alle Ökosystemleistungen in die Nutzenbetrachtung einzubeziehen, wurde im Rahmen dieser Studie lediglich der **Deckungsbeitrag** als ökonomische Erfolgsgröße berücksichtigt. Der Deckungsbeitrag definiert sich als monetäre Größe aus Erlös (Produktmenge mal Preis) abzüglich variabler Kosten der Produktion. Bei gegebener Fixkostenbelastung ist der Deckungsbeitrag die gewinn- – und damit aus betriebswirtschaftlicher Sicht vereinfacht nutzenrelevante Größe. Zu beachten ist hierbei, dass bei dieser Nutzenbetrachtung der Nutzen abhängig ist von Kostenstrukturen und Produktpreisen. Darüber hinaus können nur Verfahren verglichen werden, die vergleichbare Fixkostenbelastung haben. Weiterhin sollten bei dieser Betrachtungsweise mehrjährige Zahlungsströme diskontiert werden, was insbesondere im Forst von Relevanz ist.

Alternative Parameter zur Abbildung des Nutzens könnten die Bruttowertschöpfung, der Erlös, die Trockenbiomasse oder auch die Energie- oder Proteinproduktion sein. Die Wahl der Parameter ist je nach Einsatzzweck entsprechend anzupassen.

Zur Vereinfachung der Bewertung wurde im Rahmen dieses Projektes der Nutzen von Ökosystemleistungen unterteilt in den monetären Nutzen durch Haupt- und Nebenprodukte, der sich relativ leicht ermitteln lässt in Form des Erlöses und den aufwändiger zu erfassenden nicht-monetären Nutzen durch Ökosystemleistungen ( $N_{\text{ÖSL}}$ ). Letzterer wurde in diesem Projekt nicht erfasst. Die Ressourceneffizienz ergibt sich daher aus dem Quotienten von Nutzen und Inanspruchnahme der Ressourcen entsprechend Formel 5<sup>5</sup>.

$$RE = \frac{DB + N_{\text{ÖSL}}}{I_{\text{ÖSL}}} \quad (8)$$

Wird der Nutzen aus Ökosystemleistungen beschränkt auf den monetären Nutzen (in Form des Deckungsbeitrags) und bezogen auf die Zeitspanne von einem Jahr, so ergibt sich:

$$RL = I'_{\text{ÖSL}} * DB' \quad (9)$$

Der Nutzen, der in einem bestimmten Produktionssystem produziert wird, kann sowohl Qualität als auch Quantität der natürlichen Ressourcen beeinflussen. Allerdings kann diese Beeinflussung kaum quantitativ oder gar monetär bewertet werden. Zur Annäherung an eine Quantifizierung und Bewertung können aber Indikatoren bestimmt werden, die die Einflüsse des Produktionssystems auf natürliche Ressourcen als Quellen und Senken (z.B. Luft, Wasser, Boden und Biodiversität) qualitativ näher beschreiben, indem sie relative Veränderungen darstellen.

#### 4.4 Darstellung der Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen

Aufbauend auf der gewählten Definition der Ressourcenleistung wurden für die natürlichen Ressourcen Luft, Wasser, Boden und Biodiversität Indikatoren gewählt, aus denen der Einfluss des Produktionssystems auf die natürlichen Ressourcen abgeleitet werden kann. Es wurde versucht die Auswahl der Indikatoren an denen der Nachhaltigkeitsstrategie auszurichten. Als Startpunkt für die Identifikation von Indikatoren dienten zudem bestehende Bewertungsansätze für die Biomasseproduktion und Landnutzung, die in der Evaluierung der Bewertungsansätze (AP-1) bereits gesichtet wurden. Zusätzlich müssen die Indikatoren allerdings für den Einsatz im Modell geeignet sein – d.h. sie müssen

- ▶ quantifizierbar sein,
- ▶ als Ausgangsgrößen des Modells beschrieben werden können,
- ▶ der räumlichen Betrachtungsebene gerecht werden.

Die Indikatoren beschreiben die Wirkung auf die Ressourcen entweder

- ▶ direkt: z.B. die absolute Höhe der Emission von Treibhausgasen. Für die Quantifizierung direkter Indikatoren wie z.B. Treibhausgase, Humusbilanz, Nährstoffüberschüsse liegen in der Regel anerkannte Methoden zur Berechnung vor;

<sup>5</sup> Die Inanspruchnahme von anthropogenen Ressourcen (Arbeit und Kapital) wurde hier nicht berücksichtigt und müssten der Vollständigkeit halber mit einbezogen werden. Ohne die anthropogenen Ressourcen gibt die Ressourceneffizienz lediglich Auskunft über die Effizienz des Ressourceneinsatzes von natürlichen Ressourcen. Beim Vergleich sehr verschiedener Nutzungssysteme, die sehr unterschiedlichen anthropogenen Ressourcen beanspruchen könnte dies zu Verzerrungen führen.

oder

- indirekt: z.B. werden Wirkungen auf die Biodiversität hier nicht auf der Artenebene erfasst, sondern nur über Aspekte, die der Biodiversität förderlich sind – wie etwa der Totholzvorrat im Wald oder der Anteil an Flächen für Agrarumweltmaßnahmen wie Blühstreifen oder Strukturelemente. Indirekte Indikatoren können auch anhand eines Punktesystems bewertet werden.

Nachfolgend werden mögliche Indikatoren für die Darstellung und Bewertung der Umweltinanspruchnahme durch Biomasseproduktion generell beschrieben. Dabei werden alle für die Landnutzung relevanten natürlichen Ressourcen betrachtet: Luft, Boden, Wasser und Ökosystemleistungen aus Biodiversität. Die Wirkung der Landbewirtschaftung auf die natürlichen Ressourcen kann in der Regel nicht mit einem einzigen Indikator erfasst werden, somit ist es meist ein Set an Indikatoren, das hier je Ressource genannt wird.

#### 4.4.1 Natürliche Ressource Luft

##### Treibhausgasemissionen

Land- und forstwirtschaftliche Produktionssysteme können sowohl zu Treibhausgas- (THG) Emissionen (aus Quellen) als auch THG-Festlegungen (in Kohlenstoffsinken) führen. Nicht alle THGs sind gleich relevant für die Produktionssysteme. Im Forstwirtschaftssektor spielt vor allem CO<sub>2</sub> eine Rolle. Durch Baumwachstum wird es in Holzbiomasse festgelegt und entweicht durch natürlichen Zerfall oder Verbrennung wieder. Die Dynamik der Emissionen und ihre Nettobilanz hängen von Baumart, Alter und Bewirtschaftung ab. Neben der Biomasse bildet der Boden einen wichtigen Vorrat an Kohlenstoff. Aber auch Holzprodukte enthalten Kohlenstoff, und ihre Verwendung und Nutzungsdauer haben Auswirkungen auf die Gesamttreibhausgasbilanz.

Auch in der landwirtschaftlichen Produktion entstehen THGs vor allem durch biologische Prozesse, die durch den Menschen beeinflusst werden. Je intensiver das landwirtschaftliche System produziert (d.h. je höher der Input an Stickstoffdünger, Futtermitteln etc.) desto mehr Treibhausgase entstehen. Bezogen auf den Nutzen (z.B. Produkt in kg Milch oder kg Trockenmasse) können unter optimalen Produktionsbedingungen aber auch weniger Treibhausgase pro Kilogramm Produkt entstehen. Durch unterschiedliche Klimabedingungen etc. steigt bei einer intensiven Produktion und hohen Inputs (von z.B. Stickstoffdüngern) gleichzeitig das Risiko mehr Treibhausgase pro Produkt zu produzieren, wenn das System die hohen Inputs nicht entsprechend verarbeiten kann und geringere Outputs produziert.

Treibhausgasemissionen zählen zu dem Indikator, für den standardisierte Methoden zur Berechnung vorliegen (z.B. IPCC Guidelines). Zudem gibt es eine Vielzahl Referenzdaten und Erhebungen in der Literatur. Konkrete politische Ziele zur Verringerung der THG-Emissionen und existierende Regulierungen machen diesen Indikator außerdem relevant für die Praxis.

Mit dem Klimaschutzplan der Bundesregierung (BMUB 2016b) liegt für das Jahr 2030 ein verbindlicher Zielwert für die Treibhausgase aus dem Landwirtschaftssektor vor. Die Treibhausgase sollen auf 58-61 Mt CO<sub>2</sub> Äq. sinken. Im Vergleich zum Jahr 1990 entspricht dies nach den aktuellen Berechnungsmethoden einer Reduktion von ca. 32 bis 35%.

Im DLG Nachhaltigkeitsbericht (DLG 2016) und im KSNL werden zur Bewertung des Indikators Treibhausgasemissionen aus der Landwirtschaft die Treibhausgase pro produzierter Getreideeinheit bzw. pro GJ Marktprodukt ausgegeben. Im DLG Bericht erfolgt die Darstellung als Entwicklung über die Zeit, ohne die Festlegung von Zielwerten, im KSNL werden Optimum und Toleranzwerte in Abhängigkeit von Großvieheinheiten (GV) pro Hektar und Ackerzahl berechnet.

Wälder stellen wichtige Kohlenstoffspeicher dar, wobei sie häufig auch im höheren Alter noch viel Kohlenstoff aufnehmen können und damit eine CO<sub>2</sub>-Senke darstellen (Knohl et al. 2003). Insgesamt mehren sich Beobachtungen, die der verbreiteten Annahme widersprechen, dass alte Wälder keinen Kohlenstoff mehr

aufnehmen können (Köhl et al. 2017; Luyssaert et al. 2008; Stephenson et al. 2014). Weniger das Alter der Bäume als die Waldstruktur bestimmen den Netto-Austausch zwischen Atmosphäre und Pflanzen, u.a. durch die vorhandene Blattfläche (Schulze et al. 2009). Im Jahr 2015 stellte die lebende Biomasse im Wald in Deutschland mit etwa -40 Mio. t CO<sub>2</sub> eine deutliche Senke dar<sup>6</sup>.

#### 4.4.2 Natürliche Ressource Boden

##### Nährstoffbilanzen

Die Nährstoffgehalte des Bodens sind entscheidend für das Pflanzenwachstum. Nährstoffbilanzen stellen einen Indikator zur Bewertung der Nährstoffeffizienz dar. Gleichzeitig können über Nährstoffbilanzen Auswirkungen auf den Gewässerschutz, die biologische Aktivität im Boden und die Artenvielfalt abgeleitet werden.

Grenzwerte für Stickstoffüberschüssen auf der Basis von Nährstoffbilanzen bestehen auf unterschiedlichen Ebenen. In der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung (2002) wird ein Zielwert von 80 kg N Überschuss nach der Gesamtbilanz (Hoftorbilanz) gefordert. Im Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung und in der Neuauflage der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie (Die Bundesregierung 2016) wird als Meilenstein für das Jahr 2030 dieser Zielwert auf 70 kg N Überschuss nach der Gesamtbilanz reduziert. Die Düngeverordnung gibt als Grenzwert für Nährstoffüberschüsse auf der Betriebsebene 60 kg N/ha an. Ab dem Jahr 2018 wird dieser Grenzwert auf 50 kg N/ha reduziert.

Nährstoffe werden in allen Bewertungsansätzen berücksichtigt. Die Wahl der Grenzwerte unterscheidet sich allerdings. Im KSNL wird der N-Flächensaldo mit einem Optimum zwischen 0 und 20 kg N/ha berücksichtigt. Als Toleranzschwelle wird ein Flächensaldo von bis zu -50 und 50 kg N/ha bewertet. Im DLG Nachhaltigkeitsbericht wird der derzeitige Grenzwert der Düngeverordnung von 60 kg N/ha nach der Flächenbilanz als Zielwert definiert. Die Erreichung dieses Zielwertes entspricht 100 % auf der Skala.

##### Bodenkohlenstoff

Der Bodenkohlenstoff ist größtenteils in der organischen Bodensubstanz (Humus) gebunden. Dieser bildet eine wesentliche Kohlenstoffsene und Änderungen machen sich entsprechend in der Treibhausgasbilanz bemerkbar. Die organische Bodensubstanz ist außerdem ein Speicher- und Puffermedium für Wasser und Nährstoffe und sie beeinflusst die Aggregatstabilität und Erodierbarkeit von Böden. Dementsprechend beeinflusst der Indikator Bodenkohlenstoff in Form von Humus maßgeblich das Pflanzenwachstum. Umgekehrt hat die landwirtschaftliche Bewirtschaftungsweise großen Einfluss auf den Kohlenstoffgehalt im Boden (beispielsweise durch Nutzungsänderungen, die Fruchtfolgegestaltung oder die Art der Bodenbearbeitung).

Die VDLUFA bietet ein 5 stufiges Bewertungsverfahren für die berechneten Bilanzsalden. Eine ausgeglichene Bilanz im konventionellen Landbau wird bei Humusäquivalenten zwischen -75 bis + 100 pro Hektar erreicht und im ökologischen Landbau von 0 bis 300 Humusäquivalent pro Hektar.

Der Humussaldo wird in nahezu allen Bewertungsansätzen als Indikator zur Bewertung der Ressource Boden verwendet. Im DLG Nachhaltigkeitsbericht wird dieser Indikator nicht verwendet, sondern nur in Zusammenhang mit der Bodenerosion und der Bodenschadverdichtung erwähnt. Das KSNL definiert das Optimum für die Humusversorgung zwischen 0 und bis 100 kg Humus C/ha. Die Toleranzschwelle liegt zwischen -75 bis 300 kg C/ha.

<sup>6</sup> Inventarbericht 2017 für Deutschland gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013, [http://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/mmr/art07\\_inventory/ghg\\_inventory/envwhvj6g/](http://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/mmr/art07_inventory/ghg_inventory/envwhvj6g/)



Die Effekte der Bewirtschaftung von Wäldern auf den Bodenkohlenstoff werden kontrovers diskutiert. Intensive Erntemaßnahmen, die auch Kronenholz und andere Erntereste entfernen, wirken sich deutlich negativ auf die Kohlenstoffvorräte im Boden aus (Achat et al. 2015a). Effekte moderater Eingriffe sind auch wegen fehlender langer Zeitreihen nicht eindeutig feststellbar (Jandl et al. 2007; Achat et al. 2015b). Allerdings sind Bodenkohlenstoffvorräte in alten Wäldern typischerweise höher als die in Wirtschaftswäldern (Pan et al. 2011; Gleixner et al. 2009). In Deutschland stellten mineralische Waldböden 2015 eine Senke von 14,6 Mio. t CO<sub>2</sub>/Jahr dar, sie nahmen also Kohlenstoff auf. Eine Quelle dagegen waren die 244,000 ha Moorböden in Deutschland, die größtenteils entwässert wurden, weshalb sich der organische Boden nach und nach abbaut und CO<sub>2</sub> emittiert. Als effektive Klimaschutzmaßnahme könnten diese Flächen wieder vernässt werden (Osterburg et al. 2013), was vielfach auch dem Naturschutz dienen würde.

### **Flächenbedarf**

Die zur Verfügung stehende landwirtschaftliche Nutzfläche ist begrenzt und wird durch Infrastrukturmaßnahmen und Bodendegradation immer kleiner. Daher ist der Flächenbedarf, der zur Produktion einer bestimmten Menge an Output benötigt wird, ein entscheidender Indikator bei der Betrachtung. Kann auf einer kleinen Fläche eine hohe Produktivität erzeugt werden, steht die andere Fläche evtl. für andere Nutzungen (z.B. Naturschutz) zur Verfügung. In Bewertungsansätzen zur Nachhaltigkeitsanalyse einzelner Betriebe wird dieser Indikator meist nicht gesondert berücksichtigt, da sich die Ergebnisse auf die vorhandenen Betriebsflächen beziehen.

## **4.4.3 Natürliche Ressource Wasser**

### **Nährstoffeintrag**

Der Nährstoffeintrag aus landwirtschaftlich genutzten Flächen stellt eine der Hauptbelastungen für Grund- und Oberflächengewässer dar. Vor allem hohe Nitratkonzentrationen durch übermäßige Düngemiteleinträge führen zu hohen Kosten in der Trinkwasseraufbereitung, da in vielen Gebieten die Grenzwerte der Trinkwasserverordnung überschritten werden. Die Höhe der Nitratkonzentrationen im Trinkwasser ist nicht allein auf Düngemiteleinträge zurückzuführen sondern standort- und witterungsspezifisch.

Der Grenzwert der Nitratbelastung des Grundwassers wird mit 50 mg/l Nitrat nach der Trinkwasserverordnung definiert. Nach der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie (2016) soll dieser Grenzwert bei 100% der Grundwassermessstellen erreicht werden.

Die Berücksichtigung des Wassers wird in den bestehenden Bewertungsansätzen unterschiedlich gehandhabt. Viele der Ansätze berücksichtigen die Ressource Wasser nicht direkt. Das Ökobilanzierungssystem SALCA berücksichtigt über die Hauptindikatoren Gesamteutrophierung und aquatische Ökotoxizität die Auswirkungen der Produktion auf die Ressource Wasser. Im Bewertungssystem RISE wird die Ressource Wasser über den Indikator Wassernutzung und verschiedenen Unterindikatoren berücksichtigt, was vor allem bei der Anwendung im internationalen Bereich entscheidend ist. Im DLG Nachhaltigkeitsbericht wird die Ressource Wasser über den Indikator zur Belastung des Grundwassers mit Pflanzenschutzmitteln bewertet.

## **4.4.4 Natürliche Ressource Ökosystemleistungen aus Biodiversität**

### **Biodiversitätsindikatoren in der Landwirtschaft**

Die landwirtschaftliche Produktion führt häufig zu einer Reduktion der Biodiversität auf der genutzten Fläche. Blühstreifen, Randstreifen, Hecken und extensives Grünland können die Biodiversität innerhalb einer Agrarlandschaft erhöhen. Zusätzlich zur natürlichen Biodiversität kann auch die Agro-Biodiversität eine

Rolle spielen. Vielgliedrige Fruchtfolgen und Zwischenfrüchte können positive Auswirkungen auf die natürliche Biodiversität haben, da weniger Mineraldünger und Pestizide eingesetzt werden müssen.

Die Biodiversität lässt sich oft nur als indirekter Indikator darstellen. D.h., die Quantifizierung kann meist nicht direkt erfolgen, sondern muss über andere Größen abgeleitet werden. Als Quantifizierungsrahmen kann auf bestehende unterschiedliche Punktesysteme bzw. auch auf monetäre Ansätze zurückgegriffen werden. Im Rahmen des GAP-Greenings wurde ein vereinfachtes Punktesystem für die Bewertung von ökologischen Vorrangflächen entwickelt. Auch die Bewertung von Ausgleichs- und Ersatzflächen bei Infrastrukturvorhaben erfolgt anhand definierter Ökopunkte, die bestimmte Biotoptypen (z.B. Streuobstwiese oder Hecke) erzielen.

Die Bundesregierung hat im Jahr 2007 die Nationale Strategie zur Biologischen Vielfalt beschlossen (BMU 2007). Die Vielzahl der beschlossenen Qualitäts- und Handlungsziele wird an-hand von Indikatoren hinsichtlich ihres Zielerreichungsgrads bewertet. Eine Ableitung von Zielwerten für die Bewertung der Biodiversität in konkreten landwirtschaftlichen Produktionssystemen ist schwierig. Einige Indikatoren wie z.B. die Entwicklung der Fläche und der Fördermittel für Agrarumweltmaßnahmen oder die Stickstoffüberschüsse aus der Landwirtschaft sind aber durchaus relevant für landwirtschaftliche Produktionssysteme (BMU 2015).

Der DLG Nachhaltigkeitsbericht übernimmt für die Bewertung der Biodiversität der gesamten deutschen Landwirtschaft den Schlüsselindikator der Biodiversitätsstrategie „Artenvielfalt und Landschaftsqualität“. Anhand der Veränderungen von Vogelbeständen wird dieser Indikator gemessen. Auf Basis der einzelbetrieblichen Bewertung werden andere Ansätze zur Beurteilung der Biodiversität verwendet. DLG Nachhaltigkeitszertifizierung (ehemals REPRO) berücksichtigt zur Bewertung der Agrobiodiversität die drei Wirkungsbereiche Strukturen, Inputs und Maßnahmen. Zur Bewertung werden allen Wirkungsbereichen einzelne Teilindikatoren zugeordnet. Das KSNL bestimmt den Indikator Biodiversität über die Teilindikatoren Anteil der Ökolandbaufläche, dem Kulturartenindex und dem Median der Feldgröße.

### Biodiversitätsindikatoren in der Forstwirtschaft

Neben der Artenzahl ist in forstwirtschaftlichen Produktionssystemen die **Bestandesstruktur** ein wichtiger Indikator für die Ressource Biodiversität. Dazu zählt die Verteilung der Durchmesserklassen bzw. Altersklassen in einem Bestand, wie auch die Anzahl an Höhenstufen und deren räumliche Verteilung. So zeigen Studien, dass mit Zunahme der horizontalen und vertikalen Strukturierung eines Waldes in der Regel auch die Vielfalt der darin vorkommenden Tier- und Pflanzenarten ansteigt und die zwischenartlichen Verknüpfungen, die zur ökologischen Stabilität beitragen, zunehmen. Im Hinblick auf die Bestandesstruktur werden die Waldflächen in Deutschland von Baumaltersklassen unter 100 Jahren dominiert. Sie nahmen im Jahr 2012 mit 74 % der Waldfläche ein. Der Anteil alter Wälder über 160 Jahre betrug lediglich 3,2 %. Alte Wälder sind nicht zuletzt für den Erhalt der Biodiversität bedeutend. Ihr geringer Anteil an der Waldfläche in Deutschland spiegelt sich darin wieder, dass zahlreiche Arten von Brutvögeln, Fledermäusen, Käfern, Moosen, Flechten und Pilzen, die auf diese Lebensräume angewiesen sind, in Deutschland gefährdet oder bereits ausgestorben sind (Hennenberg et al. 2016). Stark dimensionierte Laubbäume sind in Deutschland ebenfalls unterrepräsentiert. So nehmen Laubbäume mit einem Durchmesser von mehr als 60 cm nur knapp 7 % des Holzvorrats in Deutschland ein (BMEL 2012).

**Totholzvorrat** und Qualität ist ein weiteres zentrales Merkmal für die Bewertung von Biodiversität im Wald. Totholz entsteht durch natürliches Absterben von Bäumen oder den Verbleib von Teilen gefällter Bäume im Wald. Dieses zersetzt sich mit der Zeit und durchläuft so verschiedene Zersetzungsstufen. Wichtig sind in dem Zusammenhang der Durchmesser des Totholzes, da davon die Eignung als Habitat für Lebewesen abhängt und die Frage ob es sich um stehendes oder liegendes Totholz handelt. Neben der Speicherung von Kohlenstoff bietet der Wald Lebensraum für Tier- und Pflanzenarten. Besonders Totholzvorräte von verschiedenen Baumarten, Stärkeklassen und Zersetzungsstufen spielen für den Wert des Waldes als Habitat eine wichtige Rolle (Lassauce et al. 2011) und stellen damit einen wichtigen Indikator für die Bewertung des

Waldes als Lebensraum für die biologische Vielfalt dar. In Deutschland lagen die Totholzvorräte im Jahr 2012 mit ca. 20 m<sup>3</sup>/ha relativ niedrig. Der Totholzanteil wurde mit 2/3 stark von Nadelbäumen als häufigste Baumarten dominiert. Für eine höhere Habitatqualität der Wälder, fehlt es vor allem an stark dimensioniertem stehendem Totholz heimischer Laubhölzer (Hennenberg et al. 2016).

## **4.5 Zusammenfassung der Indikatoren für die Bewertung**

Im Rahmen des entwickelten Bewertungsansatzes werden für die Darstellung des Nutzens, die Inanspruchnahme natürliche Ressourcen und die nachhaltige Ressourcenleistung verwendet. Für diese Aspekte können für die Bewertung unterschiedliche Indikatoren herangezogen werden. Die Auswahl der Indikatoren sollte inhaltliche begründet sein, sich aber auch an der Verfügbarkeit von Daten ausrichten.

In der nachfolgenden Anwendung des Bewertungsansatzes auf land- und forstwirtschaftliche Produktionssysteme (siehe Kapitel 7.2 und 7.3) werden die in Tabelle 4-1 zusammengestellten Indikatoren verwendet. Für die Bewertung des Nutzens wird der Indikator Deckungsbeitrag und für die Inanspruchnahme der natürlichen Ressourcen Wasser, Boden, Biodiversität und Luft werden sieben Indikatoren genutzt (vgl. Tabelle 4-1 und Kapitel 4.4). Für die Bewertung landwirtschaftlicher Produktionssysteme wird zudem der Indikator Futter Eigenanbau herangezogen, um einzuschätzen, wie hoch der Anteil an Futteranbau im Produktionssystem ist und wie viel Futter ins Produktionssystem importiert wird.

Auf Basis der Indikatoren für den Nutzen und die Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen wird als Indikatorenset die nachhaltige Ressourcenleistung für Wasser, Boden, Biodiversität und Luft berechnet (Tabelle 4-1).

Grundsätzlich ist eine Erweiterung dieser Liste an Indikatoren für den Nutzen und die Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen möglich. Auch die Indikatoren für die natürliche Ressourcenleistung kann ergänzt bzw. abgewandelt werden, in dem ein anderer Nutzen für die Berechnung verwendet wird. Die konkrete Darstellung der Indikatoren wird in Kapitel 5 erläutert.

Tabelle 4-1: Liste der berücksichtigten Indikatoren für die land- und forstwirtschaftlichen Produktionssysteme

| Aspekt, Ressource                         | Indikator                                                                  | Produktionssystem |             |                 |
|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------|-----------------|
|                                           |                                                                            | Pflanzenbau       | Tierhaltung | Forstwirtschaft |
| A) Nutzen                                 |                                                                            |                   |             |                 |
| Monetärer Nutzen                          | Deckungsbeitrag (DB)                                                       | x                 | x           | x               |
| B) Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen |                                                                            |                   |             |                 |
| Wasser                                    | Nährstoffeintrag                                                           | x                 | x           |                 |
| Boden                                     | N-Bilanz                                                                   | x                 |             |                 |
|                                           | Bodenkohlenstoff (als Humus)                                               | x                 |             | x               |
|                                           | Flächenbedarf                                                              | x                 | x           |                 |
| Biodiversität                             | Anzahl an Feldfrüchten, Fläche Brache, Blühstreifen, Grünlandanteil        | x                 |             | x               |
|                                           | Totholzvorrat, Vorrat in Bäumen >80cm Durchmesser                          |                   |             | x               |
| Luft                                      | Treibhausgase                                                              | x                 | x           | x               |
|                                           |                                                                            |                   |             |                 |
| C) Nachhaltige Ressourcenleistung         |                                                                            |                   |             |                 |
| Wasser                                    | Nährstoffeintrag * DB                                                      | x                 | x           |                 |
| Boden                                     | N-Bilanz * DB                                                              | x                 |             |                 |
|                                           | Bodenkohlenstoff (als Humus) * DB                                          | x                 |             | x               |
|                                           | Flächenbedarf * DB                                                         | x                 | x           |                 |
| Biodiversität                             | (Anzahl an Feldfrüchten, Fläche Brache, Blühstreifen, Grünlandanteil) * DB | x                 |             | x               |
|                                           | Totholzvorrat * DB, Vorrat in Bäumen >80cm Durchmesser * DB                |                   |             | x               |
| Luft                                      | Treibhausgase *DB                                                          | x                 | x           | x               |
|                                           |                                                                            |                   |             |                 |
| D) Ergänzende Indikatoren                 |                                                                            |                   |             |                 |
| Importe                                   | Futter Eigenanbau                                                          | x                 | x           |                 |

x = Indikator ist relevant für das jeweilige Produktionssystem

Quelle: Eigene Darstellung

## 5 Beschreibung und Modellierung von Produktionssystemen

Im folgenden Kapitel werden beispielhafte Produktionssysteme eingeführt, die für die Anwendung und die Prüfung des entwickelten Bewertungsansatzes herangezogen werden. Die Produktionssysteme werden hinsichtlich der Bezugsgröße für die Ermittlung des Nutzens, der gezogenen Systemgrenzen und der Indikatoren für die Darstellung der Inanspruchnahme von natürlichen Ressourcen beschrieben. Zudem liefert das Kapitel eine Beschreibung der verwendeten Modelle für die Simulation der Systeme im Zeitverlauf.

### 5.1 Definition von Produktionssystem

Produktionssysteme wurden im Vorhaben ähnlich den „Betriebszweigen“ eines land-/forstwirtschaftlichen Betriebs verstanden, die sowohl einzeln als auch kombiniert vorkommen können. Das Ziel ist, den Bewertungsansatz vielseitig anwendbar zu halten. Als Beispiele der Anwendung dienen folgende Produktionssysteme:

- ▶ Forstwirtschaft (Waldumbau)
- ▶ Pflanzenbau (Marktfruchtanbau und Grünland)
- ▶ Tierhaltung (Milchviehhaltung)

Diese Produktionssysteme liefern Produkte – die ggf. auch zwischen Betriebszweigen übergeben werden können – und benötigen dafür Ressourcen (Fläche, Nährstoffe, etc.). Wieviel Produkt in welcher Qualität ein land- bzw. forstwirtschaftliches System bereitstellen kann, hängt stark von seinen regionalen Produktionsbedingungen ab, also der Flächenausstattung, den klimatischen Gegebenheiten und anderen Einflussfaktoren. Eine aussagekräftige Analyse über Ressourceneffizienz in land- bzw. forstwirtschaftlicher Produktion kann nur unter Berücksichtigung dieser lokalen Rahmenbedingungen erfolgen.

Die Produktionssysteme in der Land- und Forstwirtschaft hängen stark vom **natürlichen Ressourcenraum** ab, in dem sie angesiedelt sind. Der natürliche Ressourcenraum beschreibt den Raum der direkten Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen durch ein konkretes oder auch abstraktes Produktionssystem. Dies betrifft sowohl die Art als auch die Höhe der Produktion. Das Fehlen oder Vorhandensein ganzer Betriebstypen gibt oft Auskunft über die naturräumliche Ausstattung einer ganzen Region – beispielsweise das nahezu vollständige Fehlen von viehhaltenden Betrieben in Börderegionen. Andererseits entscheiden auch die Standorteigenschaften in besonderer Weise über die Auswirkungen der Betriebe auf die natürlichen Ressourcen – beispielsweise das Nitrat-Auswaschungsrisiko in Abhängigkeit von der Bodenart.

Der Ansatz hat grundsätzlich den Anspruch diese Wechselbeziehung zwischen Betrieb und Standort darstellen zu können, allerdings fand im Rahmen des Projekts keine detaillierte geografisch explizite Darstellung statt, die notwendig wäre um auch die räumlichen Beziehungen einzubeziehen. Um standortspezifische Umwelteinflüsse abzubilden wurden v.a. solche Größen zur Beschreibung der Produktionssysteme gewählt, die sich auf Betriebseigenschaften übersetzen lassen.

Es wurde die Annahme getroffen, dass Tierhaltung nur im Zusammenspiel mit Pflanzenbau (Futterbereitstellung) möglich ist, auch wenn die Futtermittel und entsprechende Anbau- bzw. Weideflächen nicht zwingend in der gleichen Region verortet sein müssen. Aufgrund dieser Abhängigkeit werden Pflanzenbau und Tierhaltung als Produktionssysteme zusammen betrachtet, wobei es unterschiedliche Ausprägungen der Abhängigkeit geben kann. Zwischen dem Produktionssystem Pflanzenbau und Forstwirtschaft gibt es keine Interaktionen, auch wenn diese theoretisch denkbar wären durch Landnutzungsänderungen, die aber zur Vereinfachung ausgeklammert wurden.

Anhand von definierten Szenarien (siehe Kapitel 6), die in den einzelnen Systemen verschiedene Grade der Intensität der Produktion widerspiegeln, können Aussagen darüber getroffen werden, inwieweit sich die Ressourcenleistung bei einer Steigerung oder einer Verringerung des Nutzens im Vergleich zum Referenzszenario ändert. Dabei wurde nicht betrachtet, welche Auswirkungen die Änderung des Betriebsmanage-

ments (z.B. die Abdeckung von Güllelagern) oder die Verbesserung des Technikeinsatzes (z.B. bei der Düngemittelaufbringung im Pflanzenbau oder unterschiedliche Techniken der Holzurückung im Wald) auf die Ressourcenleistung haben. Die Produktionssysteme werden so definiert, dass explizit mit dem Produktionssystem verbundene Parameter geändert werden (z.B. vielgliedrigere Fruchtfolgen, Beschränkung der Kraftfuttereinzätze in der Milchproduktion etc.).

## 5.2 Modellbeschreibungen

FABio (Forestry and Agriculture Biomass Model) ist ein Simulationsmodell für die Beschreibung der Biomasseproduktion in land- und forstwirtschaftlichen Systemen. Im Rahmen des Projekts wurden das FABio Agrarmodell und das FABio Waldmodell eingesetzt. Beides sind agentenbasierte Simulationsmodelle, die mit der Software AnyLogic implementiert wurde.

### 5.2.1 FABio Agrarmodell

Das Modell zur Beschreibung landwirtschaftlicher Produktionssysteme teilt die zur Verfügung stehende landwirtschaftliche Nutzfläche in einzelne Parzellen auf, die einheitlich bewirtschaftet werden und unterschiedlicher Größe sein können. Es besteht aus vier Modulen, die jeweils mittels bestimmter Parameter spezifiziert werden können:

#### Feldfrüchte

Das Modell basiert auf einer Liste von möglichen Feldfrüchten. Diese umfasst als Ackerfeldfrüchte Körnermais mit CCM, Winterweizen, Sommerweizen, Roggen, Wintergerste, Sommergerste, Hafer, Triticale, Winterraps, Kartoffeln, Zuckerrüben, Futtererbsen, Ackerbohnen, Silomais, Klee/Klee gras /Klee-Luzerne-Gemisch, Luzerne/Luzernegras, Feldgras/Grasanbau auf dem Ackerland, Winterzwischenfrucht, Blühstreifen/Blühfläche und Brache. Für Grünlandflächen können Grassilage, Weide oder Heu-Wiese ausgewählt werden. Den Feldfrüchten werden spezifische Eigenschaften zugewiesen. Dazu zählen Ertragsparameter in Abhängigkeit von der N-Gabe, erlaubte Gabe an N aus Wirtschaftsdünger und/oder mineralischen Dünger, Deckungsbeiträge, Koeffizienten nach VDLUFA (Humussaldo), Fruchtfolgeregeln, Strohentnahmeparameter und Nährstoffgehalte der Produkte.

#### Anbauflächen

Beim Modellstart werden Anbauflächen (unterteilt in Ackerland und Grünland) mit einer definierten Flächengröße (z.B. 1 ha) angelegt. Entsprechend der Inputparameter können für jede Anbaufläche Feldfrüchte ausgewählt werden. Dabei entwickelt sich auf einer Anbaufläche eine Fruchtfolge in Abhängigkeit von Bedingungen zur Vor- und Nachfrucht (z.B. Ausschluss bestimmter Kombinationen), Wiederholung einer Feldfrucht in Jahren (günstige oder ungünstige Standorte (konventionell) oder ökologischen Landbau) und dem Deckungsbeitrag. Vorrangig werden zudem Futterpflanzen zu Deckung des Futterbedarfs der Tierhaltung angebaut (Mindestanteil einstellbar). Auf jede Anbaufläche kann bis zu einer Obergrenze an Stickstoff Wirtschaftsdünger ausgebracht werden. Diese Düngemenge kann – nach Berücksichtigung von Ernterückständen und Wirtschaftsdüngeranteilen aus dem Vorjahr – bis zu einer maximalen N-Gabe mit anorganischem Dünger ergänzt werden. Entsprechend der N-Gabe wird nach einer Ertragsfunktion der Flächenertrag der Feldfrucht bestimmt. Aufbauend auf die Wahl der Fruchtfolge werden flächenspezifische Indikatoren berechnet. Zu diesen zählen N-Saldo, C-Saldo, THG-Emissionen (Lachgas und Methan), Winterzwischenfrucht und Strohentnahme. Zudem wird die Menge an angebautem sowie die fehlende Menge Tierfutter je Feldfrucht ausgewiesen. Letzteres entspricht den nötigen Futterimporten von außerhalb des Produktionssystems.

#### Tiere



Für das betrachtete Produktionssystem wird eine definierte Anzahl an Nutztieren festgelegt. Jedem Tier wird eine Futterration zugewiesen. Diese Futtermenge wird über alle Tiere im jeweiligen Feldfruchtmodul aufsummiert und als Futterbedarf auf den Anbauflächen reserviert. Außerdem werden den Tieren weitere Eigenschaften zugewiesen wie Milch- und Fleischproduktion je Tier, Gülleausscheidung (inkl. Nährstoffgehalt) und Sommerweidegang (ganz- oder halbtags oder fehlend).

### **Organischer Dünger**

Dieses Modul aggregiert den anfallenden organischen Dünger aus der Tierhaltung. Aus einer Art Sammelbecken wird der Wirtschaftsdünger in dem Maße, wie die Einstellungen in den Anbauflächen es erlauben, auf die Anbauflächen ausgebracht. Im Extremfall verbleibt Wirtschaftsdünger aus dem Vorjahr im Sammelbecken und summiert sich über die Jahre auf. Zudem werden THG-Emissionen aus der Güllelagerung berechnet.

Die beschriebenen Module können für verschiedene Varianten des Produktionssystems variiert werden. Für jede Variante des Produktionssystems werden die zuvor definierten Indikatoren berechnet (z.B. mittlerer N-Saldo, mittlerer C-Saldo, THG-Emissionen der Tiere und der Flächen, Biodiversitätsbewertung und Flächenanteil mit einem N-Saldo über 50 kg/ha). Ebenfalls ausgegeben werden Variablen, die das Produktionssystem beschreiben. Hierzu zählen erzielter Deckungsbeitrag, Pflanzenproduktion (Marktfrüchte, Futter), Menge an tierischen Produkten (Milch, Fleisch) und Futter-Eigenanbau.

### **5.2.2 FABio Waldmodell**

Das FABio Waldmodell ist ein Simulationsmodell, das Waldwachstum anhand der Entwicklung einzelner Bäume in Waldbeständen in die Zukunft projiziert. Dabei berücksichtigt es neben der Mortalität der Bäume auch das potenzielle Ernteaufkommen, die Totholzentwicklung, Bodenkohlenstoff und Holzprodukte.

#### **Wachstumsmodell**

FABio beschreibt das Wachstum einzelner Bäume als distanzunabhängiges Einzelbaumwachstumsmodell. Dabei werden die Bäume als Agenten mit unterschiedlichen Eigenschaften wie Art, Alter, Durchmesser, Höhe etc. im Modell angelegt. Diese werden mittels Wachstumsfunktionen fortgeschrieben. Das Modell basiert auf folgenden Teilmodellen: ein Modell zur Beschreibung des Baumwachstums anhand von Durchmesser, Höhe, Bonität (d.h. Produktivität) und Bestandesdichte, ein Einwuchsmodell für das Entstehen neuer Bäume basierend auf Bestandesdichte und Baumart, ein Mortalitätsmodell abhängig von Baumart, Bonität, Alter und Bestandesdichte für die Darstellung von Absterbeprozessen, ein Totholzmodell, das die Zersetzung der abgestorbenen Bäume beschreibt, ein Bodenkohlenstoffmodell, das den Abbau von Biomasse in Streu und Boden über die Zeit in Abhängigkeit vom Klima simuliert, und ein Holzsortierungs- und Holzproduktemodell, das die geernteten Bäume in Verwendungsklassen einteilt und die Verweildauer des Kohlenstoffs in Holzprodukten berechnet.

#### **Datengrundlage**

Als zentrale Datengrundlage für die Beschreibung des Waldzustands und der Initialisierung und der Parametrisierung des Modells dient die Datenbank der Bundeswaldinventur (BWI) des Thünen-Instituts, die die Ergebnisse der Auswertung der BWI-2 (2002) und BWI-3 (2012) zusammenstellt (BWI-Ergebnisdatenbank<sup>7</sup>).

Die BWI findet an den Knotenpunkten eines Inventurrasters mit einem Abstand von Knotenpunkt zu Knotenpunkt von 4 km statt. An jedem Knotenpunkt ist ein sogenannter quadratischer Trakt mit einer Kanten-

---

<sup>7</sup> [www.bwi.info](http://www.bwi.info)

länge von 150 m eingerichtet. An Traktecken, die im Wald liegen, werden Baummerkmale wie Baumart, Brusthöhendurchmesser, Baumhöhe und Anzahl der Bäume je Traktecke erfasst. Zudem werden umfangreiche Daten zu z.B. Totholz (Totholztypen, Zersetzungsgrad, Durchmesserklassen), besonders geschützten Biotopen und Bäumen mit ökologisch bedeutsamen Strukturen (Biotopbäume wie Höhlenbäume) sowie Schutzgebieten und Nutzungseinschränkungen aufgenommen. Die in der BWI aufgenommenen Baumarten werden im Modell zu 24 Baumartengruppen zusammengefasst, die für die Darstellung der Ergebnisse wiederum acht Übergruppen bilden: Fichte, Kiefer, Tanne, Douglasie, Lärche, Buche, Eiche und sonstige Laubbäume. In die Parametrisierung des Modells gehen alle mehr als 47,000 verfügbaren Datenpunkte der Inventuren ein. Die Simulationsläufe des Modells finden mit einem thematisch reduzierten Datensatz statt.

## Unterscheidung von Bewirtschaftungsformen

Verschiedene Bewirtschaftungsoptionen, beschrieben durch konkrete Maßnahmen, können im Modell dargestellt werden. Sie führen in ihrer Umsetzung zu einer Veränderung der Waldbestände im Hinblick auf Durchmesserverteilung, Baumartenzusammensetzung, Altersstruktur und damit auch Zuwachs und Vorrat. Die Maßnahmen werden an die Baumartengruppen angepasst und orientieren sich an bestimmten Phasen der Bestandesentwicklung. Drei wesentliche Optionen werden unterschieden: Waldumbau, Änderung der Nutzungsintensität und Bestimmung von Flächen ohne Holznutzung (Schutzgebiete).

Der **Waldumbau** stellt eine Veränderung der Baumartenzusammensetzung des Vorrats und der Fläche dar, die durch die unterschiedliche Intensität der Bewirtschaftung bestimmter Baumarten und durch Beeinflussung der Verjüngung gesteuert wird. Dabei können gezielt einzelne Baumartengruppen eingeführt oder in der Naturverjüngung vorhandene Baumarten selektiert und gefördert werden. Auf diese Weise kann die Entwicklung von Waldbeständen stärker an Naturnähe ausgerichtet werden, d.h. heimische Baumarten der natürlichen Waldgesellschaft werden gefördert.

Eine zentrale Stellgröße der **Nutzungsintensität** ist der Durchmesser der Bäume, ab dem Durchforstungen vorgenommen oder Bäume durch Zielstärkennutzung geerntet werden. Die Stärke und Häufigkeit der Eingriffe entscheidet darüber, wie viele der hiebsreifen Bäume dann tatsächlich entnommen werden. Auf diese Weise können Vorräte im Wald erhöht oder abgebaut und die Alters- und Durchmesserstruktur der Bestände beeinflusst werden. Die Nutzungsintensität unterscheidet bestimmte Phasen der Bestandesentwicklung (Bestandesbegründung, Jungwuchspflege, Durchforstung, Vorratspflege, Nutzung) und wird an Baumartengruppen angepasst.

Bestände können der natürlichen Waldentwicklung überlassen und nicht weiter forstlich genutzt werden. Die Auswahl der **Schutzgebiete** kann über verschiedene Kriterien erfolgen, wie die Naturnähe des Waldes durch Vergleich der aktuellen Baumartenzusammensetzung mit der potentiellen natürlichen Waldgesellschaft oder durch bestehende Nutzungseinschränkungen (z.B. Steilhangflächen aber auch das Alter von Beständen). Die Datengrundlage für diese Auswahl bietet die Bundeswaldinventur.

## 5.3 Produktionssystem Pflanzenbau

### 5.3.1 Darstellung des Nutzens im Model (funktionelle Einheit)

Im Pflanzenbau werden unterschiedliche Produkte (Haupt- und Nebenprodukte) erzeugt. Ein Kilogramm des Hauptprodukts Weizen sollte auf Grund unterschiedlicher Erträge und Inputgrößen nicht einfach mit einem Kilogramm des Hauptprodukts Roggen oder noch weniger verglichen werden. Da auf einer Fläche auf Grund der notwendigen Variationen in der Fruchtfolge aber unterschiedliche Produkte erzeugt werden, ist die Betrachtung nur einzelner Ackerfrüchte ungeeignet, da verschiedene Ackerfrüchte über die Zeit produziert werden. Daher sollte neben der Anbaufläche in Hektar die Gesamtproduktion in Tonnen Trockenmasse (bzw. alternativ auch der Energiegehalt in Megajoule) angegeben werden. Gleichsam ist der De-

ckungsbeitrag (Euro) der entsprechenden Ackerfrüchte über einen mehrjährigen Zeitraum aufzuaddieren und auf einen Jahreswert zu mitteln<sup>8</sup>.

Als funktionelle Einheit zur Bewertung des Nutzens des landwirtschaftlichen Produktionssystems wird im Projekt beispielhaft der Deckungsbeitrag verwendet, wobei auch die Trockenmasseproduktion ausgewiesen wird. Der maximal zu erzielende Deckungsbeitrag pro Hektar ist sowohl Standort als auch Betriebstyp abhängig. Reine Marktfruchtbetriebe erzielen andere Deckungsbeiträge als Futterbaubetriebe oder Veredelungsbetriebe. In der Statistik werden die Deckungsbeiträge in der Regel je Flächeneinheit einer Fruchtart beziehungsweise je Tiereinheit einer Tierart aus erzeugter Menge mal zugehörigem Preis als geldliche Bruttoleistung ermittelt, von der die zurechenbaren variablen Spezialkosten abgezogen werden. Tabelle 5-1 zeigt beispielhaft für zwei Feldfrüchte den Energie- und Trockenmassegehalt sowie den Deckungsbeitrag. Alle drei Größen können für die Darstellung des Nutzens verwendet werden.

Tabelle 5-1: Alternative funktionelle Einheiten für den Pflanzenbau

| Produkt    | ME MJ/ha | TM t/ha | Deckungsbeitrag Brandenburg |
|------------|----------|---------|-----------------------------|
| Hartweizen | 9.40     | 7.00    | 345 €/ha                    |
| Zuckerrübe | 17.60    | 14.90   | 1275 €/ha                   |

Quelle: KTBL 2017<sup>9</sup>, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft 2015<sup>10</sup>, eigene Berechnungen

### 5.3.2 Systemgrenzen

#### Zeitlich

Die Darstellung der Auswirkungen unterschiedlicher Fruchtfolgen auf Boden etc. erfordert die Betrachtung über einen längeren Zeitraum. In bestimmten Fruchtfolgen existieren lange Anbaupausen von bis zu 7 Jahren für einige Ackerfrüchte. Für die Bewertung auf Ebene des Produktionssystems ist aber zu erwarten, dass derartige Effekte sich über die Jahre anteilig auf die Anbauflächen verteilen. Als Auswertungszeitraum wird daher ein Zeitraum von 5 Jahren berücksichtigt. Zur Vergleichbarkeit erfolgt die Mittelung auf Jahreswerte.

#### Räumlich

Die Betrachtung bezieht sich auf einen zuvor definierten natürlichen Ressourcenraum mit ähnlichen Standorteigenschaften. Die einbezogene Flächenkulisse umfasst damit eher einen größeren Maßstab von hier gewählten 1.000 Hektar. Betrachtet wird der Nutzen, der innerhalb dieses Standortes produziert werden kann. Änderungen in der Produktionsmenge des Nutzens werden über Änderungen im Flächenbedarf dargestellt, der z.B. bei einer Extensivierung ggf. außerhalb des Ressourcenraumes liegen würde.

#### Technisch

<sup>8</sup> In der Modellierung besteht zudem die Möglichkeit, alternativ unterschiedliche Inhaltsstoffe der Produkte zu betrachten (Eiweiß, Stärke, Fette).

<sup>9</sup> <http://daten.ktbl.de/sdb/welcome.do;jsessionid=837F2BF22284952FA3AA7C8C63531080>

<sup>10</sup> [https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/gruber\\_tabelle\\_fuetterung\\_milchkuehe\\_zuchtrinder\\_schafe\\_ziegen\\_lfl-information.pdf](https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/gruber_tabelle_fuetterung_milchkuehe_zuchtrinder_schafe_ziegen_lfl-information.pdf)

Der Fokus der Betrachtung liegt nicht auf der Bewertung der Ressourceneffizienz des Betriebsmanagements oder einer bestimmten Bewirtschaftung. Vielmehr soll der Ansatz exemplarische Produktionssysteme und Varianten miteinander vergleichbar machen. Deshalb werden innerbetriebliche Prozesse nicht detailliert analysiert. Vielmehr wird angenommen, dass die „gute fachliche Praxis“ umgesetzt wird, d.h. es werden keine Managementalternativen z.B. bzgl. des Maschineneinsatzes in der Ausbringung und Einarbeitung von Düngemitteln (ob mit Prallteller oder Schleppschuh ausgebracht wird bzw. ob innerhalb einer Stunde eingearbeitet wird). Dadurch können Systemunterschiede besser herausgestellt werden.

### 5.3.3 Darstellung der Indikatoren im Modell

Die Darstellung der Ressourceneffizienz erfolgt über ausgewählte Indikatoren, die den Einfluss der Produktion auf die verschiedenen Ressourcen widerspiegeln. Wie in Kapitel 4.3 vorgestellt lassen sich dafür viele Indikatoren definieren. Im Folgenden wird die Bilanzierung ausgewählter Indikatoren im Modell beschrieben. Es bleibt zu überprüfen, ob die ausgewählten Indikatoren in der Lage sind, die unterschiedlichen Ausprägungen der Produktionssysteme und ihre Einflüsse auf die natürlichen Ressourcen entsprechend abzubilden.

#### Treibhausgasemissionen

Für die Berechnung der Treibhausgase im Pflanzenbau werden die Lachgasemissionen aus der Aufbringung von Mineraldüngern, organischen Düngern und Ernteresten berücksichtigt. Zudem werden die Lachgasemissionen des N-Eintrages auf Weiden berücksichtigt.

CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Einsatz von landwirtschaftlichen Maschinen, Düngemittelproduktion etc. werden nicht berücksichtigt.

Die Quantifizierung der Treibhausgasemissionen erfolgt anhand der IPCC 2006 Guidelines unter Anwendung einer Tier 1 bzw. Tier 2 Methode (IPCC 2006) Damit können die Treibhausgase als direkter Indikator in die Bewertung des Einflusses des Produktionssystems auf die natürlichen Ressourcen einfließen.

#### Nährstoffbilanzen

Die zu betrachtenden Größen bei der Nährstoffbilanz sind die Nährstoffzufuhr und die Nährstoffabfuhr bezogen auf die zur Verfügung stehende Fläche. Je nach Methode können sich diese auf den gesamten Nährstoffstrom innerhalb eines Betriebes (inkl. Futtermittel) beziehen (Gesamtnährstoffbilanz oder Hoftorbilanz), oder es werden lediglich die Nährstoffzufuhr und Abfuhr auf eine bestimmte Fläche betrachtet (Flächenbilanz oder Feld-Stall Bilanz). Unter die Nährstoffzufuhr fallen Düngung, Deposition, N-Fixierung und in der Gesamtbilanz Futtermittel, während auf der Abfuhrseite Marktprodukte (Ernte) und in der Gesamtbilanz tierische Produkte (Milch, Fleisch) und die Abgabe von Wirtschaftsdünger bilanziert werden. Zur Ermittlung von Nährstoffbilanzen des Produktionssystems wird der Ansatz der Gesamtbilanz (Hoftorbilanz) herangezogen.

#### Biodiversität

Zur Bewertung der Biodiversität wird ein Biodiversitätsindex anhand einer Punkteskala herangezogen. Im verwendeten Modell sind bisher vier Indikatoren eingepflegt (siehe Tabelle 5-2). Für diese Indikatoren kann ein Summenwert von 1 bis maximal 27 erreicht werden. Die Liste der Elemente, die in die Bewertung einfließen sollen, kann grundsätzlich ergänzt werden. Beispielsweise können Indikatoren wie „Fläche mit Strukturelementen (Hecken etc.)“ oder „nicht gedüngtes Grünland“ einbezogen werden. An dieser Stelle wurden Elemente ausgewählt, die mit dem genutzten Modell modelliert werden können (Tabelle 5-2).

Beispiel: Es werden acht Feldfrüchte in der Fruchtfolge angebaut (2 Pkt.). Dabei wird der Düngemitelein-satz nicht eingeschränkt (0 Pkt.). Von der Ackerfläche liegen 0,5% brach (1 Pkt.) und auf 3% der Fläche sind

Blühstreifen eingesät (2 Pkt.). Der Anteil der Grünlandfläche beträgt 15% (2 Pkt.). Dies ergibt eine Summe von 7 Punkten. Im Verhältnis zu den 27 maximal erreichbaren Punkten liegt die Bewertung der Biodiversität in diesem Beispiel bei 0,26.

Tabelle 5-2: Punkteskala zur Berechnung der Biodiversitätswerte

| Element                               | Einheit | 0 Pkt. | 1 Pkt. | 2 Pkt. | 3 Pkt. | 4 Pkt. | 5 Pkt. | 6 Pkt. |
|---------------------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <b>Acker, Kulturarten</b>             | Anzahl  | -      | < 6    | 6-10   | < 10   | -      | -      | -      |
| <b>Verzicht auf Düngemittelmittel</b> | % AF    | 0.00   | >0-10% | 10-20% | 20-30% | 30-40% | 40-50% | > 50%  |
| <b>Brache Acker</b>                   | % AF    | 0.00   | >0-1%  | 1-3%   | 3- 5%  | 5-8%   | 8-10%  | > 10%  |
| <b>Blühstreifen</b>                   | % AF    | 0.00   | >0-2%  | 2-4%   | 4-8%   | 8-15%  | 15-25% | 25-40% |
| <b>Grünlandanteil</b>                 | % LF    | 0      | >0-10% | 10-20% | 20-30% | 30-40% | 40-50% | > 50%  |

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an IP Suisse 2015; Neumann und Dierking 2014

## Bodenkohlenstoff

Die Bilanzierung des Bodenkohlenstoffs beruht auf den angebauten Kulturen (inkl. Zwischenfrüchten) und der Zufuhr an organischem Material in Form von z.B. Gülle und Stallmist. Für die Abschätzung des komplexen Einflusses der Bewirtschaftungsweise auf den Bodenkohlenstoff wird auf die Humusbilanzmethode nach VDLUFA zurückgegriffen.

## Nährstoffbelastung Gewässer

Die Auswaschungsgefährdung des Standortes steigt mit steigendem Nährstoffüberschuss. Auf Grund der gewählten Betrachtungsebene von 1000 Hektar, kann die Berechnung der Nährstoffbelastung auf Basis der Gesamtbilanz zu geringen Nährstoffüberschüssen führen. Bei der Bezugsgröße von 1000 Hektar mitteln sich die Nährstoffüberschüsse über die Fläche, wenn nicht hohe Tierbesatzdichten angenommen werden. Daher wird für den Indikator Nährstoffbelastung der Gewässer auf Basis einer Flächenbilanz berechnet. Es wird als Indikator der Flächenanteil an Flächen mit einem N-Überschuss von mehr als 50 kg/ha ausgewiesen.

Tabelle 5-3: Herleitung der Indikatoren für den Pflanzenbau

| Indikatoren                        | Einheit                                   | Aktivitätsgrößen zur Modellierung des Indikators                                                                                          |
|------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Treibhausgasemissionen</b>      | kg CO <sub>2</sub> Äq.                    | Herleitung über Fläche, Ackerfrüchte, Stickstoffbedarf, Erträge, Ausbringung von Wirtschaftsdünger                                        |
| <b>Biodiversität</b>               | Biotopwertpunkte                          | Flächenanteil zum Anbau von Blühstreifen und Brache, Anzahl der Ackerfrüchte in der Fruchtfolge, Verzicht auf Düngemittel, Grünlandanteil |
| <b>N-Saldo</b>                     | kg N Überschuss/ha                        | Nährstoffeinträge und Austräge (Ansatz der Hoftorbilanz)                                                                                  |
| <b>Humussaldo</b>                  | Humus Äquivalente (kg Humus C)            | Humusbilanz Fruchtfolge, Zwischenfrüchte, Erntereste, Gülle/Stallmist                                                                     |
| <b>Nährstoffbelastung Gewässer</b> | % (Anteil Fläche mit N-Saldo >50 kg N/ha) | Herleitung über N-Bilanzen (Ansatz der Flächenbilanz)                                                                                     |

Quelle: Eigene Darstellung



## 5.4 Produktionssystem Tierhaltung

### 5.4.1 Darstellung des Nutzens im Modell (funktionelle Einheit)

Für das Vorhaben wurde als Basisbeispiel für ein Tierproduktionssystem die Milchkuhhaltung gewählt. Dies liegt darin begründet, dass zu milchviehhaltenden Betrieben zahlreiche Untersuchungen vorliegen, die ihre Umweltwirkungen abschätzen (vorrangig die Klimawirksamkeit). Somit sind für eine stichhaltige Modellierung dieses Systems zahlreiche Detailfragen (Verrechnung von Nebenprodukten, Bedeutung einzelner Systemparameter etc.) in der Literatur bereits bearbeitet.

Aus der im Projekt aufgeworfenen Fragestellung der Bewertung von effizienter Flächen-/Ressourcennutzung ergibt sich für die Modellierung der Tierhaltung die Notwendigkeit, das Tierproduktionsmodul an das Pflanzenbaumodul zu koppeln: Wesentliche Einflussgröße für die Umweltwirkung von Tierhaltung ist neben dem Wirtschaftsdüngermanagement vor allem die Art der Futterbereitstellung. Milchleistungen werden im Wesentlichen durch unterschiedliche Futterrationen und das Herdenmanagement bestimmt. In Abhängigkeit vom Anteil der Sommerweidezeit und der weiteren Rationszusammensetzung können z.B. 8000 L pro Kuh und Jahr mittels unterschiedlicher Rationen erreicht werden (Tabelle 5-4).

Tabelle 5-4: Auszug aus möglichen Rationszusammensetzungen (%) für eine Milchleistung von 8000 L pro Kuh und Jahr

|          | Rationsschwerpunkt           | Rationsbestandteile (%) |            |            |     |             |
|----------|------------------------------|-------------------------|------------|------------|-----|-------------|
|          |                              | Sommerweide             | Grassilage | Maissilage | Heu | Kraftfutter |
| <b>A</b> | Grassilage und Ganztagsweide | 38                      | 36         | 12         | 1   | 13          |
| <b>B</b> | Maissilage und Halbtagsweide | 20                      | 3          | 49         | 1   | 27          |
| <b>C</b> | Maissilage (o. Sommerweide)  | -                       | 7          | 65         | 1   | 27          |

Quelle: Krauß et al. 2015

Über die Rationsbestandteile wird das Tierhaltungsmodul an das pflanzenbauliche Modul angekoppelt: entsprechend des Bedarfs aus der Tierhaltung werden vom Pflanzenbau dessen Produkte angefordert, die ihrerseits mit bestimmten Effizienzeffekten belastet sind. Entsprechend kann auch für andere Milchleistungen über existierende Rationstabellen (z.B. aus Krauß et al. 2015) der Bedarf an Produkten aus dem Pflanzenbaumodul abgeschätzt werden. Damit können verschiedene Fragestellungen adressiert werden.

In der Milchviehhaltung ist die übliche Produktbeschreibung Fett- bzw. Energiekorrigierte Milch (*engl: ECM/energy corrected milk*), entweder bezogen auf Volumen- (Liter) oder Masse (kg); mit einem Standardfettgehalt von 4% und einem Proteingehalt von 3,4% (Spiekers und Potthast 2004). Da die Tierhaltung eng mit dem Pflanzenbau gekoppelt ist, erfolgt in der Ergebnisbetrachtung keine Differenzierung mehr zwischen Tierhaltung und Pflanzenbau. Der funktionelle Nutzen des Produktionssystems Tierhaltung muss daher analog zum Pflanzenbau in Tonnen Trockenmasse, MJ Energie oder in Euro Deckungsbeitrag ausgegeben werden.

Die Modellierung der Tierhaltung umfasst im Wesentlichen die Futterbereitstellung (durch Kopplung an das Pflanzenbaumodul) sowie die direkten Wirkungen durch die Physiologie der Tiere (Milch- und Fleischpro-

duktion, direkte Emissionen und Wirtschaftsdüngeranfall). Die Lagerung des Düngers wird der Tierhaltung zugerechnet, Wirtschaftsdüngerausbringung dem Pflanzenbau.

### 5.4.2 Systemgrenzen

#### Zeitlich

Milchproduktion benötigt immer mindestens eine erfolgreiche Aufzucht vom Kalb zur Jungkuh und erfolgreiche Trächtigkeit. Je nach Bestandesführung schwanken die Nutzungsdauern (Produktivitätsphase) der Kühe nach dem ersten Kalben zwischen einem und mehreren Jahren. Ausgehend davon, dass das Herdenmanagement eingespielt ist, kann für eine Herde der Bestand an Kälbern, Jungkühen, laktierenden Kühen und Trockenstehern) für ein Jahr gemittelt werden.

#### Räumlich

Der wesentliche Flächenbedarf der Tierhaltung ist der Futterbereitstellung zuzuschreiben und wird dementsprechend im Pflanzenbaumodul bilanziert. Der Flächenbedarf für Stallungen, Futter- und Wirtschaftsdüngerlager wird, da er im Verhältnis zum Futterbau klein ist, vernachlässigt. Da kein GIS im Modell eingesetzt wird, wird zum aktuellen Zeitpunkt vereinfacht davon ausgegangen, dass ausreichend Weideflächen in Hofnähe vorhanden sind.

#### Technisch

Es wird davon ausgegangen, dass für die jeweilige Herdengröße ein passendes Melksystem (z.B. Melkroboter, Melkkarussell) vorhanden ist. Der Ressourcenbedarf dieser Technik wird nicht mitberücksichtigt (z.B. Strom für Pumpen, Wasser zur Reinigung). Bei Stallanlagen wird ein freibelüfteter Stall angenommen.

### 5.4.3 Darstellung der Indikatoren im Modell

#### Treibhausgasemissionen

Für die Tierproduktion werden die Lachgasemissionen aus der Futtermittelproduktion betrachtet, sowie Methanemissionen aus der Verdauung und Methan- und Lachgasemissionen aus Stall und Lagerung von Wirtschaftsdüngern.

Die Quantifizierung der Treibhausgasemissionen erfolgt anhand der IPCC 2006 Guidelines unter Anwendung einer Tier 2 Methode (IPCC 2006). Damit können die Treibhausgase als direkter Indikator in die Bewertung des Einflusses des Produktionssystems auf die natürlichen Ressourcen einfließen.

#### Nährstoffbilanzen

Für die Tierhaltung gilt entsprechend wie im Pflanzenbaumodul, dass die zu betrachtenden Größen bei der Nährstoffbilanz die Nährstoffzufuhr und die Nährstoffabfuhr bezogen auf die zur Verfügung stehende Fläche sind. Je nach Methode können sich diese auf den gesamten Nährstoffstrom innerhalb eines Betriebes (inkl. Futtermittel) beziehen (Gesamtnährstoffbilanz oder Hoftorbilanz), oder es werden lediglich die Nährstoffzufuhr und Abfuhr auf eine bestimmte Fläche betrachtet (Flächenbilanz oder Feld-Stall Bilanz). Unter die Nährstoffzufuhr fallen Düngung, Deposition, N-Fixierung und in der Gesamtbilanz Futtermittel, während auf der Abfuhrseite Marktprodukte (Ernte), Auswaschung und in der Gesamtbilanz tierische Produkte (Milch, Fleisch) bilanziert werden.

## Bodenkohlenstoff

Für die Tierhaltung gilt entsprechend wie im Pflanzenbaumodul, dass die Bilanzierung des Bodenkohlenstoffs auf den angebauten Kulturen (inkl. Zwischenfrüchten) und der Zufuhr an organischem Material in Form von Gülle und Stallmist beruht. Für die Abschätzung des komplexen Einflusses der Bewirtschaftungsweise auf den Bodenkohlenstoff wird auf die Humusbilanzmethode nach VDLUFA zurückgegriffen.

## Eigenanbau an Futtermittel bzw. Futtermittelimport

Da die Flächenkulisse im System festgelegt ist, müssen ggf. Futtermittel importiert werden, um den Bedarf zu decken. Die Bilanzierung der Futtermittelproduktion im Produktionssystem Pflanzenbau erfolgt über die Fruchtfolge der angebauten Kulturen sowie der Grünlandnutzung. Insbesondere bei der Belegung der Fläche durch Futtermittel spielt die Ertragserwartung eine wichtige Rolle. Über die entsprechenden Futterrationen und die Tierzahlen wird die benötigte Fläche zur Produktion von Futtermitteln berechnet. Können die Futtermittel in der definierten Flächenkulisse nicht erzeugt werden, wird der Anteil der Futtermittel abgegeben, der im System produziert werden kann. Der Eigenanbau der Futtermittel kann als direkter Indikator berechnet werden. Er ergibt sich aus der benötigten Fläche, die bei vordefinierten Ertragserwartungen und nach Abzug der Fläche für Strukturelemente (Blühstreifen, Brache) benötigt wird, um die entsprechende Futtermenge bereitzustellen abzüglich der Fläche, die davon nicht im System verfügbar ist. Ebenfalls kann der benötigte Import an Futtermittel als Indikator ausgewiesen werden. Er errechnet sich aus der Differenz aus der benötigten Menge an Futtermittel und dem Eigenanbau an Futtermittel.

Tabelle 5-5: Beschreibung der Indikatoren für die Tierhaltung

| Indikatoren                         | Einheit                                  | Aktivitätsgrößen zur Modellierung des Indikators                                                                                                                         |
|-------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Treibhausgasemissionen *</b>     | kg CO <sub>2</sub> Äq.                   | Herleitung über Fläche, Ackerfrüchte, Stickstoffbedarf, Erträge der Futtermittel, Tierplätze, Aufstallung                                                                |
| <b>Biodiversität*</b>               | Biotopwertpunkte                         | Flächenanteil zum Anbau von Blühstreifen etc., Anzahl der Ackerfrüchte in der Fruchtfolge, Grünlandanteil, indirekt – Nährstoffbilanz und Humusgehalt, Flächenumwandlung |
| <b>N-Saldo</b>                      | kg N Überschuss                          | Nährstoffeinträge und Austräge (Ansatz der Hoftorbilanz)                                                                                                                 |
| <b>Humussaldo*</b>                  | Humus Äquivalente in kg Humus C          | Humusbilanz Fruchtfolge, Zwischenfrüchte, Erntereste, Gülle/Stallmist                                                                                                    |
| <b>Nährstoffbelastung Gewässer*</b> | % Anteil Fläche mit N-Saldo > 50 kg N/ha | Herleitung über N-Bilanzen (Ansatz der Flächenbilanz)                                                                                                                    |
| <b>Eigenanbau an Futtermittel</b>   | in Prozent                               | Anteil am gesamten Futterbedarf                                                                                                                                          |

\* (z.T.) übernommen aus pflanzenbaulichem Modul

Quelle: Eigene Darstellung

## 5.5 Produktionssystem Forstwirtschaft

### 5.5.1 Darstellung des Nutzens im Modell (funktionelle Einheit)

Im Zentrum des Produktionssystems Forstwirtschaft steht das Holzaufkommen in Form von Stammholz und Industrieholz in Erntefestmetern pro ha und Jahr. Neben verschiedenen Holzarten (Laub-, Nadelholz), die unterschiedlich eingesetzt werden können, spielt für die Verwendung auch die Stärke (Durchmesser) eine Rolle, sowie die Qualität.

Das Holzverwendungsmodell teilt das geerntete Holz in Sortimente ein. Da detaillierte Merkmal zur Qualität des Holzes nicht geschätzt werden können (Astigkeit, Schaftform, Fäuleanteil, etc.), orientiert sich das Modell an der Baumart und den Durchmessern des zu sortierenden Baumes. Die Sortierung kann je nach Bundesland, Baumart, BHD-Stufe und Zopfdurchmesser variieren. Es werden drei Sortimente unterschieden. **Stammholz** ist qualitativ hochwertiges Holz und umfasst vor allem stärker dimensioniertes Holz. **Industrieholz** umfasst Derbholz, das aus den Kronen stammt und von geringerer Qualität ist. Als **X-Holz** werden nicht verwertbare Teile des Stammes deklariert. Auch wenn diese in der Theorie in die energetische Nutzung eingehen können, wird X-Holz nicht weiter bei der Nutzenberechnung betrachtet. Außer dem Durchmesser der Stämme und der Baumart werden keine anderen Qualitätsmerkmale für diese Sortierung verwendet.

Der Deckungsbeitrag stellt den Erlös des Holzverkaufes dar, abzüglich der variablen Erntekosten (erntekostenfreier Erlös). In der Forstwirtschaft existieren verschiedene betriebswirtschaftliche Rechnungen, die zum Ziel haben Kosten und Erlöse über den Produktionszeitraum zusammenzufassen (z.B. Kapitalwert oder Annuitäten). Diese berücksichtigen den Zeitpunkt der Erlöse und Kosten und nehmen einen Zinssatz für die erfasste Periode an. Detaillierte Kosten für einzelne Maßnahmen konnten im Vorhaben nicht berücksichtigt werden. Im Rahmen dieses Vorhabens wurden deshalb mittlere Deckungsbeiträge für verschiedene Baumarten und Holzsortimente geschätzt. Im Mittel über die Baumarten betragen diese 120 EUR/m<sup>3</sup> für Stammholz und 25 EUR/m<sup>3</sup> für Industrieholz.

### 5.5.2 Systemgrenzen

#### Zeitlich

Die Modellierung und Bilanzierung forstwirtschaftlicher Produktionssysteme erfordert eine Berücksichtigung der zeitlichen Dynamik. Diese ergibt sich durch Wachstums- und Absterbeprozesse der Bäume, der Umsetzung der verschiedenen Biomassekompartimente und der Prozesse im Boden. Besonders großen Einfluss auf die Entwicklung wichtiger Indikatoren haben die Startbedingungen. Es ist auch zu berücksichtigen, dass sich Effekte durch die Wahl der räumlichen Systemgrenzen ergeben. Wird das Produktionssystem z.B. auf einen Hektar beschränkt und ist die Waldstruktur einheitlich, ergeben sich starke zeitliche Dynamiken, die durch die Mittelung über einen langen Zeitraum, der mehr als eine Rotationszeit umfasst ausgeglichen werden können aber mit entsprechenden Unsicherheiten behaftet sind. Zur Darstellung der zeitlichen Dynamiken werden als Kompromiss alternative Zeithorizonte zwischen 40 und 100 Jahren verwendet und miteinander verglichen.

#### Räumlich

Das Waldmodell behandelt einzelne Bäume der durch die Waldinventur ermittelten Flächen als Individuen mit unterschiedlichen Eigenschaften, wie Baumart, Alter, Dicke, Höhe, etc. Diese werden mittels Wachstumsfunktionen fortgeschrieben und interagieren in Form von Konkurrenzdruck mit anderen auf der Fläche stehenden Bäumen. Dabei gibt es allerdings keine individuelle Konkurrenz durch räumliche Nähe, sondern vielmehr durch das Kollektiv der Bäume, also die Dichte des Bestandes. Mit Hilfe der Statistiken der BWI werden diese Inventurflächen auf die Gesamtwaldfläche des zu betrachtenden natürlichen Ressourcenraums hochskaliert. Da das Modell auf dem Netz einzelner BWI-Aufnahmepunkte aufbaut, ist der räumliche

Horizont flexibel gestaltbar. Eine Eingrenzung erfolgt durch die Szenariendefinition. Es ist allerdings zu beachten, dass die Bundeswaldinventur angelegt ist um Aussagen zum gesamten Wald in Deutschland zu machen. Für die Analyse kleinerer Flächen sind die Daten nicht geeignet. Es werden in den Szenarien deshalb großräumige Waldlandschaften gebildet, die mehrere 10.000 ha umfassen.

## Technisch

Eine zentrale Anforderung ist, dass das Modell die Entwicklung von Bestandesvorrat und Zuwachs in differenzierten Wäldern nicht in Form eines Altersklassenmodells darstellt. Waldbauoptionen orientieren sich typischerweise nicht allein am Bestandesalter und lassen sich deshalb in Altersklassenmodellen nicht darstellen. In FABio wird das Waldwachstum in baumartenspezifischen Durchmesser-Höhen-Modellen beschrieben. Das Modell berücksichtigt 24 Baumartengruppen. Einzelne Bäume werden als Individuen dargestellt, die bestimmte Eigenschaften wie Alter, Durchmesser, Volumen etc. haben. Diese wirken auf andere Bäume auf der Fläche über ein Konkurrenzmaß, können sterben wenn die Bestandesdichte zu hoch ist oder neu entstehen durch Pflanzung oder Naturverjüngung.

Zunächst wird das Wachstum für das Derbholz bestimmt, d.h. die Holzmenge, die einen stärkeren Durchmesser als 7cm aufweist. Mittels Biomassefunktionen wird die restliche Biomasse der Bäume geschätzt (Äste, Blätter/Nadeln, Wurzeln). FABio beinhaltet ein einfaches Modell zur Beschreibung des Bodenkohlenstoffs. Dies ist abhängig vom Streufall, also dem Zufluss von absterbendem Pflanzenmaterial und Klimaparametern. Eine Rückwirkung auf das Wachstum der Bäume über den Nährstoffhaushalt wird nicht berücksichtigt.

Dem Wald entnommenes Holz wird als Holzaufkommen dargestellt und beschreibt das Erntevolumen, das sich aus der Struktur des Waldes und des Bewirtschaftungsregeln ergibt. Es handelt sich damit um eine theoretische Nutzung, nicht um ignoriert den Bedarf an Holz. Das aufkommende und sortierte Holz wird Holzprodukten zugeordnet. Der Bestand an Holzprodukten wird durch Modellvorläufe initialisiert und beinhaltet nur das auf der betrachteten Fläche produzierte Holz, also keine Importe.

Durch die Verwendung von Holz anstelle von anderen, energieintensiveren Materialien oder auch der Verdrängung von fossilen Energieträgern kann sich eine Substitutionswirkung ergeben, die im Modell allerdings nicht dargestellt wird.

### 5.5.3 Darstellung der Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen im Modell

#### Holzvorrat und Zuwachs

Das Holzaufkommen auf den betrachteten Flächen ist ein wichtiger Indikator bzw. die zentrale Bezugsgröße für dieses Produktionssystem. Der Vorrat korreliert stark mit dem Bestandesalter, je älter der Bestand, desto höher meist die Vorräte. Allerdings können durch Störungen wie z.B. Wind oder Käferbefall die Vorräte mit dem Alter abnehmen. In naturnah bewirtschafteten Wäldern und Wäldern ohne forstliche Nutzung finden sich typischerweise höhere Vorräte als in Wirtschaftswäldern. In letzteren wird darauf abgezielt das Wachstum und die Holzproduktion auf wenige, qualitativ hochwertige Stämme zu konzentrieren. Deshalb werden durch Durchforstungen diese Bäume von Bedrängern freigestellt. Über den Grad der Durchforstungsintensität lässt sich der Vorratsaufbau steuern. Der Holzvorrat in Deutschland lag 2012 im Mittel bei 336 m<sup>3</sup> pro ha. Hiervon entfielen ca. zwei Drittel auf Nadelbäume, ein Drittel auf Laubbäume.

Der Holzvorrat eines Bestandes ist deshalb aus Sicht des wirtschaftlichen Nutzens differenzierter zu betrachten, da die Qualität des Holzes für die Vermarktung eine Rolle spielt. Qualitätsmerkmale des Holzes wurden in der Betrachtung jedoch ausgeklammert.

Aus Naturschutzsicht spielt der Vorrat eine Rolle, da sich aus ihm zum einen die Nähe des Bestandes zu Naturwäldern ablesen lässt aber mit zunehmendem Vorrat oft auch die Eignung für bestimmte Waldarten als Habitat steigt, z.B. das Vorhandensein von alten Bäumen und Totholz.

Der Zuwachs von Wäldern drückt die Produktivität aus und beschreibt damit die Leistungsfähigkeit der Holzproduktion aber auch die Bindungsrate an Kohlenstoff aus der Atmosphäre durch Photosynthese und ist damit auch für die Klimawirksamkeit des Waldes relevant.

Der Holzvorrat kann im Modell nach Stammholz und sonstiges Derbholz unterschieden werden. Zudem wird die Dimension (Höhe und Durchmesser der Bäume) dargestellt. Neben dem Bestandesvorrat sind Aussagen über den Zuwachs und die möglichen Erntemengen besonders wichtig. Das Modell führt Bewirtschaftungspläne für bestimmte Bestandestypen aus. Diese resultieren dann in bestimmten Erntemengen. Diese ist damit eine endogene Berechnung und kann nicht einfach von außen vorgegeben werden.

### **Holzaufkommen**

Ein wirtschaftlicher Indikator ist das dem Deckungsbeitrag zugrunde liegende jährliche Holzaufkommen. Wie beschrieben handelt es sich hierbei um die theoretisch unter den Bedingungen der Waldstruktur und der Bewirtschaftungsregeln erzielbare Erntemenge. Zusammen mit der natürlichen Mortalität im Wald stellt es den Abfluss von Holz aus dem Wald dar und ist damit ein Gegenfluss zum Zuwachs. Aus der Bilanz von Zuwachs, Mortalität und Holzentnahme ergibt sich als Saldo die Vorratsentwicklung.

Das Holzaufkommen kann für verschiedene Holzprodukte genutzt werden (Rohholzsegmente, Bau- und Möbelholz, Halbfabrikate, Papier und Pappe sowie Energieholz). Es wird nach Baumartengruppe und Qualität unterschieden. Stammholz ist qualitativ hochwertiges Holz und umfasst vor allem stärker dimensioniertes Holz. Industrieholz umfasst Derbholz, das aus den Kronen stammt und von geringerer Qualität ist. Außer dem Durchmesser der Stämme und der Baumart werden keine anderen Qualitätsmerkmale für diese Sortierung verwendet.

### **Totholzvorrat**

Basierend auf einem Mortalitätsmodell können Annahmen über die anfallenden Mengen an Totholz getroffen werden. Unter natürlichen Verhältnissen sterben z.B. durch den Dichtestress einzelne Bäume im Bestand mit der Zeit ab. Natürliche Mortalität führt in der Regel zunächst zu stehendem Totholz, Fällung zu liegendem. Aus dem Wachstumsmodell sind außerdem Durchmesser und Baumart der absterbenden Bäume auf der Fläche bekannt.

### **Bestandesstrukturen**

Durch die Verwendung eines Einzelbaummodells können allgemein Aussagen über die Änderung der Bestandesstruktur gemacht werden (Durchmesserverteilung, Höhenverteilung, Stammzahlverteilung, alte Bäume etc.). Das Modell unterscheidet 24 Baumartengruppen, die aber in der Darstellung zu neun Gruppen zusammengefasst werden. Als Indikator wird der Vorrat des Bestandes pro Hektar in Bäumen über einem gewissen Durchmesser für die Berücksichtigung der Bestandesstruktur herangezogen.

### **Kohlenstoffsенke, Biomassekohlenstoff**

Das Waldwachstumsmodell ermittelt den Zuwachs an Derbholzvolumen, also die oberirdische Holzmasse mit einem Durchmesser von über 7 cm mit Rinde. Für eine umfassende Bilanzierung des Kohlenstoffvorrats in der Waldbiomasse, muss das Holzvolumen zunächst in Holzbiomasse (Trockengewicht) umgerechnet werden. Zudem müssen weitere Kompartimente der Biomasse, d.h. die unterirdische Holzmasse (Wurzeln), das oberirdische Nicht-Derbholz (Äste) und die Blatt- beziehungsweise Nadelmasse ermittelt werden. Dazu wird auf Biomassefunktionen zurückgegriffen, die artspezifisch diese Kompartimente für Einzelbäume in Abhängigkeit von leichter ermittelbaren Größen wie Durchmesser in Brusthöhe (BHD) und Baumhöhe schätzen. Diese Funktionen beinhalten auch eine Umwandlung des Volumens in Trockenmasse. Für den



Kohlenstoffvorrat in der Biomasse wird angenommen, dass die Kohlenstoffkonzentration im Holz 0.5 kg C pro kg Trockengewicht Holz beträgt.

### **Bodenkohlenstoff**

Die lebende Biomasse produziert Streu von abgestorbenen Pflanzenteilen, wie Blätter, Rinde, Zweige und Äste. Diese Streu wird von einem Bodenkohlenstoffmodell aufgenommen und nach und nach abgebaut. Das Yasso07<sup>11</sup> Modell wurde von Liski et al. entwickelt basierend auf früheren Versionen des Modells (Liski und Palosuo 2003; Liski et al. 2005). Es benötigt als Eingangsgrößen lediglich Klimaparameter und Informationen zu Streumenge und Streuqualität, d.h. der chemischen Zusammensetzung der Streu. Das Yasso07 Modell berechnet den Vorrat an organischem Bodenkohlenstoff, Änderungen in diesem Vorrat durch Streueintrag und Abbau durch heterotrophe Atmung. Im Yasso15 Modell werden fünf Abbaupools und zwei Streupools unterschieden. Es ist bereits auf verschiedene Ökosysteme und Klimabedingungen angewendet worden. Da eine Kalibrierung des Modells auf die im Wald ermittelten Bodenkohlenstoffvorräte nicht möglich ist, werden diese durch Modellvorläufe initialisiert. Statt der absoluten Höhe der Vorräte sollten bei der Interpretation der Ergebnisse deshalb die Unterschiede in den Szenarien spielen.

### **Substitutionswirkung und Gesamttreibhausgasbilanz**

Substitutionswirkung basierend auf Substitutionsfaktoren für Holz als Material und Energieträger (wie zum Beispiel in Mund et al. 2014). Da in diesem Vorhaben der Energiesektor nicht berücksichtigt wird, kann die Substitutionswirkung dem Forstsektor zugerechnet werden. Allerdings ändert sich der Substitutionseffekt über die Zeit und sollte nicht als konstanter Faktor angenommen werden sondern in Sensitivitätsläufen variiert werden. Wegen der unzureichenden Datengrundlage und der Unsicherheiten werden Substitutionseffekte nicht im Modell berechnet und in der Bewertung nicht betrachtet.

---

<sup>11</sup> [www.syke.fi/project/Yasso](http://www.syke.fi/project/Yasso)

Tabelle 5-6: Beschreibung der Indikatoren für die Forstwirtschaft

| Indikatoren                                                          | Einheit                               | Aktivitätsgrößen zur Modellierung des Indikators                                                                    |
|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Deckungsbeitrag</b>                                               | EUR/ha                                | Deckungsbeitrag, entspricht dem erntekostenfreien Erlös basierend auf mittleren Holzpreisen und Erntekosten         |
| <b>Holzvorrat</b>                                                    | m <sup>3</sup> , m <sup>3</sup> /ha   | Einzelbaumvolumen- und Bestandesvorrat werden direkt vom Modell berechnet, unterschieden nach 24 Baumartengruppen   |
| <b>Zuwachs</b>                                                       | m <sup>3</sup> , m <sup>3</sup> /ha/a | Bestandeszuwachs wird direkt vom Modell berechnet, unterschieden nach 24 Baumartengruppen                           |
| <b>Holzaufkommen</b>                                                 | m <sup>3</sup> , m <sup>3</sup> /ha/a | Beschreibt den potenziell verfügbaren Erntevorrat getrennt nach Stammholz und sonstigem Derbholz (Industrieholz)    |
| <b>Totholzvorrat</b>                                                 | m <sup>3</sup> , m <sup>3</sup> /ha   | Holzart (Nadelholz, Eiche, anderes Laubholz)                                                                        |
| <b>Änderungen Biomassekohlenstoff, CO<sub>2</sub>-Senke Biomasse</b> | t CO <sub>2</sub> /ha/a               | Ableitung vom modellierten Derbholzvolumen und Biomassefunktionen für andere Kompartimente (Wurzeln, Äste, Blätter) |
| <b>Änderungen Bodenkohlenstoff</b>                                   | t C/ha/a                              | Bodenkohlenstoffmodell angetrieben durch Klimaparameter, Streumenge und -zusammensetzung                            |
| <b>Bestandesstrukturen</b>                                           | Vorrat BHD >80cm m <sup>3</sup> /ha   | Dargestellt durch den Vorrat pro Hektar der Bäume über 80cm Durchmesser                                             |

Quelle: Eigene Darstellung

## 6 Szenarien und Varianten

Dieses Kapitel widmet sich der Entwicklung und Beschreibung von Szenarien und Varianten, anhand derer der Bewertungsansatz geprüft wird. Die Grundidee der Szenarienanalyse liegt darin, Parameter des Produktionssystems zu identifizieren, die den Verlauf des Systems besonders beeinflussen. In der Effizienzbewertung kann diese Methode verwendet werden, um die Auswirkungen bestimmter Parameter in Varianten eines Referenzszenarios auf die Ressourceneffizienz des Systems zu testen.

Dabei soll vor allem die Frage nach den wesentlichen Einflussgrößen beantwortet werden, die Hinweise auf Potenziale der Effizienzsteigerung liefern kann. Die Definition von Szenarien sowie potenzieller Varianten und die Ergebnisse der Modellierung der betrachteten Produktionssysteme werden im Folgenden dargestellt.

### 6.1 Produktionssystem Pflanzenbau und Tierhaltung

Die Produktionssysteme Pflanzenbau und Tierhaltung sind eng miteinander verwoben. Aus diesem Grund wurden – anstelle getrennter Szenarien für Futterbau und Tierhaltung – drei gemeinsame Szenarien entwickelt (Tabelle 6-1). Diese drei Szenarien werden vergleichend dargestellt. Im Anschluss werden gezielt Szenariovarianten mit einem Fokus auf Pflanzenbau bzw. Tierhaltung berechnet.

#### 6.1.1 Szenarienentwicklung

Es wurden drei Szenarien zu Pflanzenbau und Tierhaltung gewählt, die eine deutliche Abnahme der Bewirtschaftungsintensität von dem Szenario „**Marktfrucht**“ zum Szenario „**Starke Extensivierung**“ abbilden (vgl. Tabelle 6-1). Besonders deutlich wird dies in den Annahmen zu Fruchtfolgeparameter, die sich im Szenario Marktfrucht auf Regeln des konventionellen Anbaus auf günstigen Standorten beziehen. Im Szenario „**Moderate Extensivierung**“ werden konventionelle Anbauregeln für ungünstige Standorte genutzt, die durch längere Wartezeiten geprägt sind, bis eine Feldfrucht wiederholt angebaut werden darf. Im Szenario Starke Extensivierung werden Fruchtfolgeregeln in Anlehnung an den Ökolandbau angewandt. Eine besondere Rolle nimmt zudem die zugelassene Häufigkeit des Anbaus an Hackfrüchten ein, die zum einen hohe Deckungsbeiträge erwirtschaften, zum anderen aber starke negative Auswirkungen z.B. auf den Humussaldo bewirken können. Die Ausgestaltung der Fruchtfolge wird durch die Häufigkeit einer Winterzwischenfrucht und der Intensität der Strohentnahme vervollständigt. Außerdem werden zur Förderung der Biodiversität mit der Extensivierung höhere Flächenanteil für Brache und Blühstreifen reserviert (vgl. Tabelle 6-1).

Ein weiterer zentraler Parameter ist die Intensität der Düngegabe (Tabelle 6-1). Diese nimmt in den drei Szenarien von Standardwerten nach der Düngeverordnung (DüV 2017) im Szenario Marktfrucht bis hin zu einer Reduktion um 80% im Szenario Starke Extensivierung ab. Parallel wird auch die zugelassene Gabe an Wirtschaftsdünger von 170 kg N/ha auf 120 kg N/ha reduziert.

Im Hinblick auf die Milchviehhaltung wird die Anzahl der Tiere konstant gehalten, allerdings sinkt die Milchleistung je Tier mit der Extensivierung. Dies führt zu einem veränderten Futtermix, der im Szenario Starke Extensivierung zudem durch den Wechsel von Maissilage als Hauptbestandteil hin zu Grassilage geprägt ist. Durch die Interaktion von Futternachfrage und Pflanzenbau hat dies einen direkten Einfluss auf die Zusammensetzung der Fruchtfolge (Tabelle 6-1).

Tabelle 6-1: Spezifizierung der Szenarien zu Pflanzenbau und Tierhaltung

| Indikator                      | Marktfrucht (MF)                                                                    | Moderate Extensivierung (ME)                                                                                     | Starke Extensivierung (SE)                                                             |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Flächenbelegung</b>         | 850 ha Acker,<br>150 ha Grünland                                                    | 700 ha Acker,<br>300 ha Grünland                                                                                 | 700 ha Acker,<br>300 ha Grünland                                                       |
| <b>Fruchtfolge</b>             | Enge Fruchtfolge (Empfehlung für günstige Standorte)                                | Weite Fruchtfolge (Empfehlung für ungünstige Standorte)                                                          | Fruchtfolge nach Empfehlungen für ökologischen Anbau                                   |
| <b>Milchleistung</b>           | 300 Stück Milchvieh: 10.000 l Milchleistung, Futtermix „Maissilage“, kein Weidegang | 300 Stück Milchvieh: 8.000 l Milchleistung, Futtermix „Maissilage“ und „Grassilage“ (je 50%), Weidegang halbtags | 300 Stück Milchvieh: 6.000 l Milchleistung, Futtermix „Grassilage“, Weidegang ganztags |
| <b>Hackfrüchte</b>             | Hackfrucht alle 3 Jahre erlaubt                                                     | Hackfrucht alle 6 Jahre erlaubt                                                                                  | Hackfrucht alle je 10 Jahre                                                            |
| <b>Futteranbau</b>             | Eigenanbau von Futtermitteln: mindestens 30% Ackerfrüchte und 90% Grünlandfutter    | Eigenanbau von Futtermitteln: mindestens 60% Ackerfrüchte und 90% Grünlandfutter                                 | Eigenanbau von Futtermitteln: mindestens 100% Ackerfrüchte und 100% Grünlandfutter     |
| <b>N-Düngegabe</b>             | 100% Intensität nach DüV, 170 kg N/ha für Wirtschaftsdünger                         | 90% Intensität nach DüV, 150 kg N/ha für Wirtschaftsdünger                                                       | 80% Intensität nach DüV, 120 kg N/ha für Wirtschaftsdünger                             |
| <b>Stroh</b>                   | Strohentnahme 60%                                                                   | Strohentnahme 40%                                                                                                | Strohentnahme 20%                                                                      |
| <b>Winterzwischenfrucht</b>    | Winterzwischenfrucht jedes zweite Mal, wenn möglich                                 | Winterzwischenfrucht jedes Mal, wenn möglich                                                                     | Winterzwischenfrucht jedes Mal, wenn möglich                                           |
| <b>Brache und Blühstreifen</b> | Anteil der Ackerfläche:<br><br>0% Brache, 1% Blühstreifen                           | Anteil der Ackerfläche:<br><br>1% Brache, 2% Blühstreifen                                                        | Anteil der Ackerfläche:<br><br>2% Brache, 5% Blühstreifen                              |

Quelle: Eigene Darstellung

### 6.1.2 Varianten

Aufbauend auf den drei Szenarien zu Pflanzenbau und Tierhaltung werden Varianten der Szenarien berechnet, die gezielt Fragestellungen zum Pflanzenbau und zur Tierhaltung adressieren (Tabelle 6-2). Das Ziel ist dabei durch extreme Annahmen zu testen, ob zu erwartende Effekte im Bewertungsansatz abbildbar sind.

Mit zwei Varianten (MF\_Hackfrucht-10a und MF\_Hackfrucht-10a\_Stroh-20%) soll – angelehnt an die Annahmen im Szenario Marktfrucht – analysiert werden, wie stark sich eine Reduktion des Anbaus von Hackfrüchten und der Strohentnahme auf das Produktionssystem auswirkt. Ebenso wird der Einfluss einer deutlichen Erhöhung der N-Gabe auf 110% getestet (MF\_N-110%), was einer Überschreitung des Grenzwerts der Düngeverordnung entspricht. Auswirkungen durch die Erhöhung der Flächenanteile von Brache und Blühstreifen werden in den Varianten ME\_Blühstreifen-5% und ME\_Brache-5% betrachtet (Tabelle 6-2).

Mit Blick auf die Tierhaltung werden in den ausgewählten Szenariovarianten im Szenario Marktfrucht die Anzahl der Milchkühe stark erhöht und zwar auf einen Wert von 1,5 GVE (MF\_Milchkuh-1,5-GVE). Mit der Erhöhung der GVE geht einher, dass das Anbauregime gelockert werden musste, um einen akzeptablen Anteil an Eigenfutteranbau zu erreichen. Dazu wurde erlaubt, dass Futtermais sowie Ackergras in der Fruchtfolge auch im nachfolgenden Jahr angebaut werden darf. Zudem wurden die Anforderungen für die Nach-/Vorfrucht auf von „günstig, aber ggf. andere Fruchtart besser“ auf „mit Einschränkungen möglich“ herabgesetzt. Als letztes wurde der Anbau von Kartoffeln ausgeschlossen. Als Milchvieh wurden 100 Kühe mit einer Milchleistung von 8.000l (Futtermix „Grassilage“<sup>12</sup>), 200 Kühe mit einer Milchleistung von 10.000l (Futtermix „Grassilage“<sup>13</sup>) und 1.200 Kühe mit einer Milchleistung von 10.000l (Futtermix „Maissilage“<sup>14</sup>) gewählt (alle ohne Weidegang).

Als zweites wird getestet, wie sich eine Erhöhung der Anzahl der Milchkühe um 50% und um 100% im Szenario Starke Extensivierung auf das Produktionssystem auswirkt (siehe Tabelle 6-3).

<sup>12</sup> Futtermix „Grassilage“ (kein Weidegang, 8.000 l Milchkuh): 23% Maissilage, 70% Grassilage, 1% Heu, 2% Rapsextraktionschrot, 3% Triticale, 1% Weizen.

<sup>13</sup> Futtermix „Grassilage“ (kein Weidegang, 10.000 l Milchkuh): 20% Maissilage, 61% Grassilage, 1% Heu, 5% Rapsextraktionschrot, 3% Sojamehl, 7% Rübenschnitzel, 3% Weizen.

<sup>14</sup> Futtermix „Maissilage“ (kein Weidegang, 10.000 l Milchkuh): 65% Maissilage, 7% Grassilage, 1% Heu, 27% Kraftfutter

Tabelle 6-2: Szenariovarianten mit einem Fokus auf den Pflanzenbau

| Szenario  | Variation                   | Beschreibung                                                                               | Erwarteter Einfluss auf Indikatoren                                                                                      |
|-----------|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>MF</b> | MF_Hackfrucht-10a           | Szenario Marktfrucht, aber Hackfrüchte nur alle 10 Jahre erlaubt                           | Verbesserung Humussaldo, Abnahme des Deckungsbeitrags und der Summe der Erträge                                          |
| <b>MF</b> | MF_Hackfrucht-10a_Stroh-20% | Szenario Marktfrucht, aber Hackfrüchte nur alle 10 Jahre erlaubt und Strohentnahme nur 20% | Verbesserung Humussaldo, leichte Abnahme des Deckungsbeitrag und der Summe der Erträge gegenüber der vorherigen Variante |
| <b>MF</b> | MF_N-110%                   | Szenario Marktfrucht, aber N-Düngergabe 110% Intensität nach DüV                           | Verschlechterung des N-Saldo, Anstieg der Erträge und des Deckungsbeitrags                                               |
| <b>ME</b> | ME_Blühstreifen-5%          | Szenario Moderate Extensivierung, aber Blühstreifen 5% der Ackerfläche                     | Verbesserung der Biodiversitätsbewertung, Abnahme der Summe der Erträge                                                  |
| <b>ME</b> | ME_Brache-5%                | Szenario Moderate Extensivierung, aber Brache 5% der Ackerfläche                           | Verbesserung der Biodiversitätsbewertung, Abnahme der Summe der Erträge                                                  |

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle 6-3: Szenariovarianten mit einem Fokus auf die Tierhaltung

| Szenario  | Variation           | Beschreibung                                                                                                         | Erwarteter Einfluss auf Indikatoren                                                                                                                            |
|-----------|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>MF</b> | MF_Milchkuh-1,5-GVE | Szenario Marktfrucht, aber erhöhen der GVE auf 1,5 und gelockertes Anforderungen bei der Fruchtfolgewahl (vgl. Text) | Verschlechterung der Umweltindikatoren, Anstieg der Milchproduktion                                                                                            |
| <b>ME</b> | SE_450-Milchkühe    | Szenario Starke Extensivierung, aber 450 Kühe statt 300 Kühe                                                         | Erhöhter Eigenanbau an Futtermitteln, ggf. Futterimporte, Verbesserung des C-Saldo durch mehr Rückfuhr an organischer Substanz mit der Gülle                   |
| <b>SE</b> | SE_600-Milchkühe    | Szenario Starke Extensivierung, aber 600 Kühe statt 300 Kühe                                                         | Überschreiten des möglichen Eigenanbaus an Futter, deutliche Futterimporte, Verschlechterung des N-Saldo, Verringerung des Deckungsbeitrags durch Futterkosten |

Quelle: Eigene Darstellung



### 6.1.3 Ergebnisse

#### Szenarien zu Pflanzenbau und Tierhaltung

Die Modellergebnisse zu den drei gewählten Szenarien – Marktfrucht, Moderate Extensivierung und Starke Extensivierung – unterscheiden sich deutlich voneinander. Dies wird bereits bei den Flächenbelegungen sichtbar (siehe Tabelle 6-4). So dominieren die Hackfrucht Kartoffel mit 32% der Ackerfläche den Anbau im Szenario Marktfrucht. Als Futterpflanze dominiert der Anbau von Silomais mit einem kleinen Anteil an Grassilage.

Im Szenario Moderate Extensivierung geht der Anteil der Kartoffel entsprechend der Modelleinstellungen zu Hackfrüchten zurück (16% der Ackerfläche). Die Bedeutung von Silomais als Futterpflanzen nimmt ab, wobei der Anteil an Grassilage, Weide und Klee gras zunehmen. Zudem steigt der Anteil an Winterraps und Sommergetreide in der Flächenbelegung an. Die Grünlandflächen werden in den beiden Szenarien Marktfrucht und Moderate Extensivierung zu einem großen Anteil zur Heuproduktion (als Marktfrucht) genutzt.

Im Szenario Starke Extensivierung wird durch die angenommene Milchkuhrasse mit einem hohen Anteil an Weidegang und Grassilage von Grünlandflächen das Viehfutter zu einem großen Anteil von Weideflächen bereitgestellt. Entsprechend sinkt der Anteil an Silomais und an Klee gras. Zudem verringert sich im Szenario Starke Extensivierung der Anteil an Kartoffeln deutlich zu Gunsten von Winterweizen. Der Anteil an Blühstreifen und Brachflächen stellen sich entsprechend der Modelleinstellungen zu den Szenarien mit niedrigen Werten im Szenario Marktfrucht bis hin zu hohen Werten im Szenario Starke Extensivierung ein (vgl. Tabelle 6-4).

In Tabelle 6-5 sind zusammenfassend zur Beschreibung der drei Szenarien charakterisierende Indikatoren zusammengefasst. Aus Sicht der Umweltindikatoren ist besonders auffällig, dass der Humussaldo der Ackerflächen sich von Werten von unter -300 H-Äq/ha im Szenario Marktfrucht über -107 H-Äq/ha im Szenario Moderater Anbau auf +19 H-Äq/ha im Szenario Starke Extensivierung verbessert. Dies ist vor allem ein Effekt des Rückgangs der Hackfrüchte, aber auch des Rückgangs der Strohentnahme.

Ebenfalls deutlich nimmt der Flächenanteil an Flächen mit einem N-Überschuss > 50 kg/ha von 36 % im Szenario Marktfrucht auf 8 % im Szenario Starke Extensivierung ab (Tabelle 6-5). Dies ist als Effekt der Reduktion der Düngegabe zu werten. In ähnlicher Weise stellen sich die N-Salden (Hoftorbilanz) in den drei Szenarien dar, wobei das Szenario Starke Extensivierung leicht ungünstigere N-Salden aufweist als das Szenario Moderate Extensivierung (Tabelle 6-5).

Die normierten Biodiversitätswerte steigen mit der Extensivierung des Anbaus an, sie erreichen aber selbst im Szenario Starke Extensivierung Werte von unter 50% im Vergleich zu den maximal erreichbaren Punkte zahlen (Tabelle 6-5). Die THG-Emissionen als Summe der Emissionen der Anbauflächen und der Tierhaltung liegen im Szenario Marktfrucht mit 2,4 t/ha höher als für das Szenario Moderater Anbau (2,1 t/ha) und Starke Extensivierung (1,8 t/ha). Dieses Ergebnis ist einerseits ein Resultat der geringeren THG-Emissionen der weniger leistungsstarken Milchkühe und aber auch der reduzierten N-Gabe auf Anbauflächen (weniger Lachgas-Emissionen; Tabelle 6-5).

Tabelle 6-4: Anteile der Feldfrüchte in den drei Szenarien zu Pflanzenbau und Tierhaltung (alle Angaben in Hektar)

|                                          | Marktf Frucht (MF) |      |      |      |      |        | Moderate Extensivierung (ME) |      |      |      |      |        | Starke Extensivierung (SE) |      |      |      |      |        |
|------------------------------------------|--------------------|------|------|------|------|--------|------------------------------|------|------|------|------|--------|----------------------------|------|------|------|------|--------|
|                                          | 2016               | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | Mittel | 2016                         | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | Mittel | 2016                       | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | Mittel |
| Winterweizen                             | 225                | 140  | 155  | 285  | 266  | 214,2  | 1                            | 5    | 5    | 1    | 5    | 3.40   | 91                         | 152  | 179  | 148  | 78   | 129,6  |
| Sommerweizen                             | 69                 | 262  | 112  | 54   | 77   | 11,8   | 233                          | 191  | 94   | 117  | 215  | 170    | 129                        | 51   | 36   | 79   | 116  | 82,2   |
| Wintergerste                             | 0                  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0      | 0                            | 0    | 12   | 4    | 6    | 4.40   | 0                          | 0    | 0    | 0    | 0    | 0      |
| Sommergerste                             | 27                 | 70   | 119  | 44   | 40   | 60,0   | 89                           | 137  | 174  | 139  | 143  | 136.40 | 175                        | 175  | 177  | 163  | 186  | 175,2  |
| Triticale                                | 0                  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0      | 4                            | 3    | 8    | 12   | 8    | 7      | 17                         | 20   | 14   | 24   | 15   | 18,0   |
| Hafer                                    | 0                  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0      | 0                            | 0    | 0    | 0    | 0    | 0      | 0                          | 0    | 0    | 0    | 0    | 0      |
| Roggen                                   | 0                  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0      | 0                            | 0    | 0    | 0    | 0    | 0      | 0                          | 0    | 0    | 0    | 0    | 0      |
| Körnermais mit CCM                       | 0                  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0      | 4                            | 4    | 6    | 6    | 6    | 5.20   | 31                         | 60   | 52   | 44   | 26   | 42,6   |
| Silomais                                 | 139                | 168  | 256  | 184  | 157  | 180,8  | 207                          | 96   | 80   | 121  | 97   | 120.20 | 73                         | 87   | 91   | 89   | 97   | 87,4   |
| Winterraps                               | 0                  | 1    | 3    | 0    | 1    | 1,0    | 127                          | 85   | 90   | 32   | 102  | 87.20  | 104                        | 93   | 109  | 110  | 114  | 106,0  |
| Kartoffeln                               | 380                | 199  | 194  | 276  | 300  | 269,8  | 1                            | 125  | 197  | 200  | 45   | 113.60 | 19                         | 9    | 1    | 1    | 29   | 11,8   |
| Zuckerrüben                              | 0                  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0      | 2                            | 19   | 18   | 20   | 18   | 15.40  | 1                          | 0    | 0    | 0    | 0    | 0,2    |
| Ackerbohnen                              | 0                  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0      | 0                            | 0    | 0    | 0    | 0    | 0      | 0                          | 0    | 0    | 0    | 0    | 0      |
| Futtererbsen                             | 0                  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0      | 1                            | 1    | 1    | 1    | 1    | 1      | 0                          | 0    | 0    | 0    | 0    | 0      |
| Feldgras / Grasanbau auf dem Ackerland   | 0                  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0      | 0                            | 0    | 0    | 0    | 0    | 0      | 0                          | 0    | 0    | 0    | 0    | 0      |
| Klee, Klee gras und Klee-Luzerne-Gemisch | 0                  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0      | 7                            | 5    | 0    | 18   | 34   | 12.80  | 0                          | 0    | 0    | 0    | 0    | 0      |
| Luzerne / Luzernegras                    | 0                  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0      | 0                            | 0    | 0    | 0    | 0    | 0      | 0                          | 0    | 0    | 0    | 0    | 0      |
| Winterzwischenfrucht                     | 0                  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0      | 0                            | 0    | 0    | 0    | 0    | 0      | 0                          | 0    | 0    | 0    | 0    | 0      |
| Blühstreifen_Blühfläche                  | 10                 | 10   | 11   | 7    | 9    | 9,4    | 15                           | 17   | 11   | 18   | 11   | 14.40  | 44                         | 39   | 29   | 34   | 27   | 34,6   |

|                                          | Marktfrucht (MF) |       |       |       |       |        | Moderate Extensivierung (ME) |       |       |       |       |        | Starke Extensivierung (SE) |       |       |       |       |        |
|------------------------------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|--------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|----------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|
|                                          | 2016             | 2017  | 2018  | 2019  | 2020  | Mittel | 2016                         | 2017  | 2018  | 2019  | 2020  | Mittel | 2016                       | 2017  | 2018  | 2019  | 2020  | Mittel |
| <b>Brache, Selbstbegrünung ab Herbst</b> | 0                | 0     | 0     | 0     | 0     | 0      | 9                            | 12    | 4     | 11    | 9     | 9      | 16                         | 14    | 12    | 8     | 12    | 12,4   |
| <b>Heu_Wiese</b>                         | 132              | 132   | 132   | 132   | 132   | 132,0  | 195                          | 195   | 195   | 195   | 195   | 195    | 113                        | 114   | 114   | 112   | 113   | 113,2  |
| <b>Grassilage_Wiese</b>                  | 18               | 18    | 18    | 18    | 18    | 18     | 61                           | 61    | 61    | 61    | 61    | 61     | 89                         | 88    | 89    | 90    | 89    | 89,0   |
| <b>Weide</b>                             | 0                | 0     | 0     | 0     | 0     | 0      | 44                           | 44    | 44    | 44    | 44    | 44     | 98                         | 98    | 97    | 98    | 98    | 97,8   |
| <b>Kontrollsumme</b>                     | 1.000            | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000  | 1.000                        | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000  | 1.000                      | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000  |

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle 6-5: Zusammenfassende Ergebnisse der Szenarien Marktfrucht, Moderate Extensivierung und Starke Extensivierung

| Indikator                                          | Einheit  | Marktfrucht (MF) | Moderate Extensivierung (ME) | Starke Extensivierung (SE) |
|----------------------------------------------------|----------|------------------|------------------------------|----------------------------|
| <b>Mittelwerte der fünf Umweltindikatoren</b>      | normiert | 0,51             | 0,81                         | 0,93                       |
| <b>N-Saldo (Hoftorbilanz)</b>                      | kg N/ha  | 21,50            | 8,40                         | 11,50                      |
| <b>C-Saldo (AL)</b>                                | H-Äq./ha | -332,00          | -107,00                      | 19,00                      |
| <b>Biodiversität</b>                               | normiert | 0,17             | 0,38                         | 0,45                       |
| <b>THG (Anbau + Tierhaltung)</b>                   | kg/ha    | 2,42             | 2,08                         | 1,83                       |
| <b>Flächenanteil mit N-Überschuss &gt; 50kg/ha</b> | %        | 36,30            | 17,30                        | 7,90                       |
| <b>Marktfrüchte (AL+GL)</b>                        | t TM     | 6.657,00         | 4.779,00                     | 4.244,00                   |
| <b>Futtermittel Eigenanbau (AL+GL)</b>             | t TM     | 2.924,00         | 3.232,00                     | 2.437,00                   |
| <b>Futtermittel Import</b>                         | t TM     | 91,00            | 175,00                       | 0,00                       |
| <b>Futter-Eigenanbau (%)</b>                       | %        | 97,00            | 94,90                        | 100,00                     |
| <b>Milch+Fleisch (t TM)</b>                        | t TM     | 380,00           | 305,00                       | 229,00                     |
| <b>Fläche total</b>                                | ha       | 1,00             | 1,00                         | 1,00                       |
| <b>Fläche AL</b>                                   | ha       | 850,00           | 700,00                       | 700,00                     |
| <b>Fläche GL</b>                                   | ha       | 150,00           | 300,00                       | 300,00                     |
| <b>Marktfrüchte (AL+GL)</b>                        | ha       | 800,00           | 721,00                       | 726,00                     |
| <b>Futtermittel Eigenanbau (AL+GL)</b>             | ha       | 200,00           | 279,00                       | 274,00                     |
| <b>Marktfrüchte (AL+GL)</b>                        | t TM/ha  | 6,66             | 4,78                         | 4,24                       |
| <b>Futtermittel Eigenanbau (AL+GL)</b>             | t TM/ha  | 2,92             | 3,23                         | 2,44                       |
| <b>Milch+Fleisch</b>                               | t TM/ha  | 0,38             | 0,30                         | 0,23                       |
| <b>DB total</b>                                    | EUR      | 939.215,00       | 504.257,00                   | 470.948,00                 |
| <b>DB Marktfrüchte (AL+GL)</b>                     | EUR      | 813.019,00       | 430.177,00                   | 379.848,00                 |
| <b>DB Milch+Fleisch (AL+GL)</b>                    | EUR      | 126.197,00       | 74.081,00                    | 91.100,00                  |
| <b>DB total</b>                                    | EUR/ha   | 939,00           | 504,00                       | 471,00                     |
| <b>DB Marktfrüchte (AL+GL)</b>                     | EUR/ha   | 1,02             | 597,00                       | 523,00                     |
| <b>DB Milch+Fleisch (AL+GL)</b>                    | EUR/ha   | 630,00           | 266,00                       | 332,00                     |

Quelle: Eigene Darstellung

## Szenariovarianten zum Pflanzenbau

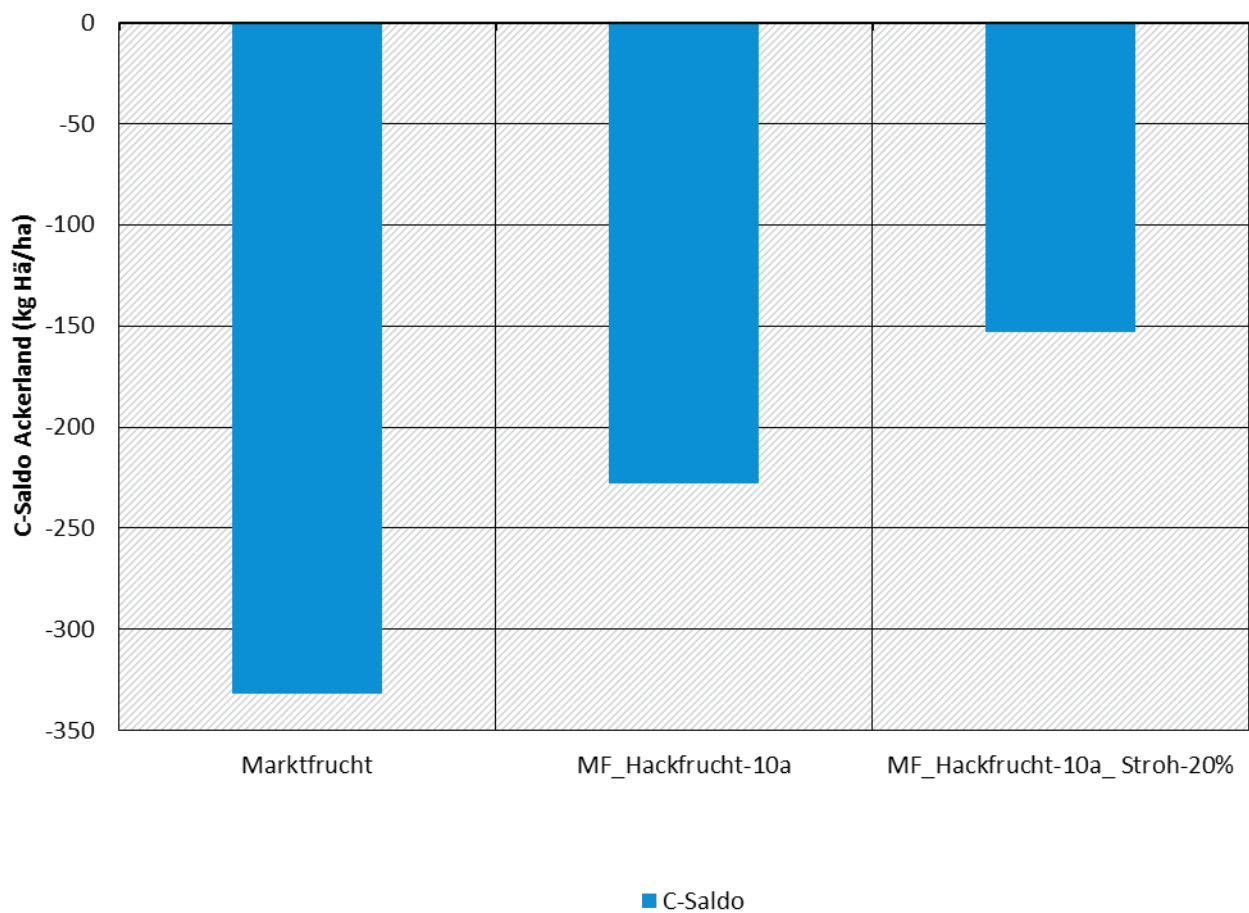
Die ersten beiden Szenariovarianten zum Pflanzenbau wurden auf Basis des Szenarios Marktfrucht gerechnet, um zu testen, wie sensibel das Produktionssystem auf eine Verringerung des Anbaus von Hackfrüchten und einer zusätzlichen Reduktion der Strohentnahme reagiert. Wie bereits im Szenario Moderate Extensivierung und Starke Extensivierung gesehen, bewirkt die Reduktion des Anbaus an Hackfrüchten eine deutliche Veränderung der Zusammensetzung der Fruchtarten im Produktionssystem. Mit der Abnahme der Hackfrüchte in der Szenariovariante MF\_Hackfrucht-10a nehmen vor allem Getreidearten und Silomais zu (vgl. Tabelle 6-6). Die zusätzliche reduzierte Strohentnahme hat dagegen keinen spürbaren Einfluss auf die Zusammensetzung der Fruchtarten (Szenariovariante MF\_Hackfrucht-10a).

Aus Sicht der Umweltindikatoren ist deutlich eine Verbesserung des C-Saldos zu sehen. So nehmen nach der Reduktion des Anbaus von Hackfrüchten die Humusäquivalente auf den Ackerflächen von -330 H-Äq./ha auf -230 H-Äq./ha zu. Durch die reduzierte Strohentnahme kommt es zu einer weiteren Zunahme des C-Saldos auf einen Wert von -150 H-Äq./ha (Abbildung 6-1). Parallel treten Veränderungen anderer Umweltparameter auf (vgl. Tabelle 6-7). Der N-Saldo steigt nach der Reduktion des Anbaus der Hackfrüchte von 21 kg N/ha auf 45 kg N/ha in der Szenariovariante MF\_Hackfrucht-10a und auf 48 kg N/ha in der Szenariovariante MF\_Hackfrucht-10a\_Stroh-20% an. Dies kann an einem verringerten Export an Nährstoffen durch die Marktfrüchte liegen. Der Biodiversitätsbewertung bleibt zwischen diesen Szenariovarianten mit von 0,16-0,17 etwa konstant.

Im Hinblick auf den Deckungsbeitrag sinken wie erwartet mit der Reduktion des Anbaus der Hackfrüchte die Deckungsbeiträge (Abbildung 6-2), und zwar von 1.017 EUR/ha auf 590 EUR/ha. Eine Reduktion der Strohentnahme verringert den Deckungsbeitrag dabei unwesentlich. Parallel reduziert sich der Ertrag der Marktfrüchte (vgl. Tabelle 6-7): Im Szenario Marktfrucht lag der Ertrag bei 6,7 t TM/ha und er reduzierte sich mit einem geringeren Anteil an Hackfrüchten deutlich auf 5,6 t TM/ha. Durch die reduzierte Strohentnahme stellt sich ein noch leicht niedrigeres Ertragsniveau von 5,1 t TM/ha ein.

Als weitere Szenariovariante zum Szenario Marktfrucht wurde eine deutliche Erhöhung der N-Gabe von 100% auf 110% getestet. Hierdurch wurde eine Verschlechterung des N-Saldos bei einem gleichzeitigen Anstieg der Erträge und des Deckungsbeitrags erwartet. Im Hinblick auf die Zusammensetzung der Fruchtarten stellten sich in der Szenariovariante MF\_N-110% im Vergleich zum Szenario Marktfrucht nur kleine Änderungen ein (vgl. Tabelle 6-6). Wie erwartet stieg der N-Saldo deutlich an, und zwar von 22 kg N/ha auf 40 kg N/ha (Abbildung 6-3), was die erhöhte N-Gabe widerspiegelt. Im Gegensatz zu diesem Anstieg steigt der Ertrag der Marktfrüchte nur unwesentlich von 6,66 t TM/ha auf 6,69 t TM/ha (vgl. Tabelle 6-7). Dies zeigt, dass mit der N-Gabe nach der Düngeverordnung die Erträge sich bereits weitestgehend im Optimum befinden.

Abbildung 6-1: C-Saldo der Szenariovarianten „MF\_Hackfrucht-10a“ (Hackfrüchte alle 10 Jahre erlaubt statt alle drei Jahre) und „MF\_Hackfrucht-10a\_Stroh-20%“ (zusätzlich nur 20% statt 60% Stroh entnommen) im Vergleich zum Szenario „Marktfrucht“.

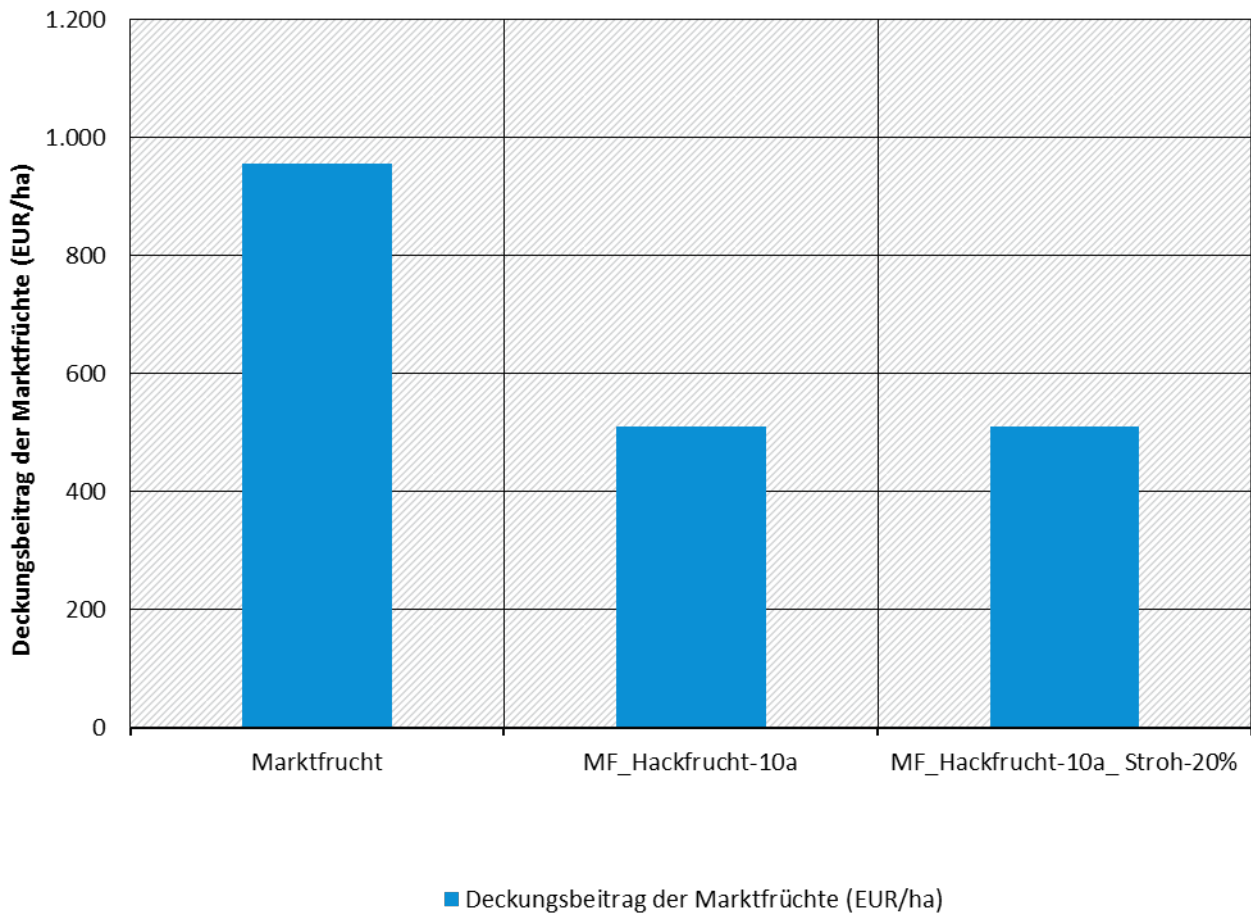


MF\_Hackfrucht-10a = Hackfrüchte alle 10 Jahre erlaubt statt alle drei Jahre; MF\_Hackfrucht-10a\_Stroh-20% = Hackfrüchte alle 10 Jahre erlaubt statt alle drei Jahre und nur 20% statt 60% Stroh entnommen.

Quelle: Eigene Darstellung



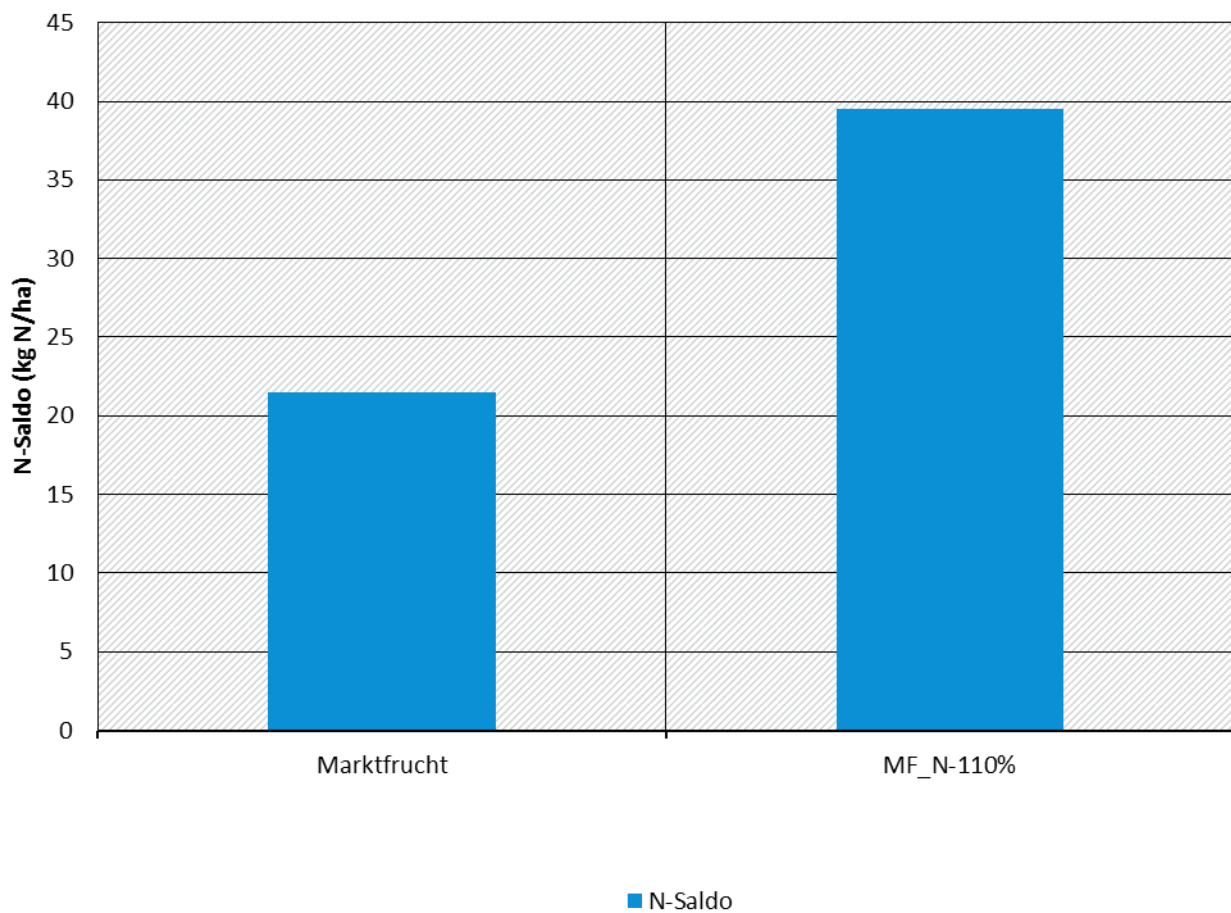
Abbildung 6-2: Deckungsbeitrag der Marktfrüchte der Szenariovarianten „MF\_Hackfrucht-10a“ (Hackfrüchte alle 10 Jahre erlaubt statt alle drei Jahre) und „MF\_Hackfrucht-10a\_Stroh-20%“ (zusätzlich nur 20% statt 60% Stroh entnommen) im Vergleich zum Szenario „Marktfrucht“



MF\_Hackfrucht-10a = Hackfrüchte alle 10 Jahre erlaubt statt alle drei Jahre; MF\_Hackfrucht-10a\_Stroh-20% = Hackfrüchte alle 10 Jahre erlaubt statt alle drei Jahre und nur 20% statt 60% Stroh entnommen.

Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 6-3: N-Saldo der Szenariovariante „MF\_N-110%“ (Erhöhung der N-Gabe auf 110%) im Vergleich zum Szenario „Marktfrucht“



MF\_N-110% = Erhöhung der N-Gabe auf 110%.

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle 6-6: Anteile der Feldfrüchte der Szenariovarianten „MF\_Hackfrucht-10a“, „MF\_Hackfrucht-10a\_Stroh-20%“ und „MF\_N-110%“ im Vergleich zum Szenario „Marktfrucht“ (alle Angaben in Hektar, Mittelwert über 5 Jahre)

|                                          | Marktfrucht | MF_Hackfrucht-10a | MF_Hackfrucht-10a_Stroh-20% | MF_N-110% |
|------------------------------------------|-------------|-------------------|-----------------------------|-----------|
| Winterweizen                             | 214,2       | 273,4             | 269,8                       | 209,4     |
| Sommerweizen                             | 114,8       | 16,6              | 21,0                        | 118,6     |
| Wintergerste                             | 0           | 0                 | 0                           | 0         |
| Sommergerste                             | 60,0        | 286,0             | 286,4                       | 68,8      |
| Triticale                                | 0           | 0                 | 0                           | 0         |
| Hafer                                    | 0           | 0                 | 0                           | 0         |
| Roggen                                   | 0           | 0                 | 0                           | 0         |
| Körnermais mit CCM                       | 0           | 0                 | 0                           | 0         |
| Silomais                                 | 180,8       | 245,4             | 244,8                       | 181,6     |
| Winterraps                               | 1,0         | 2,6               | 1,8                         | 0,6       |
| Kartoffeln                               | 269,8       | 16,8              | 17,6                        | 264,4     |
| Zuckerrüben                              | 0           | 0,6               | 0,6                         | 0         |
| Ackerbohnen                              | 0           | 0                 | 0                           | 0         |
| Futtererbsen                             | 0           | 0                 | 0                           | 0         |
| Feldgras / Grasanbau auf dem Ackerland   | 0           | 0                 | 0                           | 0         |
| Klee, Klee gras und Klee-Luzerne-Gemisch | 0           | 0                 | 0                           | 0         |
| Luzerne / Luzernegras                    | 0           | 0                 | 0                           | 0         |
| Winterzwischenfrucht                     | 0           | 0                 | 0                           | 0         |
| Blühstreifen_Blühfläche                  | 9,4         | 8,6               | 8,0                         | 6,6       |
| Brache, Selbstbegrünung ab Herbst        | 0           | 0                 | 0                           | 0         |
| Heu_Wiese                                | 132,0       | 132,0             | 132,0                       | 132,0     |
| Grassilage_Wiese                         | 18,0        | 18,0              | 18,0                        | 18,0      |
| Weide                                    | 0           | 0                 | 0                           | 0         |
| Kontrollsumme                            | 1.000       | 1.000             | 1.000                       | 1.000     |

MF\_Hackfrucht-10a = Hackfrüchte alle 10 Jahre erlaubt statt alle drei Jahre; MF\_Hackfrucht-10a\_Stroh-20% = Hackfrüchte alle 10 Jahre erlaubt statt alle drei Jahre und nur 20% statt 60% Stroh entnommen; MF\_N-110% = Erhöhung der N-Gabe auf 110%.

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle 6-7: Zusammenfassende Ergebnisse der Szenariovarianten „MF\_Hackfrucht-10a“, „MF\_Hackfrucht-10a\_Stroh-20%“ und „SE\_N-110%“ im Vergleich zum Szenario „Marktfrucht“

| Indikatoren                                        | Einheit  | Marktfrucht | MF_Hackfrucht-10a | MF_Hackfrucht-10a_Stroh-20% | MF_N-110%  |
|----------------------------------------------------|----------|-------------|-------------------|-----------------------------|------------|
| <b>Mittelwerte der fünf Umweltindikatoren</b>      | normiert | 0,51        | 0,48              | 0,51                        | 0,44       |
| <b>N-Saldo (Hoftorbilanz)</b>                      | kg N/ha  | 21,50       | 44,80             | 48,10                       | 39,50      |
| <b>C-Saldo (AL)</b>                                | H-Äq/ha  | -332,00     | -228,00           | -153,00                     | -333,00    |
| <b>Biodiversität</b>                               | normiert | 0,17        | 0,16              | 0,16                        | 0,16       |
| <b>THG (Anbau + Tierhaltung)</b>                   | kg/ha    | 2,42        | 2,39              | 2,41                        | 2,52       |
| <b>Flächenanteil mit N-Überschuss &gt; 50kg/ha</b> | %        | 36,30       | 39,00             | 47,30                       | 40,60      |
| <b>Marktfrüchte (AL+GL)</b>                        | t TM     | 6.657,00    | 5.587,00          | 5.055,00                    | 6.692,00   |
| <b>Futtermittel Eigenanbau (AL+GL)</b>             | t TM     | 2.924,00    | 3.938,00          | 3.927,00                    | 2.976,00   |
| <b>Futtermittel Import</b>                         | t TM     | 91,00       | 688,00            | 696,00                      | 90,00      |
| <b>Futter-Eigenanbau (%)</b>                       | %        | 97,00       | 85,00             | 85,00                       | 97,00      |
| <b>Milch+Fleisch (t TM)</b>                        | t TM     | 380,00      | 380,00            | 380,00                      | 380,00     |
| <b>Fläche total</b>                                | ha       | 1,00        | 1,00              | 1,00                        | 1,00       |
| <b>Fläche AL</b>                                   | ha       | 850,00      | 850,00            | 850,00                      | 850,00     |
| <b>Fläche GL</b>                                   | ha       | 150,00      | 150,00            | 150,00                      | 150,00     |
| <b>Marktfrüchte (AL+GL)</b>                        | ha       | 800,00      | 734,00            | 735,00                      | 798,00     |
| <b>Futtermittel Eigenanbau (AL+GL)</b>             | ha       | 200,00      | 266,00            | 266,00                      | 202,00     |
| <b>Marktfrüchte (AL+GL)</b>                        | t TM/ha  | 6,66        | 5,59              | 5,05                        | 6,69       |
| <b>Futtermittel Eigenanbau (AL+GL)</b>             | t TM/ha  | 2,92        | 3,94              | 3,93                        | 2,98       |
| <b>Milch+Fleisch</b>                               | t TM/ha  | 0,38        | 0,38              | 0,38                        | 0,38       |
| <b>DB total</b>                                    | EUR      | 939.215,00  | 505.969,00        | 504.723,00                  | 937.055,00 |
| <b>DB Marktfrüchte (AL+GL)</b>                     | EUR      | 813.019,00  | 433.050,00        | 432.552,00                  | 810.802,00 |
| <b>DB Milch+Fleisch (AL+GL)</b>                    | EUR      | 126.197,00  | 72.919,00         | 72.170,00                   | 126.253,00 |
| <b>DB total</b>                                    | EUR/ha   | 939,00      | 506,00            | 505,00                      | 937,00     |
| <b>DB Marktfrüchte (AL+GL)</b>                     | EUR/ha   | 1,02        | 590,00            | 589,00                      | 1,02       |
| <b>DB Milch+Fleisch (AL+GL)</b>                    | EUR/ha   | 630,00      | 274,00            | 272,00                      | 625,00     |

MF\_Hackfrucht-10a = Hackfrüchte alle 10 Jahre erlaubt statt alle drei Jahre; MF\_Hackfrucht-10a\_Stroh-20% = Hackfrüchte alle 10 Jahre erlaubt statt alle drei Jahre und nur 20% statt 60% Stroh entnommen; MF\_N-110% = Erhöhung der N-Gabe auf 110%.

Quelle: Eigene Darstellung

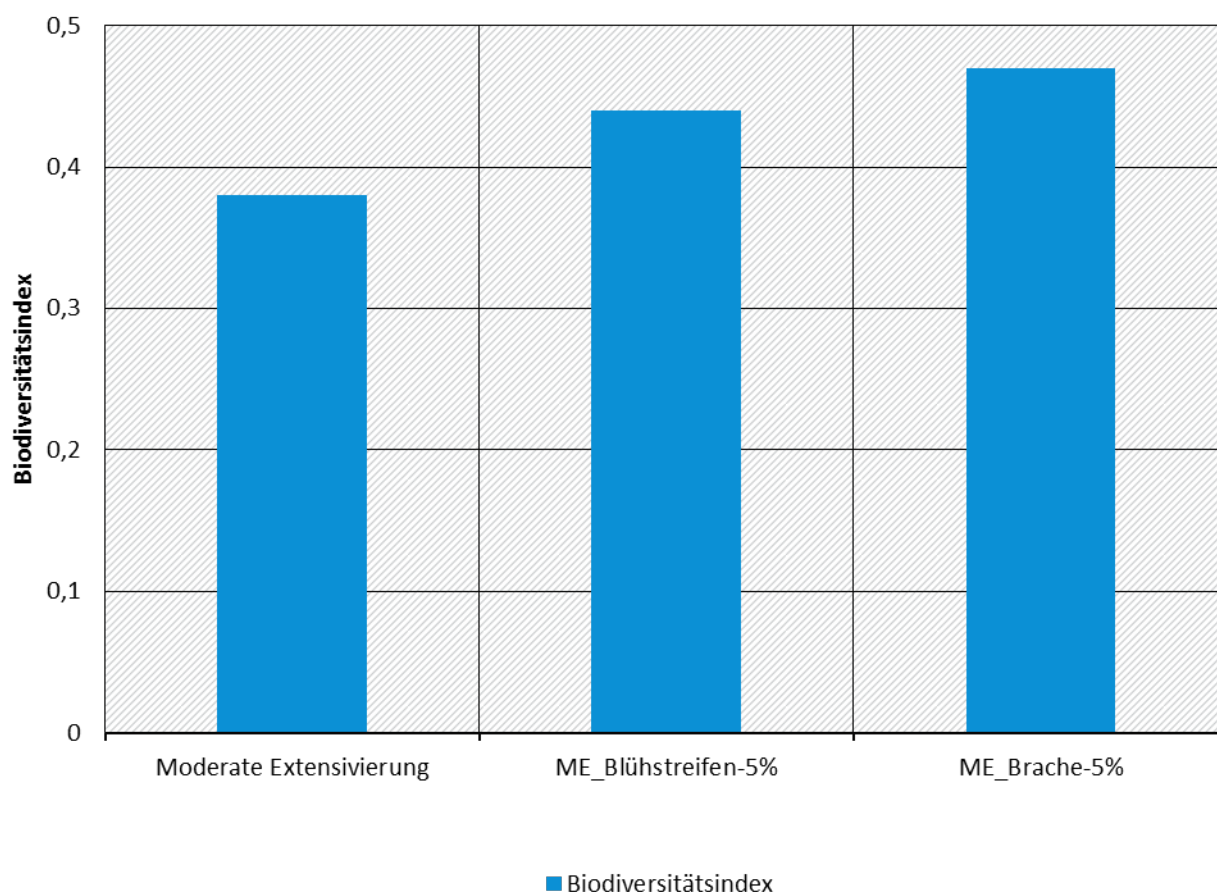
Um eine Auswirkung der Erhöhung von Flächen mit Blühstreifen und Brachflächen zu testen, werden in dem Szenario Moderate Extensivierung in der Szenariovariante „ME\_Blühstreifen-5%“ der Anteil der Fläche mit Blühstreifen von 2 % auf 5% und in der Szenariovariante „ME\_Brache-5%“ der Anteil der Brachfläche von 1% auf 5% erhöht. Durch diese Maßnahme wird eine Verbesserung des Biodiversitätsindex bei gleichzeitiger Abnahme der Flächenenerträge erwartet.



Durch die voreingestellte Zunahme der Flächenanteil mit Blühstreifen oder Brache kommt es zu leichten Verschiebungen in der Flächenbelegung mit anderen Feldfrüchten (vgl. Tabelle 6-8). Durch die Zunahme des Flächenanteils der Blühstreifen von 2% auf 5% zeigt sich ein Anstieg des Biodiversitätsindex von 0,38 im Szenario Moderate Extensivierung auf 0,44 in der Szenariovariante „ME\_Blühstreifen-5%“. Mit der Erhöhung des Bracheanteils von 1% auf 5% wird in der Szenariovariante „ME\_Brache-5%“ ein Anstieg des Biodiversitätsindex auf 0,47 erreicht (Abbildung 6-4). Der leichte Unterschied zwischen Blühstreifen und Brache resultiert vor allem daraus, dass die Brachflächen aufgrund der ganzjährigen Anwesenheit höher bewertet werden als die Flächen mit Blühstreifen, die nicht das ganze Jahr bestehen.

Bei den übrigen Umweltparametern ist am auffälligsten, dass der N-Saldo durch die Zunahme des Flächenanteils mit Blühstreifen von 8,4 kg N/ha auf 11,0 kg N/ha ansteigt. Für die Szenariovariante mit einem erhöhten Anteil an Brachfläche erhöht sich der N-Saldo auf 12,8 kg N/ha. Diese Erhöhung kann mit der leicht veränderten Fruchtartenzusammensetzung und dem verringerten N-Export durch Marktfrüchte, deren Produktion leicht zurückgeht, entstehen (vgl. Tabelle 6-8).

Abbildung 6-4: Biodiversitätsindex der Szenariovariante „ME\_Blühstreifen-5%“ und „ME\_Brache-5%“ im Vergleich zum Szenario „Moderate Extensivierung“



ME\_Blühstreifen-5% = Erhöhung des Blühstreifenanteils von 2% auf 5%; ME\_Brache-5% = Erhöhung des Bracheanteils von 1% auf 5%.

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle 6-8: Anteile der Feldfrüchte der Szenarien-Varianten „ME\_Blühstreifen-5%“ und „ME\_Brache-5%“ im Vergleich zum Szenario „Moderate Extensivierung“ (alle Angaben in Hektar)

| Feldfrüchte                              | Moderate Extensivierung | ME_Blühstreifen-5% | ME_Brache-5% |
|------------------------------------------|-------------------------|--------------------|--------------|
| Winterweizen                             | 3,40                    | 4,20               | 5,80         |
| Sommerweizen                             | 170,00                  | 162,60             | 153,20       |
| Wintergerste                             | 4,40                    | 3,60               | 2,80         |
| Sommergerste                             | 136,40                  | 124,00             | 119,60       |
| Triticale                                | 7,00                    | 7,00               | 21,60        |
| Hafer                                    | 0,00                    | 0,00               | 0,00         |
| Roggen                                   | 0,00                    | 0,00               | 0,00         |
| Körnermais mit CCM                       | 5,20                    | 5,80               | 5,80         |
| Silomais                                 | 120,20                  | 129,20             | 126,00       |
| Winterraps                               | 87,20                   | 82,00              | 72,40        |
| Kartoffeln                               | 113,60                  | 116,80             | 110,20       |
| Zuckerrüben                              | 15,40                   | 11,40              | 15,40        |
| Ackerbohnen                              | 0,00                    | 0,00               | 0,00         |
| Futtererbsen                             | 1,00                    | 1,00               | 1,00         |
| Feldgras / Grasanbau auf dem Ackerland   | 0,00                    | 0,00               | 0,00         |
| Klee, Klee gras und Klee-Luzerne-Gemisch | 12,80                   | 10,20              | 11,00        |
| Luzerne / Luzernegras                    | 0,00                    | 0,00               | 0,00         |
| Winterzwischenfrucht                     | 0,00                    | 0,00               | 0,00         |
| Blühstreifen_Blühfläche                  | 14,40                   | 33,80              | 17,20        |
| Brache, Selbstbegrünung ab Herbst        | 9,00                    | 8,40               | 38,00        |
| Heu_Wiese                                | 195,00                  | 195,00             | 195,00       |
| Grassilage_Wiese                         | 61,00                   | 61,00              | 61,00        |
| Weide                                    | 44,00                   | 44,00              | 44,00        |
| Kontrollsumme                            | 1.000,00                | 1.000,00           | 1.000,00     |

ME\_Blühstreifen-5% = Erhöhung des Blühstreifenanteils von 2% auf 5%; ME\_Brache-5% = Erhöhung des Bracheanteils von 1% auf 5%.

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle 6-9: Zusammenfassende Ergebnisse der Szenariovarianten „ME\_Blühstreifen-5%“ und „ME\_Brache-5%“ im Vergleich zum Szenario „Moderate Extensivierung“

| Indikatoren                                        | Einheit  | Moderate Extensivierung | ME_Blühstreifen-5% | ME_Brache-5% |
|----------------------------------------------------|----------|-------------------------|--------------------|--------------|
| <b>Mittelwerte der fünf Umweltindikatoren</b>      | normiert | 0,81                    | 0,83               | 0,83         |
| <b>N-Saldo (Hofterbilanz)</b>                      | kg N/ha  | 8,40                    | 11,00              | 12,80        |
| <b>C-Saldo (AL)</b>                                | H-Äq/ha  | -107,00                 | -107,00            | -101,00      |
| <b>Biodiversität</b>                               | normiert | 0,38                    | 0,44               | 0,47         |
| <b>THG (Anbau + Tierhaltung)</b>                   | kg/ha    | 2.076,00                | 2.064,00           | 2.053,00     |
| <b>Flächenanteil mit N-Überschuss &gt; 50kg/ha</b> | %        | 17,30                   | 17,60              | 18,20        |
| <b>Marktfrüchte (AL+GL)</b>                        | t TM     | 4.779,00                | 4.576,00           | 4.512,00     |
| <b>Futtermittel Eigenanbau (AL+GL)</b>             | t TM     | 3.232,00                | 3.315,00           | 3.374,00     |
| <b>Futtermittel Import</b>                         | t TM     | 175,00                  | 158,00             | 127,00       |
| <b>Futter-Eigenanbau (%)</b>                       | %        | 94,90                   | 95,50              | 96,40        |
| <b>Milch+Fleisch (t TM)</b>                        | t TM     | 305,00                  | 305,00             | 305,00       |
| <b>Fläche total</b>                                | ha       | 1.000,00                | 1.000,00           | 1.000,00     |
| <b>Fläche AL</b>                                   | ha       | 700,00                  | 700,00             | 700,00       |
| <b>Fläche GL</b>                                   | ha       | 300,00                  | 300,00             | 300,00       |
| <b>Marktfrüchte (AL+GL)</b>                        | ha       | 721,00                  | 715,00             | 701,00       |
| <b>Futtermittel Eigenanbau (AL+GL)</b>             | ha       | 279,00                  | 285,00             | 299,00       |
| <b>Marktfrüchte (AL+GL)</b>                        | t TM/ha  | 4,78                    | 4,58               | 4,51         |
| <b>Futtermittel Eigenanbau (AL+GL)</b>             | t TM/ha  | 3,23                    | 3,32               | 3,37         |
| <b>Milch+Fleisch</b>                               | t TM/ha  | 0,30                    | 0,30               | 0,30         |
| <b>DB total</b>                                    | EUR      | 504.257,00              | 485.476,00         | 474.168,00   |
| <b>DB Marktfrüchte (AL+GL)</b>                     | EUR      | 430.177,00              | 407.862,00         | 395.373,00   |
| <b>DB Milch+Fleisch (AL+GL)</b>                    | EUR      | 74.081,00               | 77.615,00          | 78.795,00    |
| <b>DB total</b>                                    | EUR/ha   | 504,00                  | 485,00             | 474,00       |
| <b>DB Marktfrüchte (AL+GL)</b>                     | EUR/ha   | 597,00                  | 570,00             | 564,00       |
| <b>DB Milch+Fleisch (AL+GL)</b>                    | EUR/ha   | 266,00                  | 272,00             | 263,00       |

ME\_Blühstreifen-5% = Erhöhung des Blühstreifenanteils von 2% auf 5%; ME\_Brache-5% = Erhöhung des Bracheanteils von 1% auf 5%.

Quelle: Eigene Darstellung



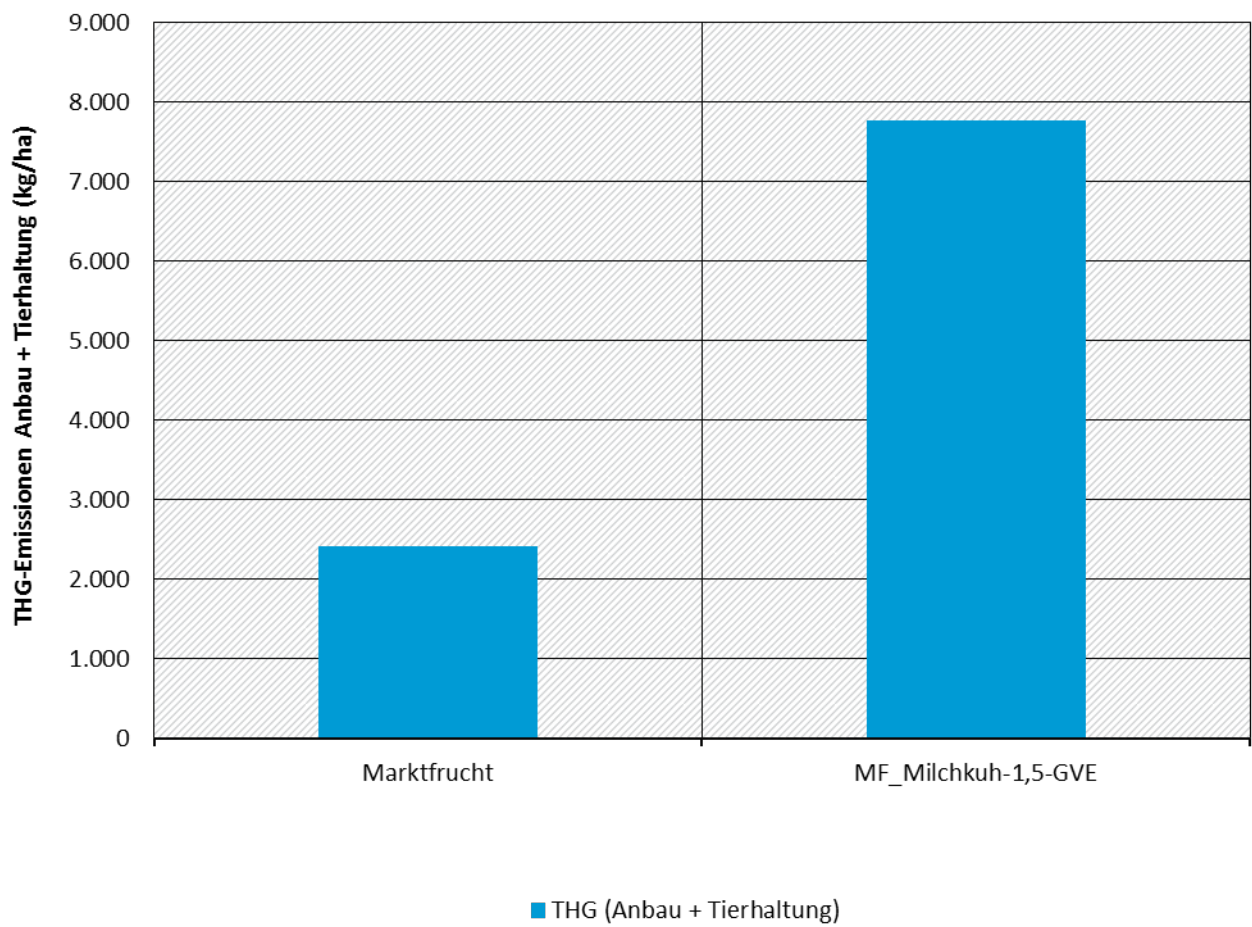
## Szenariovarianten zur Tierhaltung

Im Hinblick auf die Tierhaltung wird als erstes in der Szenariovariante „MF\_Milchkuh-1,5-GVE“ getestet, wie sich eine deutliche Erhöhung des Milchkuhbestands von 300 auf 1.500 pro 1.000 ha im Vergleich zum Szenario Marktfrucht auswirkt. In dieser Variante waren deutliche Änderungen in den Annahmen zur Fruchtfolge nötig. Um ausreichend Viehfutter bereitzustellen, wurden die Bedingungen für die Auswahl der Vor-/Nachfrucht gelockert und ein Anbau von Silomais sowie von Ackergras im Folgejahr erlaubt. Der Anbau von Kartoffeln wurde unterdrückt. Dies spiegelt sich in der Feldfruchtzusammensetzung wieder (vgl. Tabelle 6-10): Der Anbau von Silomais steigt von 181 ha (21% der Ackerfläche) auf 545 ha (64% der Anbaufläche). Als weitere Futterpflanzen werden in der Szenariovariante MF\_Milchkuh-1,5-GVE Feldgras, Klee gras, Zuckerrübe und zu kleineren Anteilen Getreidearten. Zudem werden die Grünlandflächen vollständig als Futter und zwar zum Großteil für Gassilage und zu einem kleineren Anteil für Heu genutzt. Als Marktfrüchte werden auf ca. 250 ha Sommerweizen, Wintergerste und Winterraps angebaut (Tabelle 6-10). Trotz des hohen Anbaus an Futter ist es nötig, 7% des Futterbedarfs zu importieren (Tabelle 6-11). Hierzu zählt vor allem Grassilage, Sojamehl und Rapsextraktionsschrot.

Wie zu erwartet nimmt aufgrund der erhöhten Tierzahlen die Milch- und Fleischproduktion von 380 t TM im Szenario Marktfrucht auf 1.875 t TM in der Szenariovariante MF\_Milchkuh-1,5-GVE zu. Aufgrund der niedrigen Deckungsbeiträge für Milch (0,05 EUR) und Fleisch (0,10 EUR) nimmt der zu erwartende Deckungsbeitrag von 940 EUR/ha (Marktfrucht) auf 500 EUR/ha ab (MF\_Milchkuh-1,5-GVE; Tabelle 6-11).

Ebenfalls aufgrund der hohen Tierzahlen steigt die THG-Emission sehr deutlich von 2.400 kg/ha auf 7.800 kg/ha an (Abbildung 6-5). Dieser Anstieg ist vor allem den Methanemissionen der Milchkühe zuzuweisen. Der C-Saldo hingegen verbessert sich von -332 kg H-Äq./ha auf -56 kg H-Äq./ha (Abbildung 6-6), da durch das hohe Gülleaufkommen der Kohlenstoff in der Szenariovariante MF\_Milchkuh-1,5-GVE auf die landwirtschaftlichen Flächen zurückgeführt wird anstatt als Marktfrucht aus dem Produktionssystem exportiert zu werden. Im Gegensatz hierzu steigt aber der N-Saldo von 22 kg N/ha auf 47 kg N/ha (Abbildung 6-7), da in der Szenariovariante MF\_Milchkuh-1,5-GVE weniger N mit den Tierprodukten als mit den Marktfrüchten im Szenario Marktfrucht das Produktionssystem verlässt. Jedoch sinkt der Flächenanteil mit einem N-Überschuss > 50 kg/ha von 36% auf 23%, was zeigt, dass trotz des erhöhten N-Saldo (Hoftorbilanz) durch eine gleichmäßigere Verteilung der N-Gabe eine leicht geringere Gewässerbelastung in der Szenariovariante MF\_Milchkuh-1,5-GVE als im Szenario Marktfrucht zu erwarten ist (Tabelle 6-11). Allerdings ist dieses Ergebnis zu relativieren, da die anfallende Gülle durch die Restriktion der Düngeverordnung (max. 170 kg N aus Gülle pro ha) nicht vollständig ausgebracht werden kann (ca. 500 t/a). Im Hinblick auf den Biodiversitätsindex stellt sich keine Änderung ein, da die Anforderungen konstant gehalten wurden (Tabelle 6-11). Unter der Annahme, dass eine höhere Güllegabe erlaubt wäre (max. 200 kg N aus Gülle pro ha), könnte die Gülle vollständig ausgebracht werden.

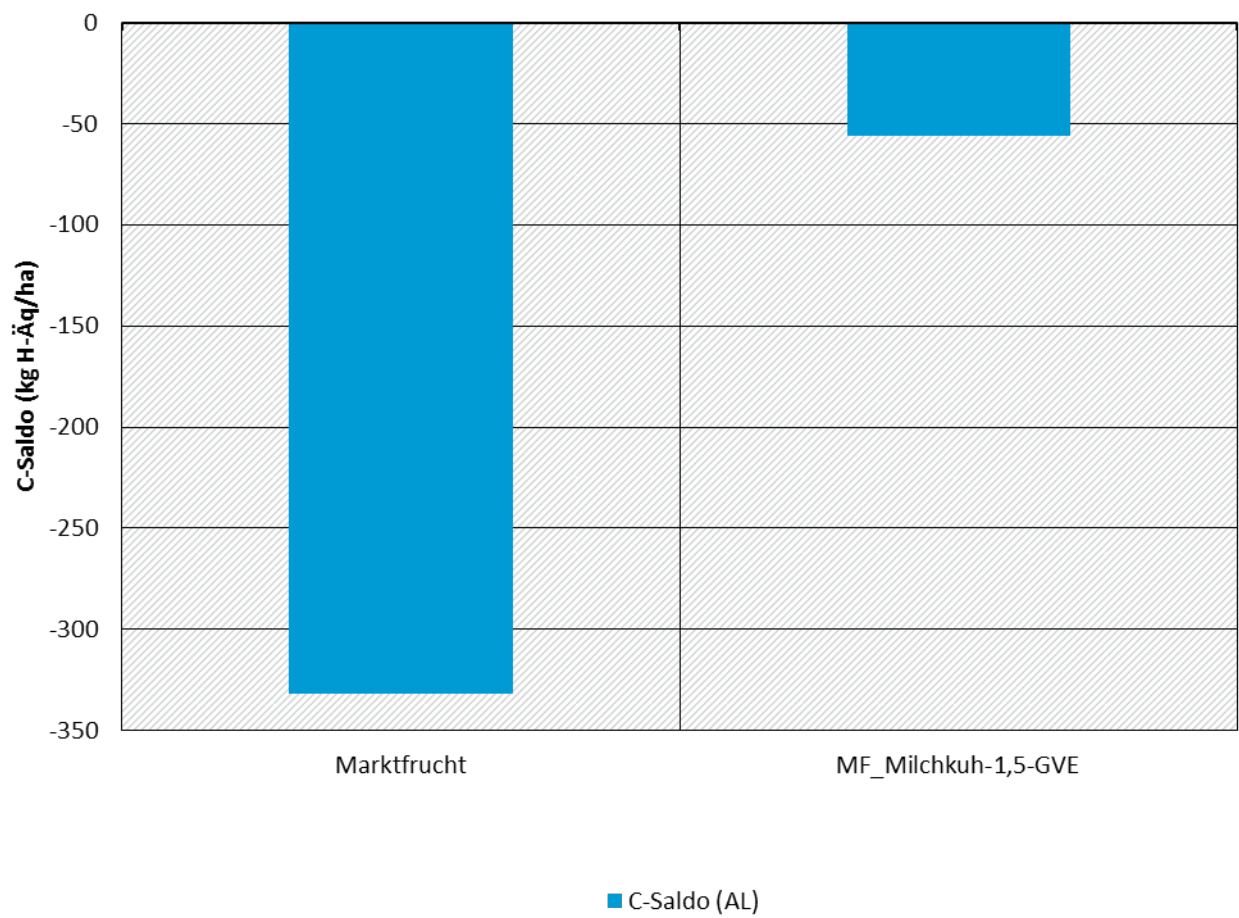
Abbildung 6-5: THG-Emissionen der Szenariovariante „MF\_Milchkuh-1,5-GVE“ im Vergleich zum Szenario „Marktfrucht“



MF\_Milchkuh-1,5-GVE = Erhöhung der Milchkühe von 0,3 GVE auf 1,5 GVE.

Quelle: Eigene Darstellung

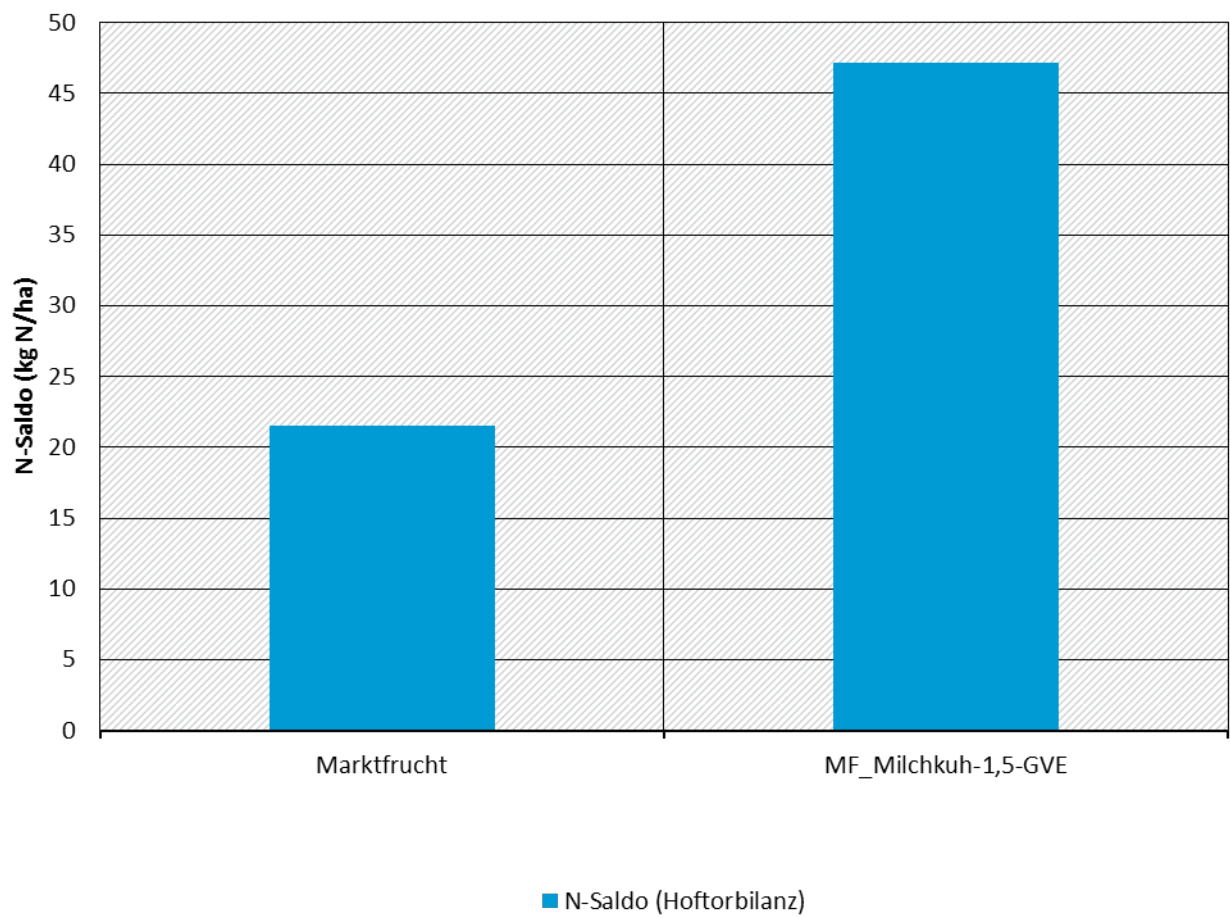
Abbildung 6-6: C-Saldo der Szenariovariante „MF\_Milchkuh-1,5-GVE“ im Vergleich zum Szenario „Marktfrucht“



MF\_Milchkuh-1,5-GVE = Erhöhung der Milchkühe von 0,3 GVE auf 1,5 GVE.

Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 6-7: N-Saldo der Szenariovariante „MF\_Mkuh-1,5-GVE“ im Vergleich zum Szenario „Marktfrucht“

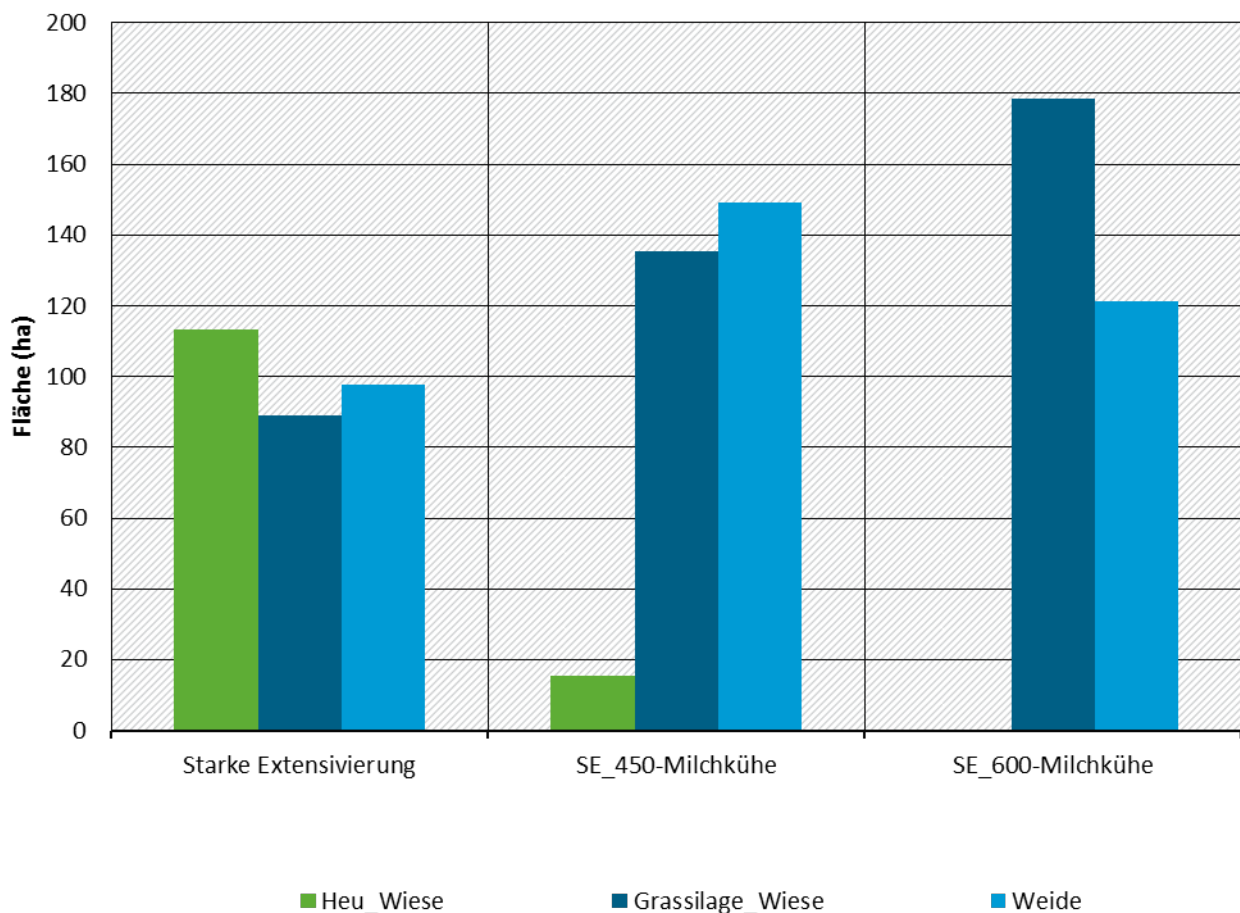


MF\_Milchkuh-1,5-GVE = Erhöhung der Milchkühe von 0,3 GVE auf 1,5 GVE.

Quelle: Eigene Darstellung



Abbildung 6-8: Grünlandbelegung der Szenariovariante „SE\_450-Milchkühe“ und „SE\_600-Milchkühe“ im Vergleich zum Szenario „Starke Extensivierung“



SE\_450-Milchkühe = Erhöhung der Milchkühe von 0,3 GVE auf 0,45 GVE; SE\_600-Milchkühe = Erhöhung der Milchkühe von 0,3 GVE auf 0,6 GVE.

Quelle: Eigene Darstellung

Als zweite Analyse zu Szenariovarianten wird aufbauend auf dem Szenario Starke Extensivierung die Milchkuhherde von 300 Tieren auf 450 Tiere (ca. 0,45 GVE; Szenariovariante SE\_450-Milchkühe) und auf 600 Tiere (0,6 GVE; Szenariovariante SE\_600-Milchkühe) vergrößert. Bei der Flächenbelegung steigt vor allem die Nutzung von Grünland zur Futterbereitstellung. Mit einer Zunahme des Milchvieh um 50% auf 450 Tiere steigt auch der Anteil an Weide und Grassilage um 50% an (Abbildung 6-8). Die Heuproduktion für den Verkauf nimmt entsprechend ab. Bei einer Besatzdichte von 600 Kühen reicht die Grünlandfläche nicht aus, um die Futternachfrage zu decken (Abbildung 6-8). Entsprechend steigt der Anteil der Futterimporte von 0 t TM/a im Szenario Starke Extensivierung und der Szenariovariante SE\_450-Milchkühe auf 570 t TM/a in der Szenariovariante SE\_600-Milchkühe an. Dies könnte durch den Anbau auf Ackerflächen ausgeglichen werden, wenn eine ein Teil der Milchkühe durch eine Milchkuhrasse mit einem Futtermix mit deutlichen Anteilen an Ackerfrüchten ausgetauscht würde.

Für die Umweltparameter zeigt sich, dass es durch die Erhöhung der Viehbestände zu nur geringfügigen Änderungen in den beiden Szenario-Varianten kommt (Tabelle 6-11). Am stärksten steigen durch den er-

höhten Milchviehbestand die THG-Emissionen von 1.800 kg/ha über 2.300 kg/ha auf 2.800 kg/ha. Der N-Saldo verschlechtert sich leicht von 12 kg N/ha auf 23 bzw. 31 kg N/ha, wobei aber der Flächenanteil mit einem N-Überschuss > 50 kg/ha konstant bleibt. Eine leichte Änderung ist auch beim C-Saldo zu sehen (Tabelle 6-11).



Tabelle 6-10: Anteil der Feldfrüchte der Szenarien-Variante „MF\_Milchkuh-1,5-GVE“ im Vergleich zum Szenario Marktfrucht und der Szenarien-Varianten „SE\_450-Milchkühe“ und „SE\_600-Milchkühe“ im Vergleich zum Szenario „Starke Extensivierung“ (alle Angaben in Hektar, Mittelwert über fünf Jahre )

| Variable                                 | Marktfrucht     | MF_Milchkuh-1,5-GVE | Starke Extensivierung | SE_450-Milchkühe | SE_600-Milchkühe |
|------------------------------------------|-----------------|---------------------|-----------------------|------------------|------------------|
| Winterweizen                             | 214,20          | 2,00                | 129,60                | 132,00           | 135,00           |
| Sommerweizen                             | 114,80          | 149,40              | 82,20                 | 68,80            | 54,40            |
| Wintergerste                             | 0,00            | 44,60               | 0,00                  | 0,00             | 0,00             |
| Sommergerste                             | 60,00           | 0,00                | 175,20                | 158,20           | 151,00           |
| Triticale                                | 0,00            | 2,00                | 18,00                 | 17,80            | 20,80            |
| Hafer                                    | 0,00            | 0,00                | 0,00                  | 0,00             | 0,00             |
| Roggen                                   | 0,00            | 1,60                | 0,00                  | 0,00             | 0,00             |
| Körnermais mit CCM                       | 0,00            | 0,00                | 42,60                 | 18,40            | 8,80             |
| Silomais                                 | 180,80          | 544,60              | 87,40                 | 141,40           | 163,80           |
| Winterraps                               | 1,00            | 50,00               | 106,00                | 106,60           | 107,60           |
| Kartoffeln                               | 269,80          | 0,00                | 11,80                 | 7,80             | 8,80             |
| Zuckerrüben                              | 0,00            | 12,00               | 0,20                  | 0,40             | 0,40             |
| Ackerbohnen                              | 0,00            | 0,00                | 0,00                  | 0,00             | 0,00             |
| Futtererbsen                             | 0,00            | 0,00                | 0,00                  | 0,00             | 0,00             |
| Feldgras / Grasanbau auf dem Ackerland   | 0,00            | 30,80               | 0,00                  | 0,00             | 0,00             |
| Klee, Klee gras und Klee-Luzerne-Gemisch | 0,00            | 4,20                | 0,00                  | 0,00             | 0,00             |
| Luzerne / Luzernegrass                   | 0,00            | 0,00                | 0,00                  | 0,00             | 0,00             |
| Winterzwischenfrucht                     | 0,00            | 0,00                | 0,00                  | 0,00             | 0,00             |
| Blühstreifen_Blühfläche                  | 9,40            | 8,80                | 34,60                 | 37,60            | 33,60            |
| Brache, Selbstbegrünung ab Herbst        | 0,00            | 0,00                | 12,40                 | 11,00            | 15,80            |
| Heu_Wiese                                | 132,00          | 12,20               | 113,20                | 15,40            | 0,00             |
| Grassilage_Wiese                         | 18,00           | 137,80              | 89,00                 | 135,40           | 178,60           |
| Weide                                    | 0,00            | 0,00                | 97,80                 | 149,20           | 121,40           |
| <b>Gesamtergebnis</b>                    | <b>1.000,00</b> | <b>1.000,00</b>     | <b>1.000,00</b>       | <b>1.000,00</b>  | <b>1.000,00</b>  |

MF\_Milchkuh-1,5-GVE = Erhöhung der Milchkühe von 0,3 GVE auf 1,5 GVE; SE\_450-Milchkühe = Erhöhung der Milchkühe von 0,3 GVE auf 0,45 GVE; SE\_600-Milchkühe = Erhöhung der Milchkühe von 0,3 GVE auf 0,6 GVE.

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle 6-11: Zusammenfassende Ergebnisse der Szenarien-Variante „MF\_Milchkuh-1,5-GVE“ im Vergleich zum Szenario „Marktfrucht“ und der Szenarien-Varianten „SE\_450-Milchkühe“ und „SE\_600-Milchkühe“ im Vergleich zum Szenario „Starke Extensivierung“

| Indikatoren                                        | Einheit  | Marktfrucht | MF_Milchkuh-1,5-GVE | Starke Extensivierung | SE_450-Milchkühe | SE_600-Milchkühe |
|----------------------------------------------------|----------|-------------|---------------------|-----------------------|------------------|------------------|
| <b>Mittelwerte der fünf Umweltindikatoren</b>      | normiert | 0,51        | 0,46                | 0,93                  | 0,88             | 0,83             |
| <b>N-Saldo (Hoftorbilanz)</b>                      | kg N/ha  | 21,50       | 47,10               | 11,50                 | 22,50            | 31,40            |
| <b>C-Saldo (AL)</b>                                | H-Äq/ha  | -332        | -56                 | 19                    | -6               | -13              |
| <b>Biodiversität</b>                               | normiert | 0,17        | 0,18                | 0,45                  | 0,46             | 0,45             |
| <b>THG (Anbau + Tierhaltung)</b>                   | kg/ha    | 2.416       | 7.771               | 1.833                 | 2.333            | 2.840            |
| <b>Flächenanteil mit N-Überschuss &gt; 50kg/ha</b> | %        | 36,30       | 23,40               | 7,90                  | 8,10             | 8                |
| <b>Marktfrüchte (AL+GL)</b>                        | t TM     | 6.657       | 1.564               | 4.244                 | 3.310            | 3.064            |
| <b>Futtermittel Eigenanbau (AL+GL)</b>             | t TM     | 2.924       | 10.333              | 2.437                 | 3.672            | 4.151            |
| <b>Futtermittel Import</b>                         | t TM     | 91          | 827                 | 0                     | 0                | 571              |
| <b>Futter-Eigenanbau (%)</b>                       | %        | 97          | 92,60               | 100                   | 100              | 87,90            |
| <b>Milch+Fleisch (t TM)</b>                        | t TM     | 380         | 1.875               | 229                   | 344              | 458              |
| <b>Fläche total</b>                                | ha       | 1.000       | 1.000               | 1.000                 | 1.000            | 1.000            |
| <b>Fläche AL</b>                                   | ha       | 850         | 850                 | 700                   | 700              | 700              |
| <b>Fläche GL</b>                                   | ha       | 150         | 150                 | 300                   | 300              | 300              |
| <b>Marktfrüchte (AL+GL)</b>                        | ha       | 800         | 252                 | 726                   | 589              | 550              |
| <b>Futtermittel Eigenanbau (AL+GL)</b>             | ha       | 200         | 748                 | 274                   | 411              | 450              |
| <b>Marktfrüchte (AL+GL)</b>                        | t TM/ha  | 6,66        | 1,56                | 4,24                  | 3,31             | 3,06             |
| <b>Futtermittel Eigenanbau (AL+GL)</b>             | t TM/ha  | 2,92        | 10,33               | 2,44                  | 3,67             | 4,15             |
| <b>Milch+Fleisch</b>                               | t TM/ha  | 0,38        | 1,87                | 0,23                  | 0,34             | 0,46             |
| <b>DB total</b>                                    | EUR      | 939.215     | 497.186             | 470.948               | 485.484          | 218.372          |
| <b>DB Marktfrüchte (AL+GL)</b>                     | EUR      | 813.019     | 88.362              | 379.848               | 348.834          | 334.569          |
| <b>DB Milch+Fleisch (AL+GL)</b>                    | EUR      | 126.197     | 408.823             | 91.100                | 136.650          | -116.198         |
| <b>DB total</b>                                    | EUR/ha   | 939         | 497                 | 471                   | 485              | 218              |
| <b>DB Marktfrüchte (AL+GL)</b>                     | EUR/ha   | 1.017       | 351                 | 523                   | 592              | 608              |
| <b>DB Milch+Fleisch (AL+GL)</b>                    | EUR/ha   | 630         | 547                 | 332                   | 333              | -258             |

MF\_Milchkuh-1,5-GVE = Erhöhung der Milchkühe von 0,3 GVE auf 1,5 GVE; SE\_450-Milchkühe = Erhöhung der Milchkühe von 0,3 GVE auf 0,45 GVE; SE\_600-Milchkühe = Erhöhung der Milchkühe von 0,3 GVE auf 0,6 GVE.

Quelle: Eigene Darstellung

## 6.2 Produktionssystem Forstwirtschaft

### 6.2.1 Szenarienentwicklung

Ziel der Szenarienanalyse ist zunächst das Verständnis über Systemzusammenhänge zu erweitern. Verschiedene Waldbaukonzepte führen in ihrer Umsetzung zu einer Veränderung der Waldbestände im Hinblick auf Baumartenzusammensetzung, Altersstruktur und Vorräte. Die Auswirkungen alternativer Waldkonzepte werden erst nach einiger Zeit wirken und Ziele erst nach vielen Jahrzehnten erreicht werden. So müssen Szenarien bei kürzeren Betrachtungsräumen, in denen die Maßnahmen bzw. Unterlassungen bereits starke Auswirkungen haben können, das Ziel aber noch nicht unbedingt flächendeckend erreicht wird, vorsichtig interpretiert werden.

Drei Ausprägungen von forstwirtschaftlichen Produktionssystemen wurden beispielhaft ausgewählt, um typische Herausforderungen der Waldbewirtschaftung in Deutschland darzustellen:

- ▶ Beispiel 1: Waldumbau von Fichte zu Laubholz in den Mittelgebirgen
- ▶ Beispiel 2: Waldumbau Kiefer zu Laubholz in Nordost-Deutschland
- ▶ Beispiel 3: Ausweitung von Naturschutzvorgaben in Buchenwäldern in Süddeutschland

Beispiel 1 nimmt Bezug auf den von vielen Landesforstverwaltungen angestrebten Waldumbau von Fichte zu mehr Laubholz. Diese folgt den Prinzipien einer Waldnaturschutzstrategie, die eine am natürlichen Standortswald orientierte Baumartenwahl verfolgt. Im Fokus sind in diesem Beispiel deshalb Staatswaldflächen, deren natürliche Waldgesellschaft buchendominiert ist, auf denen aber Fichtenbestände stocken. Das Beispiel nimmt an, dass diese Flächen in Laubholzbestände überführt werden, und bewertet Auswirkungen auf die verschiedenen Umweltindikatoren sowie die Produktion.

Beispiel 2 hat eine ähnliche Zielsetzung wie Beispiel 1, fokussiert allerdings auf eine andere Region. Auch im Nordosten Deutschlands wird ein Waldumbau zu mehr Laubholz angestrebt. Ausgangslage sind hier Kiefernbestände auf potenziellen Buchenstandorten. Das Beispiel nimmt an, dass diese Flächen in Laubholzbestände überführt werden, und bewertet Auswirkungen auf die verschiedenen Umweltindikatoren sowie die Produktion.

Beispiel 3 hat bereits bestehende Buchenwälder in Süddeutschland als Ausgangspunkt. In Szenarien soll hier untersucht werden, welche Auswirkungen Naturschutzmaßnahmen auf die Ressourcenleistung und bestimmte Umweltindikatoren haben. So sollen alte Buchenwälder aus der Nutzung genommen werden. Zudem wird eine Extensivierung der Bewirtschaftung simuliert, die zu mehr Totholz und höheren Vorräten führen soll, um Naturschutzbelange besser zu berücksichtigen.

Alle beschriebenen Maßnahmen wurden im Modell mit dem Start des Modelllaufs umgesetzt, d.h. es wurden keine Übergangsszenarien definiert. Das hat zwar den Nachteil, dass bestimmte Änderungen weniger realistisch werden, da in der Praxis die Maßnahmen nicht mit einer solchen Effektivität umgesetzt werden könnten. Andererseits würden Übergangsszenarien zahlreiche notwendige Annahmen über den Zeitverlauf und die Priorisierung von Flächen und Beständen nach sich ziehen, zu denen oft empirische Daten fehlen.

Tabelle 6-12 beschreibt die genaue Spezifizierung der drei Beispiele. Alle Beispiele umfassen mehrere hundert-, bzw. zehntausend Hektar Staatswald. Zur Initialisierung werden die Daten der Bundeswaldinventur (BWI) entsprechend gefiltert, um die Flächen mit einer für die Produktionssysteme typischer Flächenausstattung zu generieren. Die Verteilung des Vorrats über die Durchmesserklassen und die Baumartenanteile des Vorrats der ausgewählten Bestände sind in Abbildung 6-9 dargestellt. Der Vorrat im Beispiel 1 (Fichtenumbau) befindet sich zu mehr als 50% in den Durchmesserklassen 30-40 und 40-50 cm. Etwa 75% des Vorrats wird von Bäumen gestellt, die einen Durchmesser von 50 cm oder kleiner haben. Der Anteil der

Bäume über 80 cm beträgt deutlich weniger als 5%. Im Kiefernbeispiel befindet sich 75% des Vorrats in Durchmesserklassen kleiner als 40 cm. Der Anteil der Bäume über 80 cm ist im Grunde nicht existent. Im Beispiel 3 (Buchennaturschutz) verteilt sich der Vorrat breiter über die Durchmesserklassen. Etwa 60% befindet sich in den Durchmesserklassen von 30 bis 60 cm. Der Anteil der Bäume über 80 cm beträgt in etwa 4%. Für die Bewertung der Ressourcenleistung in der Forstwirtschaft wurden für die drei Beispiele verschiedene Szenarien simuliert.

Ein **Business as Usual (BaU)** oder Referenzszenario stellt die Fortschreibung von Trends dar, als eine Referenz, gegen die Alternativen verglichen werden können. Für die Konstruktion des BaU-Szenarios kann auf verschiedene Informationsquellen zurückgegriffen werden. Zum einen dienen Waldbauprogramme dazu, die groben Leitlinien der Landesforstverwaltungen zu ermitteln, mit denen die Waldwirtschaft in der Praxis umgesetzt werden soll. Im Staatswald ist ihre Anwendung durch Erlasse vorgeschrieben. Allerdings fehlen diesen Programmen oft eindeutige Zielwerte, die sich für eine Modellierung eignen würden. Deshalb wird für die Entwicklung von Szenariovarianten auf zusätzliche Informationsquellen zurückgegriffen. Eine Quelle stellt das WEHAM Modell dar, das vom Thünen-Institut entwickelt und verwendet wird, um die Waldentwicklung und das Holzaufkommen in Deutschland ausgehend von den BWI-Daten zu projizieren. Das sogenannte „WEHAM Basisszenario“ beschreibt die Entwicklung des Waldes unter der Annahme, dass sich Trends der Vergangenheit fortsetzen. Die Eingangsdaten des Szenarios sind frei verfügbar<sup>15</sup>. Annahmen zu Zieldurchmessern, Durchforstungsintervallen und Eingriffsstärken aus dem Basisszenario gingen in die Entwicklung des BaU-Szenarios ein. Diese Informationen sind in Tabelle 6-14 zusammengestellt.

Basierend auf dem BaU-Szenario können verschiedene Alternativen entwickelt werden, indem Parameter verändert werden, wie z.B. eine Änderung der Umtriebszeit bzw. der Zieldurchmesser, Waldumbau hin zu einer veränderten Baumartenzusammensetzung sowie Anteil von Flächen, die aus der Nutzung genommen werden.

Neben dem BaU-Szenario wurde so ein **Extensiv-Szenario** definiert (**Extensiv**), das generell von einer Verringerung der Bewirtschaftungsintensität ausgeht. Neben einer Verringerung der Durchforstungsstärke und –frequenz wurden die Zieldurchmesser heraufgesetzt (Vergleich Tabelle 6-14 und Tabelle 6-15).

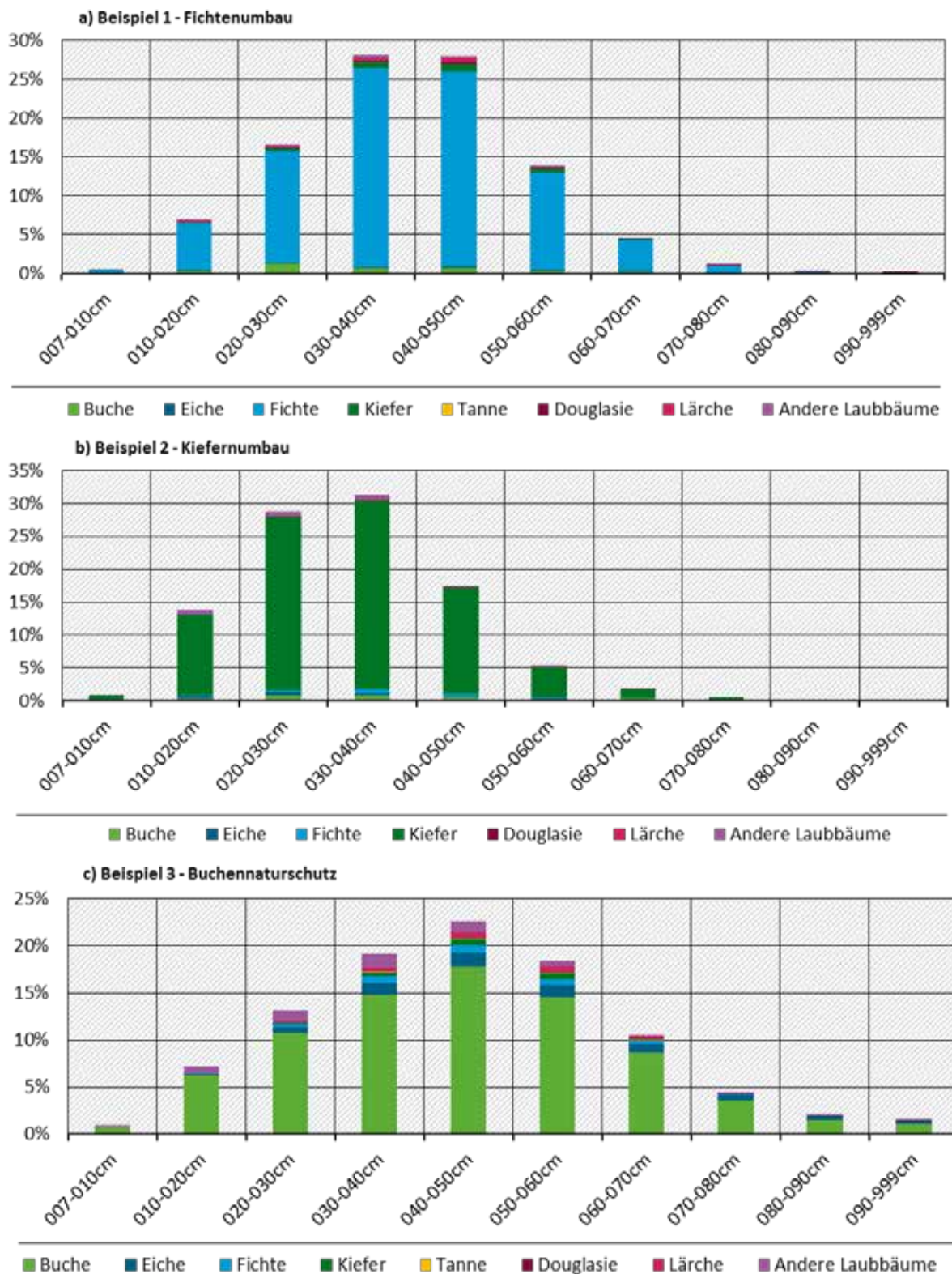
Beispiel 1 und 2 sehen einen Waldumbau von Nadelholz zu Laubholz vor. Um diesen zu erreichen wurden in einer **Waldumbauszenario (WaU)** Ernte und Pflegemaßnahmen umgesetzt um den Baumartenwechsel herbeizuführen. Diese Maßnahmen wirken auf den bestehenden Bestand und nachwachsende Bäume. Sie umfassen die altersabhängige flächige Nutzung des Altbestandes aus Fichte oder Kiefer und eine gezielte Förderung von Laubbaumarten durch Jungwuchspflege.

Beispiel 3 sieht vor, bestimmte Waldflächen unter Schutz zu stellen, um die Naturschutzbelange stärker zu berücksichtigen. Die zu schützenden Flächen werden nicht zufällig sondern nach bestimmten Kriterien gewählt. In einem **Schutzflächenszenario (Schutz)** setzen Durchforstungen und Erntemaßnahmen in Teilflächen aus, die mit Buchenbeständen bestockt sind, die älter als 160 Jahre alt sind.

Die vier Szenarien wurden verschiedentlich kombiniert um Effekte der Maßnahmen zu bestimmen. Tabelle 6-13 stellt die berücksichtigten Kombinationen von Szenarien für die drei Beispiele dar.

<sup>15</sup> Siehe <https://bwi.info/>

Abbildung 6-9: Relative Durchmesser- und Verteilung des Holzvorrats in den drei Beispielen



Quelle: Eigene Darstellung



Tabelle 6-12: Spezifizierung der Beispiele der Waldbewirtschaftung und Beschreibung der jeweiligen Szenarien

| Name                                    | Beispiel 1 - Fichtenumbau                                                                                                                                                                                                              | Beispiel 2 - Kiefernumbau                                                                                                                                                                                                                  | Beispiel 3 - Buchennatur-schutz                                                                                                                                                                                                               |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Beschreibung</b>                     | Umbau von Fichte zu Laubholz in den Mittelgebirgen                                                                                                                                                                                     | Waldumbau Kiefer zu Laubholz in Nordost-Deutschland                                                                                                                                                                                        | Ausweitung von Naturschutz in Buchenwäldern in Süddeutschland                                                                                                                                                                                 |
| <b>Flächenauswahl</b>                   | Natürliche Waldgesellschaft Buchendominiert, Fichtenreinbestände und Fichtenmischbestände mit Laub- oder Nadelholz im Staatswald in Niedersachsen, Hessen, Thüringen, außerhalb bestehender Schutzgebiete oder Nutzungseinschränkungen | Natürliche Waldgesellschaft Buchendominiert, Kiefernreinbestände und Kiefern-mischbestände mit Laub- oder Nadelholz im Staatswald in Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, außerhalb bestehender Schutzgebiete oder Nutzungseinschränkungen | Natürliche Waldgesellschaft Buchendominiert, Buchenreinbestände und Buchenmischbestände mit Laub- und Nadelholz im Staatswald in Baden-Württemberg, Bayern, Rheinland-Pfalz, außerhalb bestehender Schutzgebiete oder Nutzungseinschränkungen |
| <b>Gesamtwaldfläche in ha</b>           | 334.200                                                                                                                                                                                                                                | 93.400                                                                                                                                                                                                                                     | 492.600                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Business as usual Szenario (BaU)</b> | Business as Usual (Fort-schreibung momentaner Praxis, angelehnt an WEHAM Basisszenario), kein Waldumbau                                                                                                                                | Business as Usual (Fort-schreibung momentaner Praxis, angelehnt an WEHAM Basisszenario), kein Waldumbau                                                                                                                                    | Business as Usual (Fort-schreibung momentaner Praxis, angelehnt an WEHAM Basisszenario), kein Waldumbau                                                                                                                                       |
| <b>Extensiv-Szenario (Extensiv)</b>     | Extensive Nutzung, erhöhte Zieldurchmesser, verringerte Durchforstungsstärke und -frequenz                                                                                                                                             | Extensive Nutzung, erhöhte Zieldurchmesser, verringerte Durchforstungsstärke und -frequenz                                                                                                                                                 | Extensive Nutzung, erhöhte Zieldurchmesser, verringerte Durchforstungsstärke und -frequenz                                                                                                                                                    |
| <b>Waldumbauszenario (WaU)</b>          | Erhöhter Einschlag von Fichte, Förderung von Laubholz im Nachwuchs                                                                                                                                                                     | Erhöhter Einschlag von Kiefer, Förderung von Laubholz im Nachwuchs                                                                                                                                                                         | keine                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Schutzflächenszenario (Schutz)</b>   | keine                                                                                                                                                                                                                                  | keine                                                                                                                                                                                                                                      | Buchenrein- und Buchenmischbestände Alter >160 Jahre; entspricht einer Fläche von 45,500 ha, ca. 9%                                                                                                                                           |

Quelle: Eigene Darstellung



Tabelle 6-13: Kombinationen von Szenarien in den Beispielen der forstwirtschaftlichen Produktionssysteme

|                                                              | Beispiel 1 –<br>Fichtenumbau | Beispiel 2 –<br>Kiefernumbau | Beispiel 3 –<br>Buchennaturschutz |
|--------------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| <b>BaU-Szenario (BaU)</b>                                    | X                            | X                            | X                                 |
| <b>BaU-Szenario mit Waldumbau (BaU WaU)</b>                  | X                            | X                            |                                   |
| <b>BaU-Szenario mit Schutzflächen (BaU Schutz)</b>           |                              |                              | X                                 |
| <b>Extensiv-Szenario (Extensiv)</b>                          | X                            | X                            | X                                 |
| <b>Extensiv-Szenario mit Waldumbau (Extensiv WaU)</b>        | X                            | X                            |                                   |
| <b>Extensiv-Szenario mit Schutzflächen (Extensiv Schutz)</b> |                              |                              | X                                 |

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle 6-14: Parameter des BaU-Szenarios Waldbewirtschaftung nach Bestandestyp (Hauptbaumart und Mischungsform, d.h. Reinbestände (R) oder Mischbestände mit Nadelbäumen (MN) oder Laubbäumen (ML)) und Bestandesphase (nach Baumalter: Jungbestandspflege (JP), Durchforstung (DZ), Vorratspflege (VP), Nutzung (NZ) und Dauerwald (DW))

| Bestandestyp und -phase | Zieldurchmesser [cm] | Erntestärke | Minstdurchmesser Durchforstung [cm] | Maximaldurchmesser Durchforstung [cm] | Durchforstungsstärke |
|-------------------------|----------------------|-------------|-------------------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| BU-R_JP                 | 60,00                | 1,00        | 5,00                                | 13,00                                 | 0,10                 |
| BU-R_DF                 | 60,00                | 1,00        | 14,00                               | 33,50                                 | 0,40                 |
| BU-R_VP                 | 60,00                | 1,00        | 34,00                               | 59,00                                 | 0,25                 |
| BU-R_NZ                 | 60,00                | 1,00        | 0,00                                | 60,00                                 | 1,00                 |
| BU-R_DW                 | 0,00                 | 0,00        | 0,00                                | 0,00                                  | 0,00                 |
| BU-MN_JP                | 60,00                | 1,00        | 5,00                                | 13,00                                 | 0,10                 |
| BU-MN_DF                | 60,00                | 1,00        | 14,00                               | 33,50                                 | 0,40                 |
| BU-MN_VP                | 60,00                | 1,00        | 34,00                               | 59,00                                 | 0,25                 |
| BU-MN_NZ                | 60,00                | 1,00        | 0,00                                | 60,00                                 | 1,00                 |
| BU-MN_DW                | 0,00                 | 0,00        | 0,00                                | 0,00                                  | 0,00                 |
| BU-ML_JP                | 60,00                | 1,00        | 5,00                                | 13,00                                 | 0,10                 |
| BU-ML_DF                | 60,00                | 1,00        | 14,00                               | 33,50                                 | 0,40                 |
| BU-ML_VP                | 60,00                | 1,00        | 34,00                               | 59,00                                 | 0,25                 |
| BU-ML_NZ                | 60,00                | 1,00        | 0,00                                | 60,00                                 | 1,00                 |
| BU-ML_DW                | 0,00                 | 0,00        | 0,00                                | 0,00                                  | 0,00                 |
| FI-R_JP                 | 45,00                | 1,00        | 7,00                                | 12,00                                 | 0,40                 |
| FI-R_DF                 | 45,00                | 1,00        | 13,00                               | 34,00                                 | 0,30                 |
| FI-R_VP                 | 45,00                | 1,00        | 35,00                               | 44,00                                 | 0,25                 |
| FI-R_NZ                 | 45,00                | 1,00        | 0,00                                | 45,00                                 | 1,00                 |
| FI-R_DW                 | 0,00                 | 0,00        | 0,00                                | 0,00                                  | 0,00                 |
| FI-MN_JP                | 45,00                | 1,00        | 7,00                                | 12,00                                 | 0,40                 |
| FI-MN_DF                | 45,00                | 1,00        | 13,00                               | 34,00                                 | 0,30                 |
| FI-MN_VP                | 45,00                | 1,00        | 35,00                               | 44,00                                 | 0,25                 |
| FI-MN_NZ                | 45,00                | 1,00        | 0,00                                | 45,00                                 | 1,00                 |
| FI-MN_DW                | 0,00                 | 0,00        | 0,00                                | 0,00                                  | 0,00                 |
| FI-ML_JP                | 45,00                | 1,00        | 7,00                                | 12,00                                 | 0,50                 |
| FI-ML_DF                | 45,00                | 1,00        | 13,00                               | 34,00                                 | 0,30                 |
| FI-ML_VP                | 45,00                | 1,00        | 35,00                               | 44,00                                 | 0,25                 |
| FI-ML_NZ                | 45,00                | 1,00        | 0,00                                | 45,00                                 | 1,00                 |
| FI-ML_DW                | 0,00                 | 0,00        | 0,00                                | 0,00                                  | 0,00                 |

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle 6-15: Parameter des Extensiv-Szenarios Waldbewirtschaftung nach Bestandestyp (Hauptbaumart und Mischungsform, d.h. Reinbestände (R) oder Mischbestände mit Nadelbäumen (MN) oder Laubbäumen (ML)) und Bestandesphase (nach Baumalter: Jungbestandspflege (JP), Durchforstung (DZ), Vorratspflege (VP), Nutzung(NZ) und Dauerwald (DW))

| Bestandestyp und -phase | Zieldurchmesser [cm] | Erntestärke | Minstdurchmesser Durchforstung [cm] | Maximaldurchmesser Durchforstung [cm] | Durchforstungsstärke |
|-------------------------|----------------------|-------------|-------------------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| BU-R_JP                 | 70,00                | 0,50        | 7,00                                | 15,00                                 | 0,00                 |
| BU-R_DF                 | 70,00                | 0,20        | 15,00                               | 35,00                                 | 0,12                 |
| BU-R_VP                 | 70,00                | 0,20        | 35,00                               | 70,00                                 | 0,00                 |
| BU-R_NZ                 | 70,00                | 0,85        | 0,00                                | 0,00                                  | 0,00                 |
| BU-R_DW                 | 70,00                | 0,85        | 15,00                               | 70,00                                 | 0,12                 |
| BU-MN_JP                | 65,00                | 0,60        | 4,00                                | 15,00                                 | 0,15                 |
| BU-MN_DF                | 65,00                | 0,30        | 15,00                               | 35,00                                 | 0,20                 |
| BU-MN_VP                | 65,00                | 0,30        | 35,00                               | 70,00                                 | 0,20                 |
| BU-MN_NZ                | 65,00                | 0,70        | 0,00                                | 0,00                                  | 0,00                 |
| BU-MN_DW                | 65,00                | 0,85        | 7,00                                | 65,00                                 | 0,12                 |
| BU-ML_JP                | 70,00                | 0,40        | 0,00                                | 0,00                                  | 0,00                 |
| BU-ML_DF                | 70,00                | 0,20        | 15,00                               | 35,00                                 | 0,15                 |
| BU-ML_VP                | 70,00                | 0,20        | 35,00                               | 70,00                                 | 0,05                 |
| BU-ML_NZ                | 70,00                | 0,70        | 0,00                                | 0,00                                  | 0,00                 |
| BU-ML_DW                | 75,00                | 0,70        | 15,00                               | 70,00                                 | 0,12                 |
| FI-R_JP                 | 50,00                | 0,95        | 7,00                                | 15,00                                 | 0,15                 |
| FI-R_DF                 | 50,00                | 0,95        | 15,00                               | 30,00                                 | 0,35                 |
| FI-R_VP                 | 50,00                | 0,95        | 30,00                               | 50,00                                 | 0,25                 |
| FI-R_NZ                 | 50,00                | 0,95        | 0,00                                | 0,00                                  | 0,00                 |
| FI-R_DW                 | 50,00                | 0,90        | 7,00                                | 50,00                                 | 0,20                 |
| FI-MN_JP                | 50,00                | 0,95        | 7,00                                | 15,00                                 | 0,15                 |
| FI-MN_DF                | 50,00                | 0,95        | 15,00                               | 30,00                                 | 0,25                 |
| FI-MN_VP                | 50,00                | 0,95        | 30,00                               | 50,00                                 | 0,25                 |
| FI-MN_NZ                | 50,00                | 0,95        | 0,00                                | 0,00                                  | 0,00                 |
| FI-MN_DW                | 50,00                | 0,90        | 7,00                                | 50,00                                 | 0,20                 |
| FI-ML_JP                | 60,00                | 0,80        | 7,00                                | 15,00                                 | 0,20                 |
| FI-ML_DF                | 60,00                | 0,80        | 15,00                               | 30,00                                 | 0,20                 |
| FI-ML_VP                | 60,00                | 0,80        | 30,00                               | 50,00                                 | 0,20                 |
| FI-ML_NZ                | 60,00                | 0,80        | 0,00                                | 0,00                                  | 0,00                 |
| FI-ML_DW                | 60,00                | 0,80        | 7,00                                | 50,00                                 | 0,15                 |

Quelle: Eigene Darstellung

## 6.2.2 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse für einzelne Indikatoren genauer betrachtet und erläutert. Tabelle 6-16 gibt einen Überblick über die berechneten Modellergebnisse in den drei Beispielen und jeweils vier Szenarien.

Tabelle 6-16: Modellergebnisse für die wichtigsten Indikatoren, Mittelwerte für die Periode 2012-2112

| Szenario                                                   | Beispiel 1 - Fichtenumbau |         |          |              | Beispiel 2 - Kiefernumbau |         |          |              | Beispiel 3 - Buchennaturschutz |            |          |                 |
|------------------------------------------------------------|---------------------------|---------|----------|--------------|---------------------------|---------|----------|--------------|--------------------------------|------------|----------|-----------------|
|                                                            | BaU                       | BaU WaU | Extensiv | Extensiv WaU | BaU                       | BaU WaU | Extensiv | Extensiv WaU | BaU                            | BaU Schutz | Extensiv | Extensiv Schutz |
| <b>Deckungsbeitrag EUR/ha/a</b>                            | 930,5                     | 786,2   | 996,7    | 820,2        | 463,7                     | 360,7   | 436,2    | 396,5        | 978,0                          | 809,2      | 952,9    | 740,8           |
| <b>Ernteaufkommen m<sup>3</sup>/ha/a</b>                   | 10,2                      | 8,9     | 10,6     | 9,1          | 5,7                       | 4,6     | 5,1      | 4,8          | 10,3                           | 8,6        | 9,6      | 7,5             |
| <b>Vorrat m<sup>3</sup>/ha</b>                             | 409,4                     | 534,0   | 512,7    | 557,7        | 386,1                     | 426,8   | 520,6    | 465,1        | 431,7                          | 493,5      | 647,9    | 683,7           |
| <b>Zuwachs m<sup>3</sup>/ha/a</b>                          | 9,8                       | 9,7     | 10,6     | 10,4         | 9,1                       | 8,7     | 10,1     | 9,4          | 7,6                            | 7,7        | 9,1      | 9,2             |
| <b>Totholz m<sup>3</sup>/ha</b>                            | 15,0                      | 20,1    | 19,1     | 22,0         | 16,2                      | 17,0    | 26,6     | 20,4         | 19,9                           | 15,3       | 25,5     | 24,5            |
| <b>Vorrat BHD &gt;80cm m<sup>3</sup>/ha</b>                | 0,9                       | 24,9    | 0,9      | 26,4         | 0,00                      | 1,48    | 0,00     | 1,55         | 0,11                           | 41,43      | 4,19     | 45,37           |
| <b>Boden t C/ha</b>                                        | 7,7                       | 10,3    | 10,4     | 9,5          | 4,5                       | 4,8     | 8,3      | 5,4          | 8,9                            | 7,7        | 11,9     | 11,8            |
| <b>CO<sub>2</sub>-Senke Biomasse t CO<sub>2</sub>/ha/a</b> | 1,9                       | -2,3    | 0,8      | -4,3         | 1,2                       | -1,4    | -1,6     | -2,9         | -1,8                           | -3,0       | -8,1     | -6,2            |

Quelle: Eigene Darstellung

### Holzvorrat, Zuwachs und Ernteaufkommen

Abbildung 6-10 beschreibt die Entwicklung des Vorrats über einen Zeitraum von 100 Jahren. Die Entwicklung des Vorrats unterliegt einer gewissen zeitlichen Dynamik. Unter Annahmen des BaU-Szenarios sinken die Vorräte in den Beispielen 1 (Fichtenumbau) und 2 (Kiefernumbau) über den Simulationszeitraum ab. Auch eine extensivere Nutzung kann diesen Trend in Beispiel 1 nicht aufhalten. Das macht deutlich, dass u.a. die Altersklassenverteilung, bzw. Durchmesserverteilung der betrachteten Fichtenbestände zu dieser Dynamik beiträgt. Auch die Waldumbauszenarien führen zunächst zu einem Abbau der Vorräte durch die hohe Intensität des Einschlags in der Fichte (Beispiel 1) und bei der Kiefer (Beispiel 2). Nach wenigen Jahrzehnten liegen in beiden Waldumbauszenarien die Vorräte allerdings über den Szenarien ohne Waldumbau.

Der Vergleich von Szenarien BaU und BaU Schutz in Beispiel 3 zeigt, dass Unterschutzstellung von ca. 9% der Fläche mit dem ältesten Baumbestand die Gesamtvorräte durchaus noch erhöhen kann. Ein größeres Potenzial der Vorratsanhebung liegt aber in der Extensivierung der Buchenwirtschaft auf größerer Fläche.

So ließen sich die Vorräte süddeutscher Buchenwälder innerhalb von 100 Jahren mehr als verdoppeln (Abbildung 6-10).

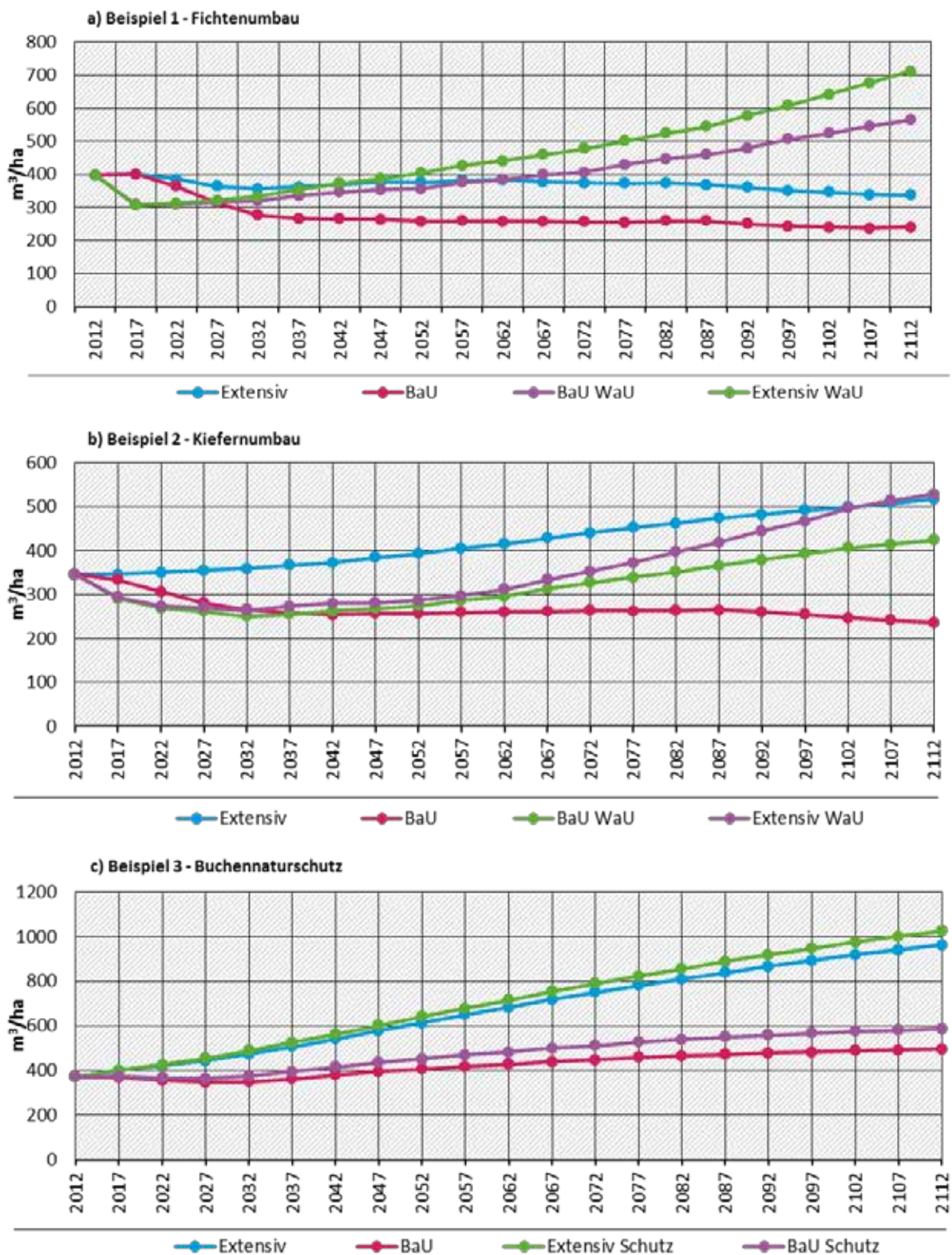
Abbildung 6-11 stellt den mittleren jährlichen Zuwachs in den drei Beispielen und ihren Szenarien über den Zeitraum von 100 Jahren dar. Die Darstellung der Zuwachsbilanz beinhaltet auch die erzielbaren Erntemengen (Holzaufkommen), die aufgetretene Mortalität von Bäumen und resultierende Vorratsänderungen. Das Holzaufkommen umfasst das Derbholz, das nach den Bewirtschaftungsregeln in den Szenarien geerntet werden kann. Es ist unabhängig von der Holznachfrage, die bei dieser Betrachtung keine Rolle spielt, sondern allein die Konsequenz aus Bewirtschaftungsregeln und Waldstruktur.

Im Szenario BaU mit Waldumbau wird der geringste mittlere Zuwachs erreicht (unter 8 m<sup>3</sup>/ha/Jahr). Alle anderen Szenarien liegen über 8 m<sup>3</sup>/ha/Jahr. Die Mortalität unterscheidet sich kaum in den Szenarien dieses Beispiels. Allerdings gibt es Unterschiede im Ernteaufkommen. Die Extensiv-Szenarien erreichen etwa 25% geringere mittlere jährliche Erntemengen als die BaU-Szenarien. Im Beispiel des Kiefernumbaus erreicht das Szenario BaU ohne Waldumbau den geringsten mittlere Zuwachs (etwas über 6 m<sup>3</sup>/ha/Jahr). Das Extensiv-Szenario liegt bei 8 m<sup>3</sup>/ha/Jahr. Es gibt hier die stärksten Unterschiede im Ernteaufkommen. Das Extensiv-Szenario ohne Waldumbau erreicht nur die Hälfte der mittleren jährlichen Erntemengen im Vergleich zum BaU-Szenario. Auch im Beispiel des Buchennaturschutzes liegen die BaU-Szenarien mit weniger als 10 m<sup>3</sup>/ha/Jahr deutlich unter den Extensiv-Szenarien (über 11 m<sup>3</sup>/ha/Jahr). Die Ernteaufkommen in den Extensiv-Szenarien liegen etwa 30% niedriger im Vergleich zu den BaU-Szenarien.

So wird deutlich, dass es Effekte durch den Waldumbau auf den Zuwachs gibt. Im Fall der Fichte verringert sich dieser, da die eingeführten Buchen eine geringere Produktivität haben. Im Fall des Kiefernumbaus zeigt sich, dass die Buchen über den gesamten Zeitraum im Mittel stärker wachsen als die ersetzten Kiefern. Eine Extensivierung hat auf lange Sicht keine Einbußen bzgl. der Produktivität der Bestände zur Folge. Allerdings gibt es eine deutliche Verschiebung zwischen dem Waldspeicher (Vorratsänderung) und den möglichen Erntemengen. Da durch Waldumbau die Nadelholzbestände in Buche überführt werden, die später geerntet werden (mutmaßlich nach der Simulationszeit von 100 Jahren) verringert sich die potenzielle Erntemenge. Der Waldumbau führt aber generell zu einer erhöhten Nutzung des Nadelholzes zu Beginn der Simulation. Es hängt dann von der Baumarten- und Altersklassenzusammensetzung des Waldes ab, inwieweit sich diese Maßnahmen ausgleichen. Im Fichten- wie auch im Kieferbeispiel bleibt die Erntemenge im Szenario Waldumbau weit hinter der BaU-Entwicklung zurück. Das gilt vor allem für Stammholz (nicht dargestellt). Während das geförderte Laubholz deutlich langsamer wächst und erst spät in ein Erntestadium für Stammholz kommt, sind die Industrieholzerntemengen weniger stark verringert. Es kann erwartet werden, dass nach dem Ende der Simulation der Anteil von Stammholz wieder steigt. Hier wird die zeitliche Dimension der Bewertung deutlich, die für forstwirtschaftliche Produktionssysteme besonders wichtig ist und für die richtige Interpretation deutlich gemacht werden muss.

Auch die Extensivierung und Unterschutzstellung von Buchenwäldern führt insgesamt zunächst zu einer starken Abnahme der Erntemengen. Während zusätzliche Schutzgebiete zu einer tatsächlichen Verringerung führen, bewirkt die Extensivierung stattdessen eine zeitliche Verschiebung der Ernte. Durch eine Verringerung der Durchforstungsintensität verbleiben mehr Bäume im Wald und es können später mehr Bäume und stärkere Bäume geerntet werden. Das wird auch deutlich durch eine klare Verschiebung zwischen den Sortierungsklassen: Extensivierung erhöht langfristig den Anteil an qualitativem Stammholz. Dies hat Konsequenzen für die erzielbaren Deckungsbeiträge aus der Ernte (siehe Tabelle 6-16).

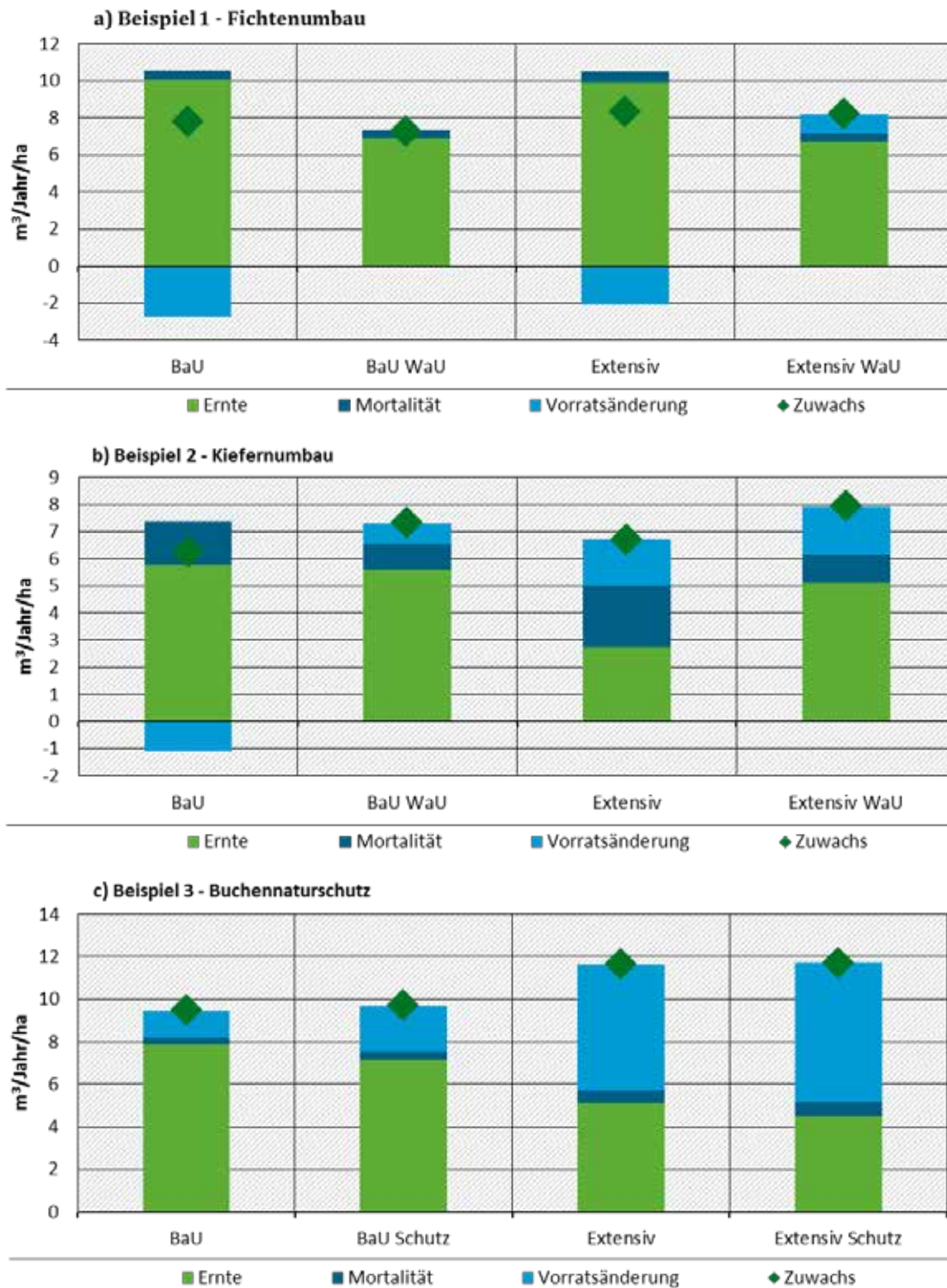
Abbildung 6-10: Entwicklung des mittleren Holzvorrats in den Beispiel für verschiedene Szenarien in  $\text{m}^3/\text{ha}$





Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 6-11: Mittlere jährliche Zuwachsbilanz für jedes Beispiel in den verschiedenen Szenarien (2012-2112) in  $\text{m}^3/\text{ha}/\text{Jahr}$



---

Quelle: Eigene Darstellung

---

## Totholzvorrat

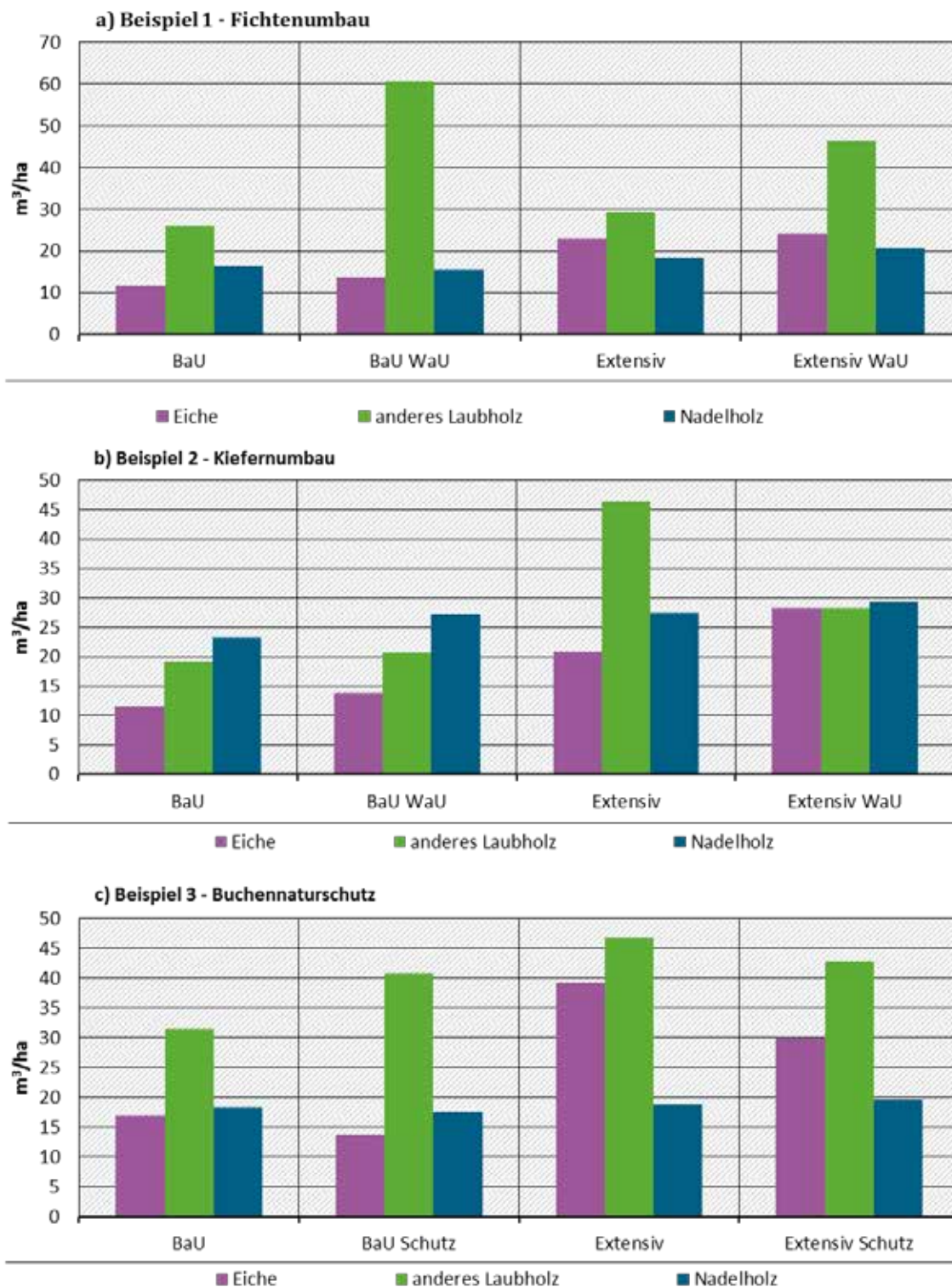
Die untersuchten Managementoptionen haben deutliche Effekte auf die mittleren Totholzvorräte in den Wäldern (Abbildung 6-12). So führt eine Extensivierung in allen Beispielen zu mehr Totholz im Wald. Im Beispiel des Fichtenumbaus erhöht sich am stärksten der Totholzvorrat von Eiche, die in diesem Beispiel aber nur sehr geringe Anteile an der Baumartenzusammensetzung hat. Durch Extensivierung im Buchennaturschutzbeispiel erhöhen sich die Totholzvorräte bei der Eiche besonders stark. Im Mittel liegen sie im Extensiv-Szenario ( $39 \text{ m}^2/\text{ha}$ ) um mehr als das Zweifache über denen des BaU-Szenarios ( $17 \text{ m}^2/\text{ha}$ ). Auch anderes Laubholz, das vor allem aus Buche besteht, erhöht sich. Dieses profitiert auch im Schutz-Szenario wenn alte Buchenbestände, etwa 9% der Fläche, aus der Nutzung genommen werden.

Waldumbau von Fichte bzw. Kiefer zu mehr Laubholz verringert den Totholzvorrat im Nadelholz im Vergleich zum BaU-Szenario bzw. erhöht ihn nicht wesentlich. Das hat mit den relativ starken Eingriffen ins Nadelholz während des Umbaus zu tun.

## Kohlenstoffsенке und Biomassekohlenstoff

Aus der Entwicklung des Bestandesvolumens, bzw. der Waldbiomasse bestehend aus Stamm, Wurzeln, Ästen und Blättern, lässt sich die Änderung des Biomassekohlenstoffvorrats ermitteln und dieser wiederum in die Senkenleistung bzw. Quellwirkung des Waldes übertragen. Tabelle 6-17 stellt die Nettobilanz für die drei Beispielen und die verschiedenen Szenarien für zwei unterschiedliche Zeiträume (40 Jahre und 100 Jahre) zusammen. Durch die abnehmenden Vorräte in den jeweiligen BaU-Szenarien zeigen diese auch positive  $\text{CO}_2$ -Bilanzen, d.h. die Wälder stellen im Mittel eine Quelle von  $\text{CO}_2$  dar. Auch bei der Senkenleistung ist die hohe Sensitivität unterschiedlicher Zeithorizonte augenscheinlich. Auf den Zeithorizont von 2012-2052 betrachtet stellen die Waldumbauszenarien durch den starken Einschlag für die Einleitung des Umbaus noch eine Netto-Quelle dar. Das gilt sowohl für das Fichten- wie auch das Kiefernbeispiel. Über den Simulationszeitraum der 100 Jahre wird die Waldbiomasse dagegen zur Senke, wenn der Nachwuchs der Buchen die Holzvorräte erhöht und vermehrt  $\text{CO}_2$  speichert. Bei sämtlichen Extensiv-Szenarien sind die Nettoemissionen geringer oder die Festlegungen höher als im vergleichbaren BaU-Szenario. Besonders deutliche Effekte durch die Extensivierung zeigen sich im Beispiel 3, die durch die zusätzliche Unterschutzstellung von alten Buchenwäldern sogar noch mehr gesteigert werden kann (Tabelle 6-17). Übersichtsweise kann festgestellt werden, dass etwa 10% Schutzfläche zu einer Erhöhung der Senke um etwa  $1 \text{ t CO}_2$  pro ha und Jahr führt. Natürlich hängt dieser Effekt sehr stark von den Ausgangsbedingungen ab, und stellt ein Mittel über 100 Jahre dar.

Abbildung 6-12: Mittlere Totholzvorräte für jedes Beispiel in den verschiedenen Szenarien für den Zeitraum 2012-2112 in m<sup>3</sup>/ha



Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle 6-17: Jährliche mittlere Emissionen (positive Werte) und Festlegungen (negative Werte) von CO<sub>2</sub> in lebender Biomasse für jedes Beispiel in den verschiedenen Szenarien in t CO<sub>2</sub>/Jahr/ha

| Szenario                              | Szenario        | Mittel 2012-2052 | Mittel 2012-2112 |
|---------------------------------------|-----------------|------------------|------------------|
| <b>Beispiel 1 - Fichtenumbau</b>      | BaU             | 4,4              | 1,9              |
|                                       | BaU WaU         | 1,0              | -2,3             |
|                                       | Extensiv        | 0,9              | 0,8              |
|                                       | Extensiv WaU    | -0,7             | -4,3             |
| <b>Beispiel 2 - Kiefernumbau</b>      | BaU             | 2,7              | 1,2              |
|                                       | BaU WaU         | 1,6              | -1,4             |
|                                       | Extensiv        | -1,0             | -1,6             |
|                                       | Extensiv WaU    | 1,1              | -2,9             |
| <b>Beispiel 3 - Buchennaturschutz</b> | BaU             | -1,4             | -1,8             |
|                                       | BaU Schutz      | -3,0             | -3,0             |
|                                       | Extensiv        | -8,7             | -8,1             |
|                                       | Extensiv Schutz | -9,6             | -8,9             |

Quelle: Eigene Darstellung

## Bodenkohlenstoff

Absterbende Biomasse und eingeschlagene, aber nicht entfernte Bäume, sowie Ernterückstände dienen im Modell dem Bodenkohlenstoffmodul als Zufuhr. In Abhängigkeit von chemischer Zusammensetzung sowie Klimaparameter des Standorts berechnet dieses Modul die Abbauraten des akkumulierten Kohlenstoffs im Boden. Tabelle 6-18 beschreibt die relativen Änderungen der Bodenkohlenstoffvorräte in den Szenarien. Dabei kann festgestellt werden, dass Waldumbau und Extensivierung in unterschiedlichen Wäldern unterschiedlich wirken. Während im Fichtenbeispiel die höheren Bodenkohlenstoffvorräte durch Waldumbau erreicht werden, bewirkt die Extensivierung in Kiefernwäldern höhere Zunahmen der Bodenkohlenstoffvorräte im Vergleich zum Waldumbau. Extensivierung führt auch zu höheren Bodenkohlenstoffvorräten im Beispiel Buchennaturschutz. Die Extensivierung hat, da sie auf 91% der Fläche greift, den größeren Effekt auf den relativen Anstieg des Bodenkohlenstoffgehalts in Buchenwäldern im Vergleich zu einer Unterschutzstellung, die etwa 9% der Fläche betrifft (Tabelle 6-18).

Tabelle 6-18: Relative Änderung des Bodenkohlenstoffvorrats für jedes Beispiel in den verschiedenen Szenarien im Vergleich zum jeweiligen BaU-Szenario (=100) bis 2112

| Szenario                              | Variante        | Relative Änderung zu BaU |
|---------------------------------------|-----------------|--------------------------|
| <b>Beispiel 1 - Fichtenumbau</b>      | BaU             | 100                      |
|                                       | BaU WaU         | 382                      |
|                                       | Extensiv        | 221                      |
|                                       | Extensiv WaU    | 392                      |
| <b>Beispiel 2 - Kiefernumbau</b>      | BaU             | 100                      |
|                                       | BaU WaU         | 202                      |
|                                       | Extensiv        | 320                      |
|                                       | Extensiv WaU    | 215                      |
| <b>Beispiel 3 - Buchennaturschutz</b> | BaU             | 100                      |
|                                       | BaU Schutz      | 128                      |
|                                       | Extensiv        | 230                      |
|                                       | Extensiv Schutz | 245                      |

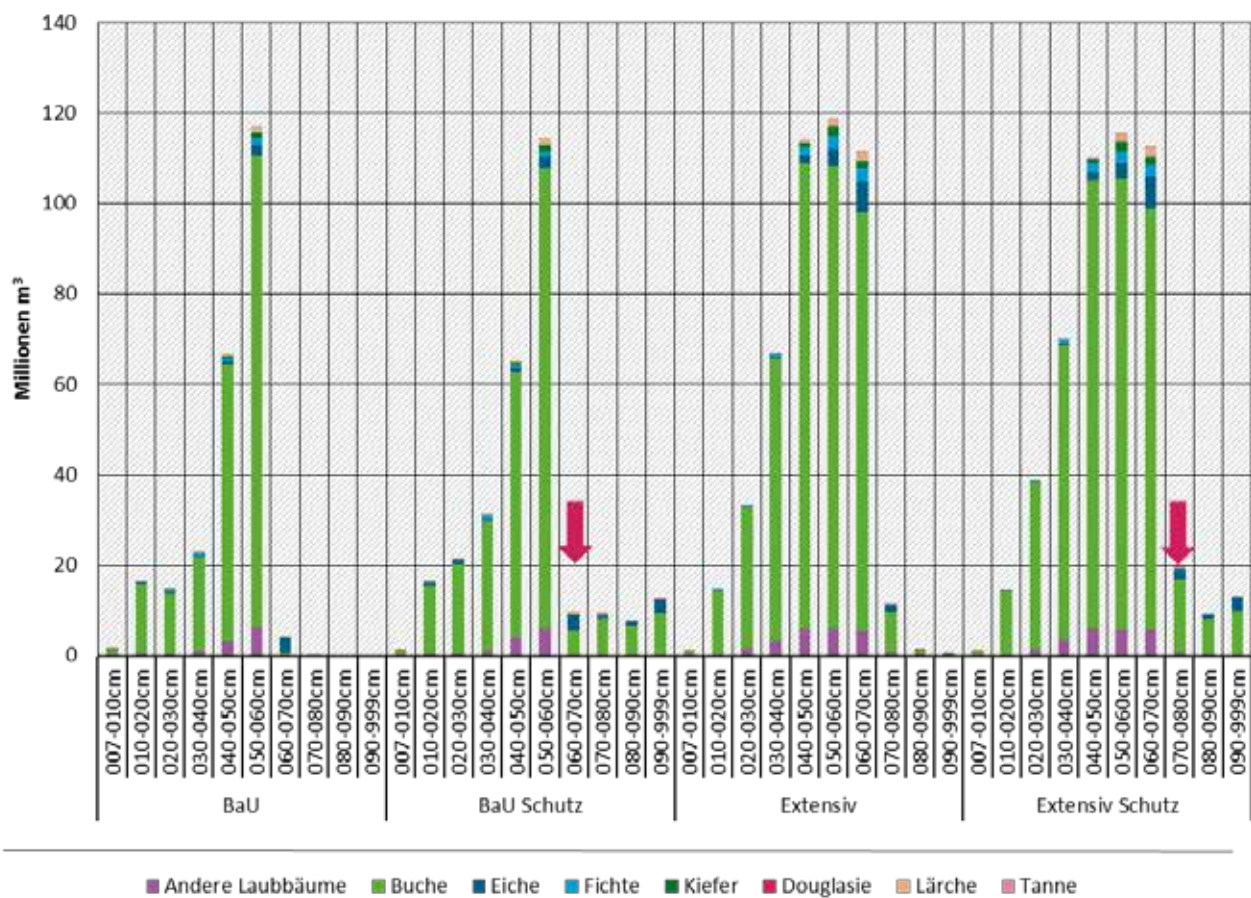
Quelle: Eigene Darstellung

### Bestandesstrukturen

Wenn es Änderungen in der Bewirtschaftung Veränderungen im Holzvorrat gibt, so ist es naturschutzfachlich relevant, wie sich die Veränderungen auf die Durchmesserklassen verteilen. Abbildung 6-13 trägt den Holzvorrat in Baumartengruppen und Durchmesserklassen in Beispiel 3 (Buchennaturschutz) für verschiedene Szenarien auf. Insgesamt nimmt der Vorrat in den Alternativen zum BaU zu. Der Zuwachs ist aber nicht gleich über alle Durchmesserklasse verteilt. Die kleinen Durchmesserklassen von 7-20 cm verändern sich über die Szenarien kaum. Ab Durchmesserklassen über 30 cm gibt es durch eine Extensivierung eine Verschiebung. Die Klasse 30-40 verdoppelt ihre Vorräte, auch die Klasse 40-50 cm erhöht sich stark. Nahezu unverändert ist die Klasse der Bäume zwischen 50 und 60 cm. Die Klasse 60-70 cm ist im BaU-Szenario bereits in der Zielstärkennutzung und weist deshalb nur geringe Restvorräte auf. Durch Extensivierung werden die Vorräte in dieser Klasse aber erhalten. Der Schutz alter Buchen bewirkt, dass im Vergleich zum BaU-Szenario auch noch wesentliche Vorräte in Durchmesserklasse über 60 cm, bzw. im Vergleich zum Extensiv-Szenario über 70 cm erhalten bleiben (siehe Pfeile), was durch die Extensivierung allein nicht gelingt.



Abbildung 6-13: Verteilung des Vorrats über Durchmesserklassen in verschiedenen Szenarien im Beispiel 3 (Buchennaturschutz) im Jahr-2112 in Millionen m<sup>3</sup>



Quelle: Eigene Darstellung



## 7 Darstellung und Bewertung der Ressourcenleistung von Produktionssystemen

Das folgende Kapitel stellt die Synthese der vorangegangenen Arbeitsschritte dar. Es dient der Ermittlung der nachhaltigen Ressourcenleistung als zusammenfassender Indikator für die Bewertung der Ressourceneffizienz der Produktionssysteme in den zuvor definierten Szenarien.

### 7.1 Skalierung und Darstellung

Wie in Kapitel 4.1 analysiert ist die Ressourceneffizienz, ausgedrückt als Quotient aus Nutzen und Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen, kein stabiler Indikator, um land- und forstwirtschaftliche Produktionssysteme zu charakterisieren. Es wurde daher zur Bewertung der Indikator nachhaltige Ressourcenleistung neu entwickelt, um die landwirtschaftliche und forstwirtschaftliche Produktion in Abhängigkeit von der Inanspruchnahme der natürlichen Ressourcen Biodiversität, Luft, Wasser und Boden und dem Nutzen der Produktion darzustellen. Die Bewertung der nachhaltigen Ressourcenleistung (RL) erfolgt zunächst anhand der in Kapitel 4.2 eingeführten Definition:

$$RL = N' * I' \quad (11)$$

Dabei beschreibt  $N'$  den skalierten Nutzen (Produktion von Haupt- und Nebenprodukten),  $I'$  stellt die skalierte Inanspruchnahme von natürlichen Ressourcen als Quellen und Senken dar. Für die Darstellung und Bewertung der nachhaltigen Ressourcenleistung ist also die Bestimmung der beiden Faktoren der Gleichung notwendig. Die Bestimmung des Nutzens durch Festlegung der funktionellen Einheit einzelner Produktionssysteme wurde in Kapitel 4.4.4 beschrieben. Die Auswahl und Berechnung der Indikatoren für die Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen wurden in Kapitel 4.3 (bzgl. Auswahl) und Kapitel 4.4.4 (bzgl. Berechnung) behandelt.

Um eine einheitliche Bewertung der Produktionssysteme hinsichtlich ihrer nachhaltigen Ressourcenleistung zu ermöglichen, müssen Nutzen der Produktion und Indikatoren für die Inanspruchnahme der natürlichen Ressourcen skaliert werden. Erst dann können diese zusammengeführt und einheitlich dargestellt und für die Berechnung der nachhaltigen Ressourcenleistung genutzt werden.

#### 7.1.1 Skalierung des Nutzens

Um eine einheitliche Bewertung und Darstellung der Produktionssysteme in Relation zu ihren Umweltlasten zu ermöglichen, muss auch der Nutzen der Produktion skaliert werden. Für die betrachteten Produktionssysteme wurde der Deckungsbeitrag ermittelt, der die Produktion von Holz pro Fläche in  $\text{m}^3/\text{ha}$  im System Forstwirtschaft und die Tonnen Trockenmasse pro Hektar im System Landwirtschaft auf die gemeinsame Einheit von Euro/ha bringt. Die folgenden Darstellungen zur natürlichen Ressourcenleistung beschränken sich zwar auf die Verwendung des Deckungsbeitrags. Es ist aber zu berücksichtigen, dass, wie in Kapitel 4.3 ausgeführt, dieser Indikator zu einer schiefen Bewertung führen kann (z.B. im Fall veränderten Fixkosten)

Durch die Heterogenität von naturräumlichen Standorten und Produktionsweisen kann sich die Skalierung des wirtschaftlichen Nutzens nur schwer an Literaturwerten orientieren. Die Normierung des Nutzens auf einer Skala von 0 bis 1 für landwirtschaftliche und forstwirtschaftliche Produktionssysteme erfolgte daher über Modellläufe, in denen der höchste und der niedrigste ermittelte Nutzen jeweils als Referenz verwen-

det werden. Zur einfacheren Darstellung wurde bei Bedarf ein Prozentwert aufgeschlagen, um Werte am äußersten Rand der Skala zu vermeiden.

### 7.1.2 Skalierung der Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen

Die Indikatoren, die zur Bewertung der Ressourceninanspruchnahme, d.h. der Einflüsse des Produktionssystems auf Biodiversität, Boden, Luft und Wasser verwendet werden sollen, liegen bis zu diesem Schritt in verschiedenen Einheiten vor. Um Kilogramm CO<sub>2</sub>-Äquivalent, Biodiversitätspunkte, Kilogramm Stickstoffüberschuss pro Hektar und andere Umwelteinflüsse umfassend zu bewerten (oder zu einer Größe zu aggregieren), ist eine Vereinheitlichung erforderlich.

Die einfachste Lösung bietet hier die Darstellung der Indikatoren als prozentuale Abweichung zwischen den Szenarien. Diese ist aber nur bedingt aussagekräftig, da dieses Verfahren keine Information darüber gibt, ob ein einzelner Wert sich innerhalb oder jenseits tolerierbarer Grenzen befindet. Der Rückgang des Stickstoffüberschusses um beispielsweise 40 % ist nicht vergleichbar mit dem Rückgang von Treibhausgasemissionen von 40 %. Erst im Zusammenhang mit den Umweltzielen für die einzelnen Kenngrößen können die Werte sinnvoll interpretiert werden. Hierfür erfolgt eine Normierung anhand von gängigen Grenzwerten, Umweltqualitätszielen oder Streubreiten der Werte aus der Literatur bzw. in den in dieser Studie berechneten Szenarien (siehe Tabelle 7-1 für die landwirtschaftlich relevanten Indikatoren).

Tabelle 7-1: Skalierung der Indikatoren für die Bewertung landwirtschaftlicher Produktionssysteme

| Indikator                                                               | Einheit                | Wert 0  | Wert 1  | Quelle                   |
|-------------------------------------------------------------------------|------------------------|---------|---------|--------------------------|
| <b>N-Saldo (Hoftorbilanz)</b>                                           | kg N/ha                | 70,00   | 0,00    | Die Bundesregierung 2016 |
| <b>C-Saldo (AL)</b>                                                     | C-Äqu./ha              | -300,00 | 0,00    | VDLUFA (2014)            |
| <b>Biodiversität</b>                                                    | Pkt.                   | 0,00    | 0,50    | Eigene Annahmen          |
| <b>THG (Anbau + Tierhaltung)</b>                                        | kg CO <sub>2</sub> eq. | 8000,00 | 1650,00 | Modellergebnisse         |
| <b>Futtermittelanbau</b>                                                | %                      | 0,00    | 100,00  | Eigene Annahme           |
| <b>Gewässerbelastung = Flächenanteil mit N-Überschuss &gt; 50 kg/ha</b> | %                      | 100,00  | 0,00    | Modellergebnisse         |
| <b>Deckungsbeitrag</b>                                                  | EUR/ha                 | 100,00  | 1000,00 | Eigene Annahme           |

Quelle: Eigene Darstellung

Während für die meisten Indikatoren, die für landwirtschaftliche Produktionssysteme ausgewählt wurden, gängige Grenzwerte oder Literaturwerte zur Verfügung stehen, fehlen diese für forstwirtschaftliche Produktionssysteme weitestgehend, bzw. diese sind stark standortabhängig und schwer vergleichbar. Das heißt, die festzulegenden Werte für eine Skalierung von 0 und 1 sind nicht verfügbar. Analog zur Skalierung des Nutzens auf Werte zwischen 0 und 1 werden in diesen Fällen realistische Werte für 0 und 1 anhand von Modellläufen bestimmt. So wird der maximale Wert eines Indikators aus den Szenarien und Varianten er-

mittelt und dann um 20% erhöht um die Darstellung im Spinnendiagramm zu erleichtern. Der Minimalwert aus den Szenarien wird entsprechend auf 80% des Werts reduziert. Während für den Indikator Kohlenstoffsenke der kleinste Wert der Modellergebnisse dem Wert 1 auf der Skala entspricht und der größte dem Wert 0, verhält es sich mit den restlichen Indikatoren umgekehrt: je höher ein Modellergebniswert, desto näher rückt dieser Indikator in der Spinne in Richtung 1, d.h. nach außen im Spinnendiagramm.

## 7.2 Produktionssystem Pflanzenbau und Tierhaltung

Zur Bewertung der nachhaltigen Ressourcenleistung (RL) von landwirtschaftlichen Produktionssystemen wurden in Kapitel 6.1 verschiedene Szenarien ausgearbeitet, die unterschiedliche Intensivierungs- und Extensivierungsvarianten der Produktion darstellen. In Kapitel 5.2 wurden Indikatoren eingeführt, mit Hilfe derer die Ressourcenleistung der Produktion bewertet werden kann. Im Folgenden werden die Ergebnisse der einzelnen Szenarien und Indikatoren zusammengeführt und bewertet.

Die nachfolgende Tabelle 7-2 zeigt die skalierten Umweltindikatoren und den skalierten Nutzen basierend auf den Modellergebnissen aus Kapitel 6.1.3. Nach den Ergebnissen erwirtschaftet das intensive System Deckungsbeiträge, die mehr als doppelt so hoch liegen wie die Deckungsbeiträge der extensiveren Anbausysteme. Umgekehrt sind die Umweltlasten des intensiven Systems (bezogen auf den Mittelwert der Umweltindikatoren) im Vergleich zu den Extensivierungsszenarien aber verhältnismäßig gering.

Tabelle 7-2: Ergebnisse der skalierten Indikatoren und des Nutzens

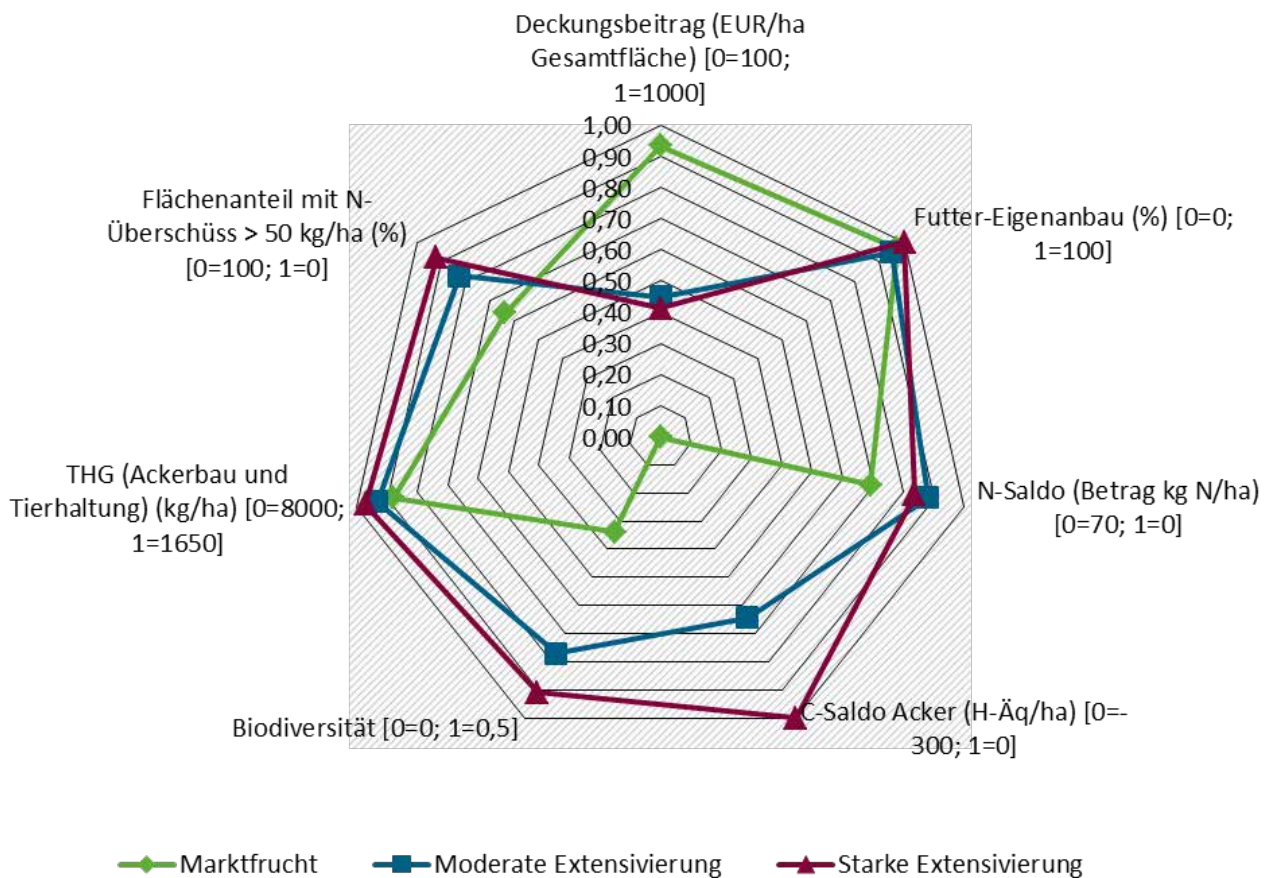
|                                                                        | Marktfrucht | Moderate Extensivierung | Starke Extensivierung |
|------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------------------|-----------------------|
| <b>Deckungsbeitrag (EUR/ha Gesamtfläche) [0=100; 1=1000]</b>           | 0,93        | 0,45                    | 0,41                  |
| <b>Futter-Eigenanbau (%) [0=0; 1=100]</b>                              | 0,97        | 0,95                    | 1,00                  |
| <b>Mittelwerte der fünf Umweltindikatoren</b>                          | 0,51        | 0,81                    | 0,93                  |
| <b>N-Saldo (Betrag kg N/ha) [0=70; 1=0]</b>                            | 0,69        | 0,88                    | 0,84                  |
| <b>C-Saldo Acker (H-Äq/ha) [0=-300; 1=0]</b>                           | 0,00        | 0,64                    | 1,00                  |
| <b>Biodiversität [0=0; 1=0,5]</b>                                      | 0,34        | 0,77                    | 0,90                  |
| <b>THG (Ackerbau und Tierhaltung) (kg/ha) [0=8000; 1=1650]</b>         | 0,88        | 0,93                    | 0,97                  |
| <b>Flächenanteil mit N-Überschüssen &gt; 50 kg/ha (%) [0=100; 1=0]</b> | 0,64        | 0,83                    | 0,92                  |

Quelle: Eigene Berechnungen

Tabelle 7-2 zeigt für die Indikatoren Futtereigenanbau, THG-Emissionen und N-Saldo geringe bzw. leichte Abweichungen zwischen den Szenarien und Werte liegen für alle Szenarien Werte nahe dem Optimum (Ausnahme N-Saldo im Szenario Marktf Frucht). Der Indikator C-Saldo, Biodiversität und etwas schwächer der Indikator Flächenanteil mit N-Überschüssen > 50 kg/ha reagieren dagegen sensibel auf Änderungen des Produktionssystems und zeigen eine große Streubreite innerhalb der gewählten Spanne von 0 bis 1. Der Mittelwert der Umweltindikatoren spiegelt wider, dass das Szenario Marktf Frucht mit 0,51 deutlich schlechter bewertet wird als die beiden Extensivierungsszenarien mit einer mittleren Bewertung von 0,81 bzw. 0,93 (Tabelle 7-2). Mit dieser Mittelwertbildung besteht aber keine Möglichkeit eine Aussage darüber zu treffen, welcher Umweltindikator für das Ergebnis ausschlaggebend ist.

Zur Visualisierung werden in Abbildung 7-1 die berechneten Modellergebnisse im Spinnendiagramm zusammengestellt und graphisch dargestellt. Die Darstellung des Spinnendiagramms beinhaltet die Darstellung der Ressourcen (Indikatoren) pro Flächeneinheit (ha). Die Darstellung der Umweltauswirkungen des Produktionssystems entspricht einer Nachhaltigkeitsbewertung der landwirtschaftlichen Produktion. Zur vollständigen Darstellung der nachhaltigen Ressourcenleistung muss die Produktivität des Systems berücksichtigt werden. Da Änderungen des Produktionssystems (Extensivierung oder Intensivierung) einen Einfluss auf die Höhe der Produktion haben, wird das Spinnendiagramm (Abbildung 7-1) um das Produktionsniveau, das den Nutzen des Produktionssystems in Form des Deckungsbeitrags darstellt und den Anteil des Futtermittelerigenanbaus, zur Darstellung des Flächenbedarfs außerhalb des Produktionssystems, erweitert. Informativ wird zudem der Futtereigenanbau als Indikator für eine Inanspruchnahme von Flächen außerhalb des Produktionssystems ausgewiesen.

Abbildung 7-1: Bewertung der Produktionssysteme „Marktfrucht“, „Moderate Extensivierung“ und „Starke Extensivierung“ (Umweltindikatoren, Deckungsbeitrag und Futter-Eigenanbau)



Quelle: Eigene Berechnungen

Aufbauend auf den skalierten Werten für den Deckungsbeitrag und den Umweltindikatoren wird die nachhaltige Ressourcenleistung berechnet (vgl. Kapitel 4.2). Für die drei in Abbildung 7-1 betrachteten Szenarien zeigt sich, dass im Szenario Marktfrucht die RL zu den Indikatoren Treibhausgasemissionen, N-Saldo und Flächenanteil mit N-Überschuss hohe Werte annimmt, die deutlich höher sind als die RL-Werte für die beiden Extensivierungsszenarien. Im Gegenzug liegen die RL-Werte zum Indikator C-Saldo deutlich und zum Indikator Biodiversität leicht unter den RL-Werten der Extensivierungsszenarien. Für die Szenarien Moderate Extensivierung und Starke Extensivierung treten für die RL-Werte – wie auch aufgrund der Bewertung in Abbildung 7-1 zu erwarten – nur geringe Unterschiede auf. Zudem ist hervorzuheben, dass die RL-Werte für alle Indikatoren relativ gleichmäßig ausfallen.

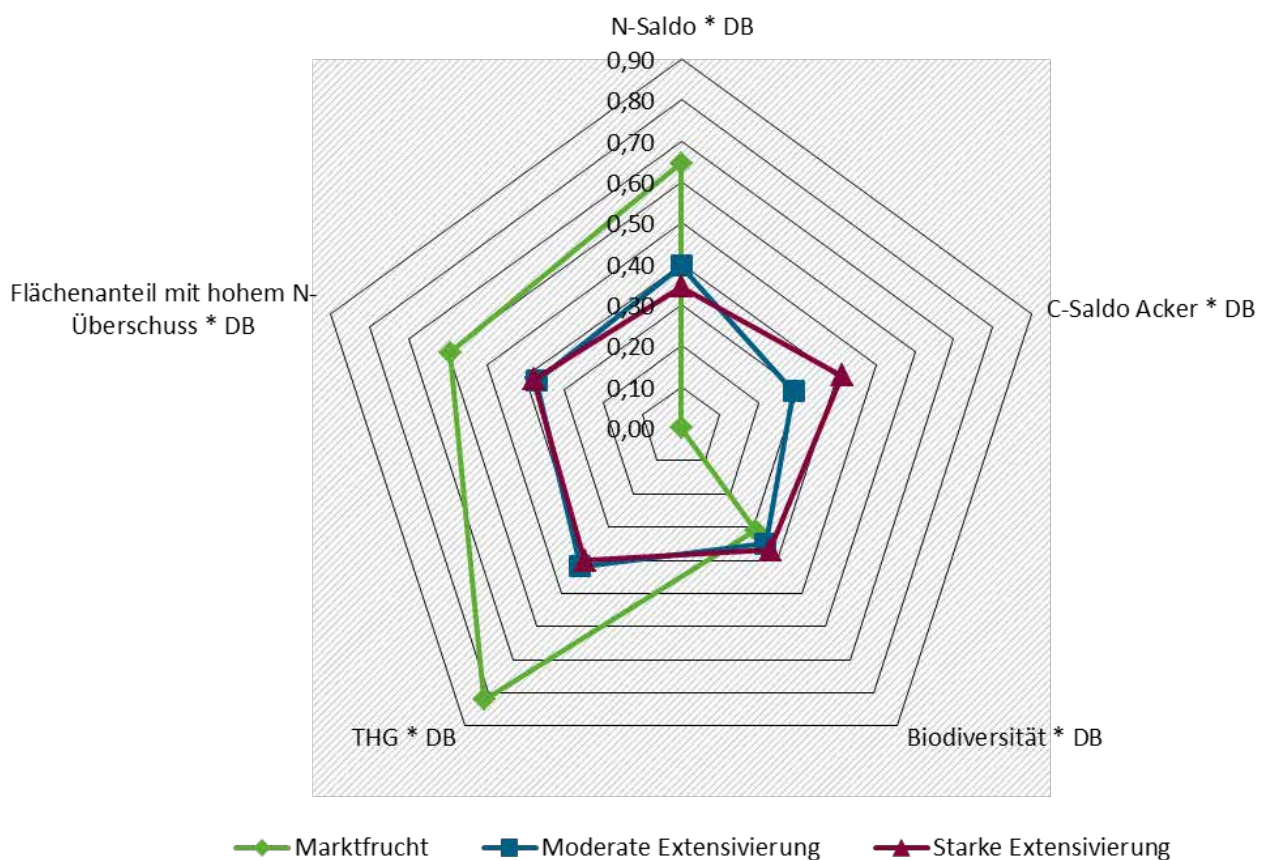
Die Darstellung der nachhaltigen Ressourcenleistung zeigt z.T. ein ähnliches und z.T. ein abweichendes Muster im Vergleich zur direkten Darstellung der skalierten Umweltparameter. So schneiden in beiden Darstellungen die Indikatoren zum C-Saldo Acker und zur Biodiversität im Szenario Marktfrucht deutlich schlechter ab als für die beiden Extensivierungsszenarien. Für den Indikator zur THG-Emission liegen die drei Szenarien etwa gleich auf, in der Darstellung der nachhaltigen Ressourcenleistung schneidet das Szenario Marktfrucht aber deutlich besser ab als die beiden Extensivierungsszenarien. Für die beiden Indikatoren



N-Saldo und Flächenanteil mit hohem N-Überschuss dreht sich die Interpretation vollständig um: als Umweltindikator werden die Extensivierungsszenarien besser bewertet und als nachhaltige Ressourcenleistung steht das Szenario Marktfrucht besser da. Dies zeigt, dass die Darstellung der natürlichen Ressourcenleistung einen Mehrwert für die Bewertung eines landwirtschaftlichen Produktionssystems erbringen kann.

Über die Darstellung der nachhaltigen Ressourcenleistung der einzelnen Parameter hinaus kann auch für den Mittelwert der Umweltindikatoren die RL errechnet werden. Sie beträgt für das Szenario Marktfrucht 0,47, für das Szenario Moderate Extensivierung 0,36 und für das Szenario Starke Extensivierung 0,38. Hier zeigt sich, dass eine weitere Aggregation zu einem sehr deutlichen Informationsverlust und ggf. zu einer Fehlinterpretation der Ergebnisse führt.

Abbildung 7-2: Bewertung der nachhaltigen Ressourcenleistung der Produktionssysteme „Marktfrucht“, „Moderate Extensivierung“ und „Starke Extensivierung“



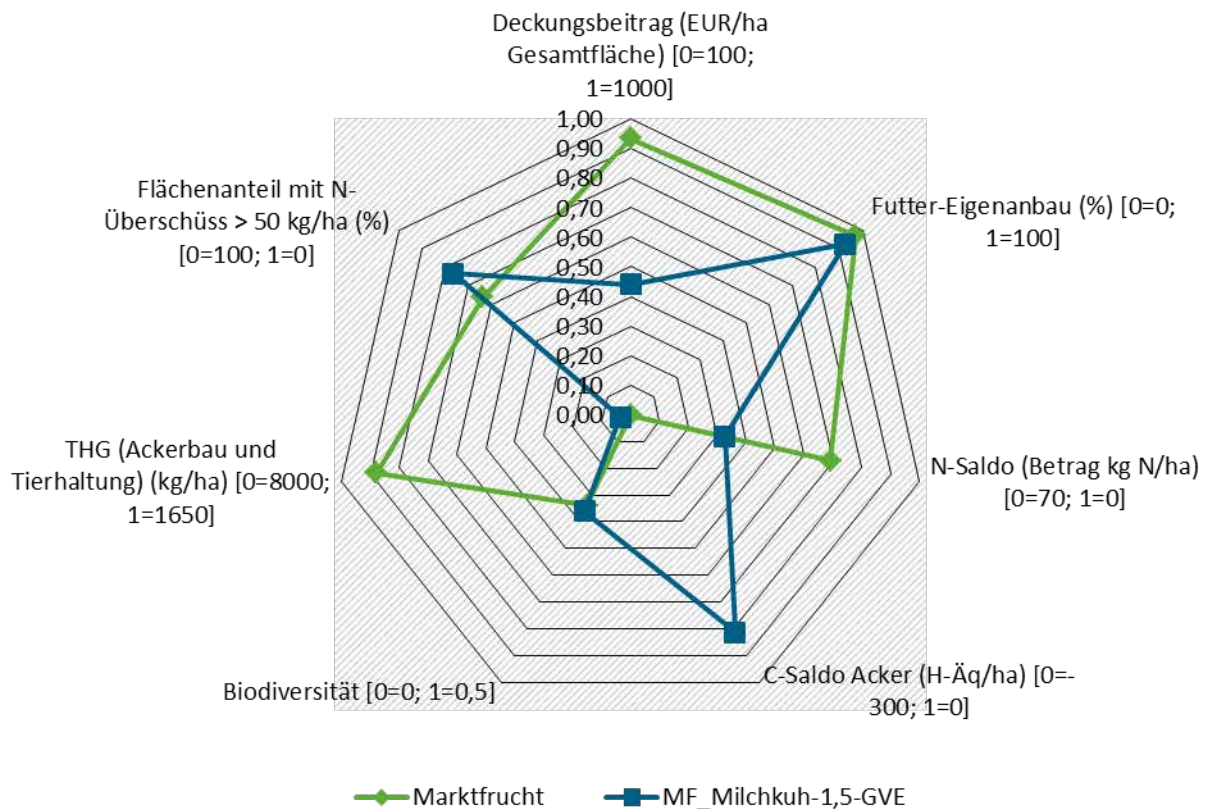
Quelle: Eigene Berechnungen

Als weiteres Beispiel für die graphische Darstellung der Indikatoren und der nachhaltigen Ressourcenleistung als Spinnendiagramm werden in den Abbildung 7-3 und Abbildung 7-4 die Bewertung der Szenariovariante MF\_Milchkuh-1,5-GVE dem Szenario Marktfrucht gegenübergestellt. Durch die höheren Tierzahlen in der Szenariovariante MF\_Milchkuh-1,5-GVE ändert sich die Bewertung der Indikatoren deutlich: Der Indikator C-Saldo nimmt stark zu, die Indikatoren THG-Emissionen, N-Saldo und Deckungsbeitrag verschlechtern sich deutlich und die Indikatoren Biodiversität, Futter-Eigenanbau und Flächenanteil mit hohem N-



Überschuss bleiben weitestgehend konstant. Der Mittelwert der Umweltindikatoren ergibt vergleichbare Werte mit 0,51 für das Szenario Marktfrucht und 0,46 für Szenariovariante MF\_Milchkuh-1,5-GVE. Dies zeigt, dass durch die Mittelwertbildung die negativen Auswirkungen der hohen Tierzahlen auf den N-Saldo und die THG-Emissionen sowie die positiven Effekte auf den C-Saldo nicht mehr sichtbar sind.

Abbildung 7-3: Bewertung der Produktionssysteme „Marktfrucht“ und „MF\_Milchkuh-1,5-GVE“ (Umweltindikatoren, Deckungsbeitrag und Futter-Eigenanbau)

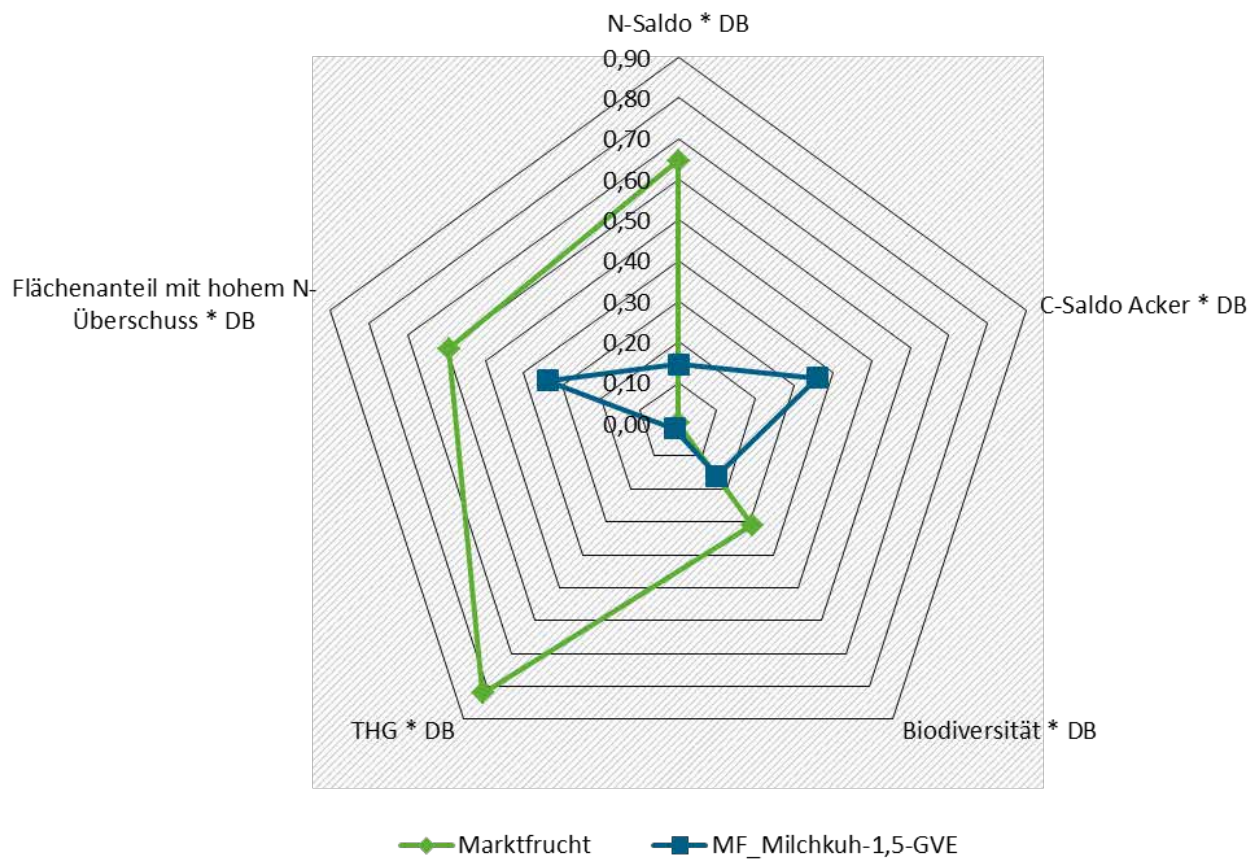


MF\_Milchkuh-1,5-GVE = Erhöhung der Milchkühe von 0,3 GVE auf 1,5 GVE.

Quelle: Eigene Berechnungen

Eine deutliche Veränderung in der Szenariovariante MF\_Milchkuh-1,5-GVE gegenüber dem Szenario Marktfrucht ist die Abnahme des Deckungsbeitrags des Produktionssystems aufgrund des niedrigen Deckungsbeitrags für Milch (0,05 EUR/kg) und Fleisch (0,10 EUR/kg). Diese Abnahme wirkt sich direkt auf die Bewertung der nachhaltigen Ressourcenleistung aus, so dass die Werte der RL zu den Umweltindikatoren relativ niedrige Werte annehmen unter den Werten für das Szenario Marktfrucht liegen. Die Ausnahme stellt der Wert der RL zum C-Saldo Acker, für den das Szenario Marktfrucht mit Null bewertet wurde. Die Ergebnisse der übrigen Szenariovarianten finden sich in Tabelle 7-3 und Tabelle 7-4.

Abbildung 7-4: Bewertung der nachhaltigen Ressourcenleistung der Produktionssysteme „Marktfrucht“ und „MF\_Milchkuh-1,5-GVE“



MF\_Milchkuh-1,5-GVE = Erhöhung der Milchkühe von 0,3 GVE auf 1,5 GVE.

Quelle: Eigene Berechnungen

Tabelle 7-3: Zusammenfassung der Bewertung der Umweltindikatoren, des Deckungsbeitrags und des Futter-Eigenanbaus für die Szenarien „Marktf Frucht“, „Moderate Extensivierung“ und „Starke Extensivierung“ sowie den zugehörigen Szenariovarianten

|                                         | Deckungsbeitrag<br>(EUR/ha Gesamt-<br>fläche) [0=100;<br>1=1000] | Futter-<br>Eigenanbau<br>(%) [0=0;<br>1=100] | Mittelwerte<br>der fünf Um-<br>weltparameter | N-Saldo (Be-<br>trag kg N/ha)<br>[0=70; 1=0] | C-Saldo Acker<br>(H-Äq/ha)<br>[0=-300; 1=0] | Biodiversität<br>[0=0; 1=0,5] | THG (Ackerbau<br>und Tierhaltung)<br>(kg/ha) [0=8000;<br>1=1650] | Flächenanteil<br>mit N-<br>Überschuss ><br>50 kg/ha (%)<br>[0=100; 1=0] |
|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| <b>Marktf Frucht</b>                    | 0,93                                                             | 0,97                                         | 0,49                                         | 0,69                                         | 0,00                                        | 0,34                          | 0,88                                                             | 0,64                                                                    |
| <b>MF_Hackfrucht-10a</b>                | 0,45                                                             | 0,85                                         | 0,47                                         | 0,36                                         | 0,24                                        | 0,33                          | 0,88                                                             | 0,61                                                                    |
| <b>MF_Hackfrucht-<br/>10a_Stroh-20%</b> | 0,45                                                             | 0,85                                         | 0,49                                         | 0,31                                         | 0,49                                        | 0,32                          | 0,88                                                             | 0,53                                                                    |
| <b>MF_Milchkuh-1,5-GVE</b>              | 0,44                                                             | 0,93                                         | 0,45                                         | 0,33                                         | 0,81                                        | 0,36                          | 0,04                                                             | 0,77                                                                    |
| <b>MF_N-110%</b>                        | 0,93                                                             | 0,97                                         | 0,43                                         | 0,44                                         | 0,00                                        | 0,33                          | 0,86                                                             | 0,59                                                                    |
| <b>Moderate Extensivierung</b>          | 0,45                                                             | 0,95                                         | 0,81                                         | 0,88                                         | 0,64                                        | 0,77                          | 0,93                                                             | 0,83                                                                    |
| <b>ME_Blühstreifen-5%</b>               | 0,43                                                             | 0,95                                         | 0,83                                         | 0,84                                         | 0,64                                        | 0,88                          | 0,93                                                             | 0,82                                                                    |
| <b>ME_Bra-che-5%</b>                    | 0,42                                                             | 0,96                                         | 0,84                                         | 0,82                                         | 0,66                                        | 0,94                          | 0,94                                                             | 0,82                                                                    |
| <b>Starke Extensivierung</b>            | 0,41                                                             | 1,00                                         | 0,93                                         | 0,84                                         | 1,00                                        | 0,91                          | 0,97                                                             | 0,92                                                                    |
| <b>SE_450-Milchkühe</b>                 | 0,43                                                             | 1,00                                         | 0,88                                         | 0,68                                         | 0,98                                        | 0,92                          | 0,89                                                             | 0,92                                                                    |
| <b>SE_600-Milchkühe</b>                 | 0,13                                                             | 0,88                                         | 0,83                                         | 0,55                                         | 0,96                                        | 0,91                          | 0,81                                                             | 0,92                                                                    |

Quelle: Eigene Berechnungen

Tabelle 7-4: Zusammenfassung der Bewertung der nachhaltigen Ressourcenleistung (Umweltindikator \* Deckungsbeitrag) für die Szenarien „Marktf Frucht“, „Moderate Extensivierung“ und „Starke Extensivierung“ sowie den zugehörigen Szenariovarianten

|                                     | Mittelwert Umweltparameter * DB | N-Saldo * DB | C-Saldo Acker * DB | Biodiversität * DB | THG * DB | Flächenanteil mit hohem N-Überschuss * DB |
|-------------------------------------|---------------------------------|--------------|--------------------|--------------------|----------|-------------------------------------------|
| <b>Marktf Frucht (MA)</b>           | 0,46                            | 0,65         | 0,00               | 0,31               | 0,82     | 0,59                                      |
| MF_Hackfrucht-10a                   | 0,21                            | 0,16         | 0,11               | 0,15               | 0,40     | 0,28                                      |
| MF_Hackfrucht-10a_Stroh-20%         | 0,22                            | 0,14         | 0,22               | 0,14               | 0,40     | 0,24                                      |
| MF_Milchkuh-1,5-GVE                 | 0,20                            | 0,14         | 0,36               | 0,16               | 0,02     | 0,34                                      |
| MF_N-110%                           | 0,40                            | 0,41         | 0,00               | 0,31               | 0,80     | 0,55                                      |
| <b>Moderate Extensivierung (ME)</b> | 0,36                            | 0,40         | 0,29               | 0,35               | 0,42     | 0,37                                      |
| ME_Blühstreifen-5%                  | 0,35                            | 0,36         | 0,28               | 0,38               | 0,40     | 0,35                                      |
| ME_Brache-5%                        | 0,35                            | 0,34         | 0,28               | 0,39               | 0,39     | 0,34                                      |
| <b>Starke Extensivierung (SE)</b>   | 0,38                            | 0,34         | 0,41               | 0,37               | 0,40     | 0,38                                      |
| SE_450-Milchkühe                    | 0,38                            | 0,29         | 0,42               | 0,39               | 0,38     | 0,39                                      |
| SE_600-Milchkühe                    | 0,11                            | 0,07         | 0,13               | 0,12               | 0,11     | 0,12                                      |

Quelle: Eigene Berechnungen

Zur umfassenderen Bewertung können die Werte der skalierten Umweltindikatoren sowie der nachhaltigen Ressourcenleistung zu einem Mittelwert zusammengefasst werden. Dabei zeigt sich allerdings, dass mit dieser Aggregation ein sehr deutlicher Informationsverlust einhergeht. Beispielsweise treten für die Szenariovariante mit einem hohen Milchviehbestand gegenüber dem Szenario Marktf Frucht für einzelne Indikatoren und der zugehörigen RL sehr deutliche Unterschiede auf, die sich aber dem jeweiligen gemittelten Werte der Umweltindikatoren gegeneinander aufheben (vgl. Tabelle 7-3).

Auch in der Literatur wird eine Aggregation von Indikatoren aufgrund des Informationsverlusts kritisch diskutiert. Aus diesen Gründen wurde im Rahmen des entwickelten Bewertungsansatzes eine aggregierte Darstellung wie dem Mittelwert mehrerer Indikatoren generell nicht weiter empfohlen.

Die Skalierung der Indikatoren innerhalb der hergeleiteten bzw. den angenommen Grenzwerten ermöglicht einen Vergleich der unterschiedlichen Indikatoren und erscheint in den Ergebnissen als inhaltlich sinnvoll. Dies wird besonders bei den Indikatoren C-Saldo und N-Saldo, die auf klaren Grenzwerten aus der Literatur bzw. Gesetzgebung aufbauen, deutlich. Als schwieriger stellt sich die Grenzwertsetzung für Indikatoren dar, für die keine derartigen Angaben vorliegen. Beispielsweise wurde für den Biodiversitätsindex angenommen, dass bereits das Erreichen von 50% der maximalen Punktezahl zu einer Bewertung von 1 führt. Die Wahl dieses Wertes basiert darauf, dass das Erreichen der maximalen Punktezahl des Biodiversitätsindex in landwirtschaftlichen Produktionssystemen kaum möglich ist. In ähnlicher Weise könnte auch der Indikator Flächenanteil mit hohem N-Saldo anstatt zwischen 0% und 100% zwischen 0% und 50% aufgespannt werden, was zu einer stärkeren Differenzierung der Bewertung führen würde.

Der Indikator THG-Emissionen ist stark durch die THG-Emissionen des Milchviehs bedingt und korreliert direkt mit der Anzahl an Milchkühen. So führt die Berücksichtigung von Produktionssystemen mit geringen und hohen Tierzahlen zu einer weiten Skala, mit der Unterschiede innerhalb von Varianten mit geringen Tierzahlen kaum mehr sichtbar werden. Diese Beispiele zeigen, dass der Wahl der Grenzen für die Skalierung eine bedeutende Rolle in dem entwickelten Bewertungsansatz zukommt. Bei einer Anwendung des Bewertungsansatzes sollte daher eine intensive Auseinandersetzung zu den gewählten Indikatoren und besonders zu den gewählten Grenzen für die Skalierung vor dem Hintergrund stattfinden, für welche Produktionssysteme die Bewertung miteinander verglichen werden sollen.

Als Darstellungsform wurde für die skalierten Indikatoren sowie die nachhaltige Ressourcenleistung das Spinnendiagramm gewählt. Die Anwendung des Bewertungsansatzes inklusive der Darstellung im Spinnendiagramm zeigt, dass diese Darstellungsform es ermöglicht, schnell die Bewertungsergebnisse und Unterschiede zwischen Indikatoren zu erfassen. Auch ein Vergleich unterschiedlicher Produktionssysteme ist mit dem Spinnendiagramm gut darstellbar.

In der Summe kann aus Sicht landwirtschaftlicher Produktionssysteme festgehalten werden, dass der entwickelte Bewertungsansatz als geeignet eingestuft werden kann. Ein Teil der Aspekte des Bewertungsansatzes wie die Skalierung der Indikatoren und die Darstellung im Spinnendiagramm finden sich auch bereits in anderen bestehenden Bewertungsansätzen. Die Einführung der nachhaltigen Ressourcenleistung bringt einen Mehrwert für eine Bewertung, da die Relation zwischen der Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen und dem Nutzen robust dargestellt wird.

### 7.3 Produktionssystem Forstwirtschaft

Zur Bewertung der Ressourceneffizienz und der nachhaltigen Ressourcenleistung von forstwirtschaftlichen Produktionssystemen wurden in Kapitel 6.2 verschiedene Szenarien in drei Beispielen beschrieben, die unterschiedliche Intensitäten der Produktion darstellen. In Kapitel 5.5 wurden Indikatoren eingeführt, mit Hilfe derer die Ressourceneffizienz der Produktion bewertet wird. Im Folgenden werden nun die Ergebnisse der einzelnen Szenarien und Indikatoren zusammengeführt und unter Verwendung des entwickelten Ansatzes bewertet.

Tabelle 7-5 gibt einen Überblick über die berechneten und skalierten Modellergebnisse für die drei Beispiele und jeweils vier Szenarien. Um die Indikatoren untereinander und über Szenarien hinweg vergleichbar zu machen, wurden diese auf Werte zwischen 0 und 1 skaliert. Die Spanne der Skalierung wurde dabei durch Modellwerte festgelegt. Generell liegen Szenarien, die eine Extensivierung oder Unterschutzstellung vorsehen vor den jeweiligen BaU-Szenarien was die Umweltindikatoren und damit die weitesten Sinne die Ressourcenschonung angeht. Die Erntemengen sind in den BaU-Szenarien dagegen meist höher.

Abbildung 7-5 präsentiert die Indikatoren für die Bewertung von Beispiel 1, in dem der Umbau von Fichtenbeständen in Laubholzbestände betrachtet wird. Die Abbildung mittelt die Indikatoren über den Zeitraum von 40 Jahren (2012-2052) und stellt sie bezogen auf die Fläche dar. Wie erwartet rangiert das BaU-Szenario, was die Umweltindikatoren CO<sub>2</sub>-Senke und Bodenkohlenstoff angeht, im inneren Teil des Diagramms, während die extensiven Szenarien höher bewertet werden und damit weiter außerhalb liegen. Auch was den Zuwachs und Vorrat angeht erzielt das Extensiv-Szenario höhere Werte. Das BaU-Szenario erreicht beim Deckungsbeitrag und der Erntemenge die höchsten Werte. Keines der Szenarien dominiert damit in allen Indikatoren. Das Extensiv- und das Extensiv-Waldumbau-Szenario erreichen in jeweils drei von acht Indikatoren die höchsten Werte.

In der Betrachtung der Ergebnisse einzelner Indikatoren wurde deutlich, dass die zeitliche Dynamik berücksichtigt werden muss wenn Bewertungen auf dieser Grundlage angestellt werden. Abbildung 7-6 verlängert

den Betrachtungshorizont von 40 auf 100 Jahre. Diese führt zu einer stärkeren Differenzierung der Szenarien aber auch zur Umkehrung der Rangfolge. Das BaU-Szenario unterliegt dem Extensiv-Szenario in den Indikatoren Deckungsbeitrag und Ernteaufkommen. Es erzielt auch die höchste Bewertung bei Zuwachs und Bodenkohlenstoff und dominiert damit 3 von 8 Indikatoren. Das Szenario der Extensivierung und Waldbau verbindet dominiert in vier Indikatoren: Vorrat, Totholz, Vorrat in Durchmesserklassen über 80 cm und CO<sub>2</sub>-Senke.

Abbildung 7-7 und Abbildung 7-8 stellen die Bewertung in den Beispielen 2, bzw. 3 dar, indem sie ebenfalls die Indikatoren auf die Waldfläche beziehen, über 100 Jahre mitteln und skalieren. Im Beispiel Kiefernumbau erreicht das Extensiv-Szenario die höchsten Werte bei den Indikatoren Vorrat, Zuwachs, Totholz und Bodenkohlenstoff. Szenario BaU erreicht aber den höchsten Deckungsbeitrag und auch die höchsten Erntemengen. Im Beispiel 3 (Buchennaturschutz) erreicht das Extensiv-Szenario die höchsten Werte bei den Indikatoren Totholz, CO<sub>2</sub>-Senke und Bodenkohlenstoff. Szenario BaU erreicht aber auch hier den höchsten Deckungsbeitrag und auch die höchsten Erntemengen. Vorrat, Zuwachs und auch der Vorrat über 80 cm Durchmesser werden durch das Extensiv-Szenario mit Schutzflächen dominiert.

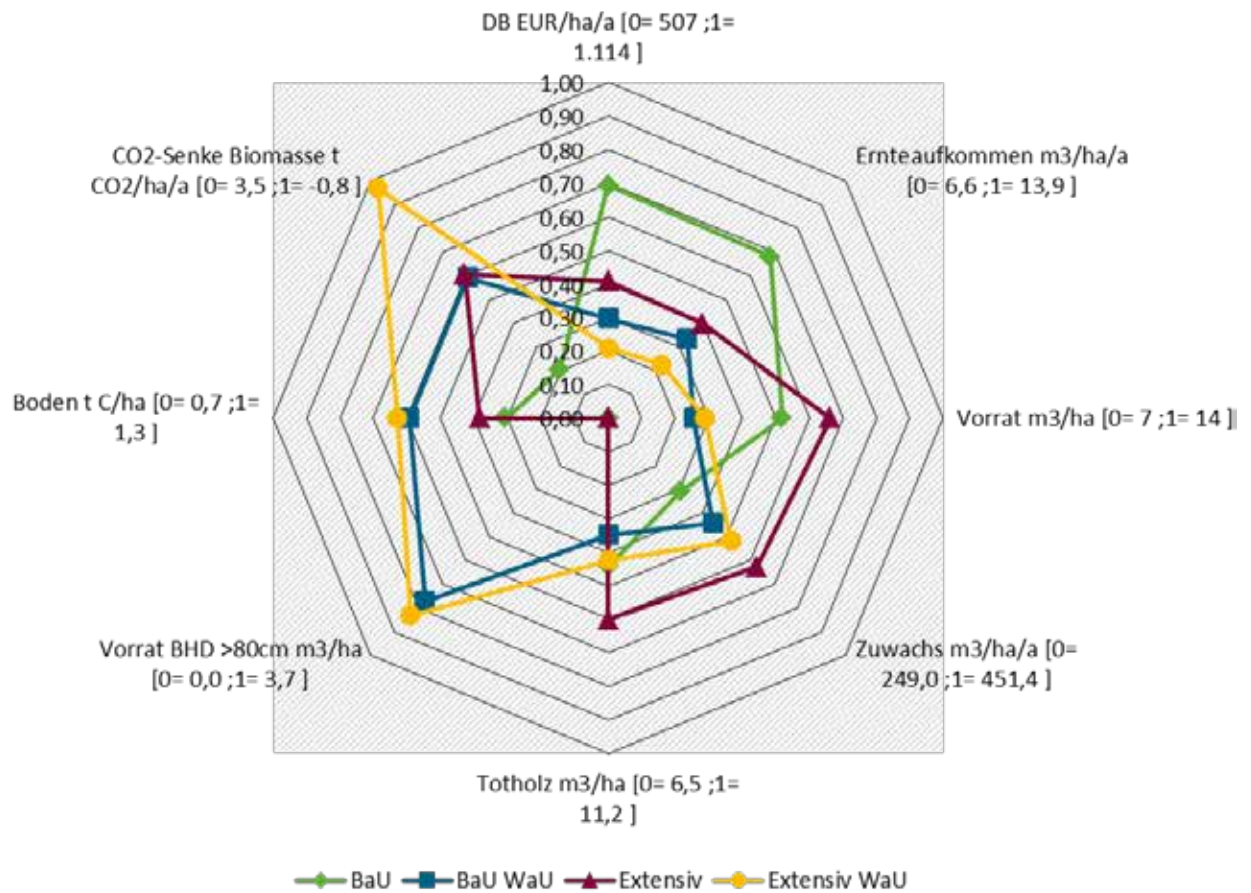
Tabelle 7-5: Ergebnisse der skalierten Indikatoren und des Nutzens für die Periode 2012-2112

| Szenarien                                                  | Beispiel 1 - Fichtenumbau |         |          |              | Beispiel 2 - Kiefernumbau |         |          |              | Beispiel 3 - Buchennaturschutz |            |          |                 |
|------------------------------------------------------------|---------------------------|---------|----------|--------------|---------------------------|---------|----------|--------------|--------------------------------|------------|----------|-----------------|
|                                                            | BaU                       | BaU WaU | Extensiv | Extensiv WaU | BaU                       | BaU WaU | Extensiv | Extensiv WaU | BaU                            | BaU Schutz | Extensiv | Extensiv Schutz |
| <b>Deckungsbeitrag EUR/ha/a</b>                            | 0,72                      | 0,20    | 0,69     | 0,17         | 0,65                      | 0,27    | 0,55     | 0,40         | 0,66                           | 0,37       | 0,62     | 0,26            |
| <b>Ernteaufkommen m<sup>3</sup>/ha/a</b>                   | 0,72                      | 0,25    | 0,66     | 0,18         | 0,64                      | 0,29    | 0,45     | 0,36         | 0,68                           | 0,40       | 0,56     | 0,24            |
| <b>Vorrat m<sup>3</sup>/ha</b>                             | 0,16                      | 0,55    | 0,44     | 0,72         | 0,24                      | 0,37    | 0,67     | 0,49         | 0,18                           | 0,31       | 0,64     | 0,71            |
| <b>Zuwachs m<sup>3</sup>/ha/a</b>                          | 0,43                      | 0,36    | 0,59     | 0,58         | 0,41                      | 0,34    | 0,61     | 0,47         | 0,31                           | 0,33       | 0,62     | 0,63            |
| <b>Totholz m<sup>3</sup>/ha</b>                            | 0,50                      | 0,16    | 0,72     | 0,25         | 0,17                      | 0,21    | 0,72     | 0,40         | 0,42                           | 0,17       | 0,72     | 0,67            |
| <b>Vorrat BHD &gt;80cm m<sup>3</sup>/ha</b>                | 0,01                      | 0,78    | 0,01     | 0,83         | 0,00                      | 0,80    | 0,00     | 0,83         | 0,00                           | 0,76       | 0,08     | 0,83            |
| <b>Boden t C/ha</b>                                        | 0,12                      | 0,73    | 0,40     | 0,75         | 0,14                      | 0,19    | 0,74     | 0,28         | 0,34                           | 0,19       | 0,71     | 0,69            |
| <b>CO<sub>2</sub>-Senke Biomasse t CO<sub>2</sub>/ha/a</b> | 0,06                      | 0,57    | 0,11     | 0,87         | 0,05                      | 0,54    | 0,58     | 0,87         | 0,04                           | 0,19       | 0,80     | 0,58            |

Quelle: Eigene Darstellung

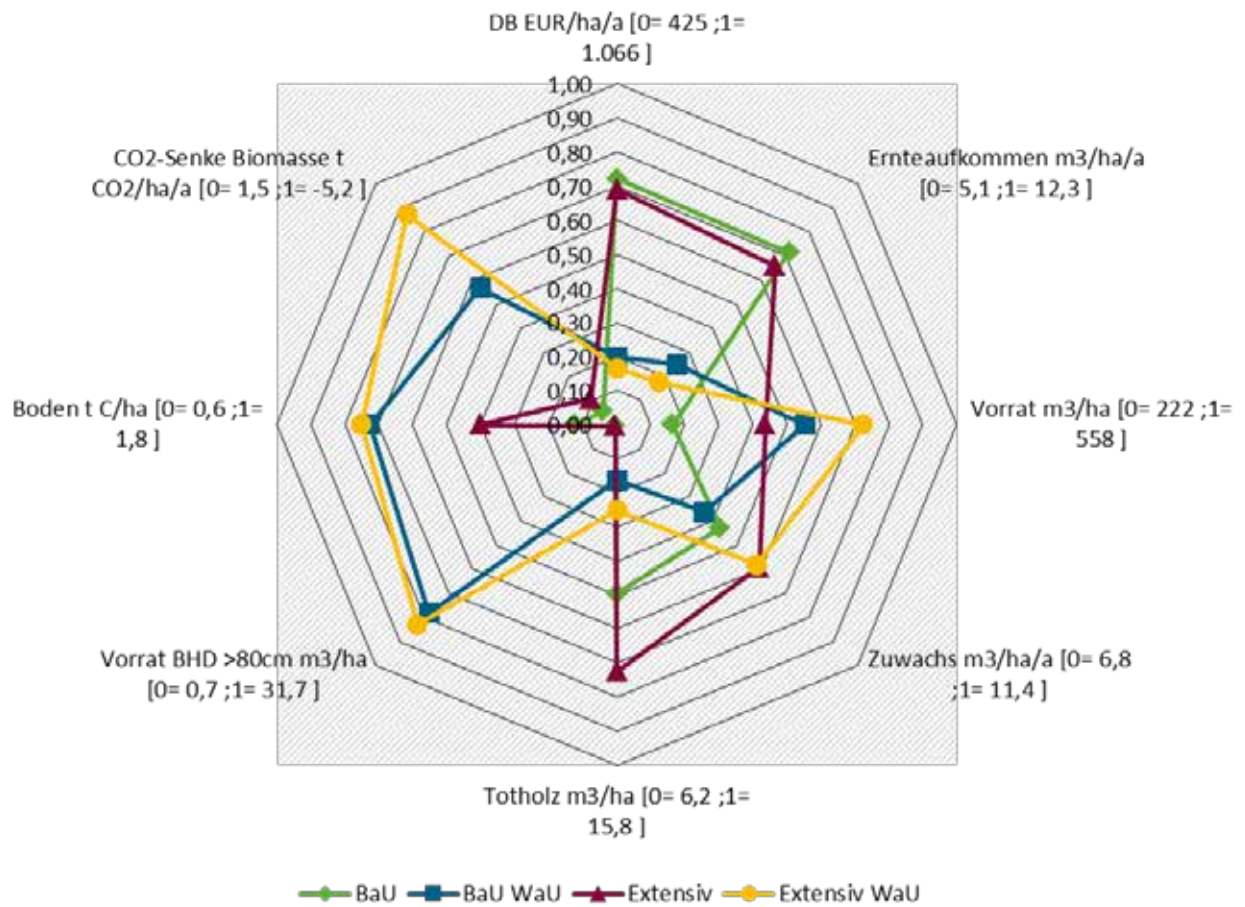


Abbildung 7-5: Beispiel 1 – Fichtenumbau: Einfluss des Produktionssystems auf die Ressourcenschöpfung in verschiedenen Szenarien für den Zeitraum 2012-2052



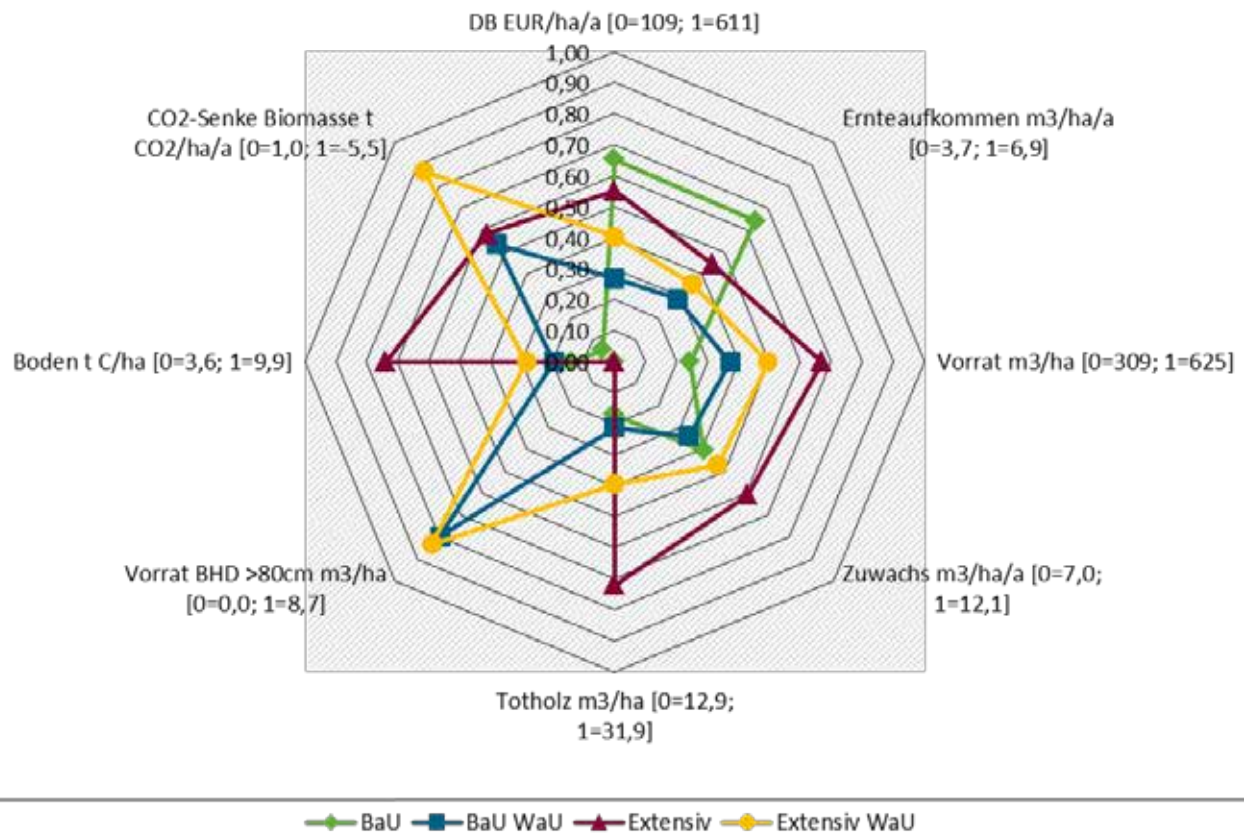
Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 7-6: Beispiel 1 – Fichtenumbau: Einfluss des Produktionssystems auf die Ressourcenschöpfung in verschiedenen Szenarien für den Zeitraum 2012-2112



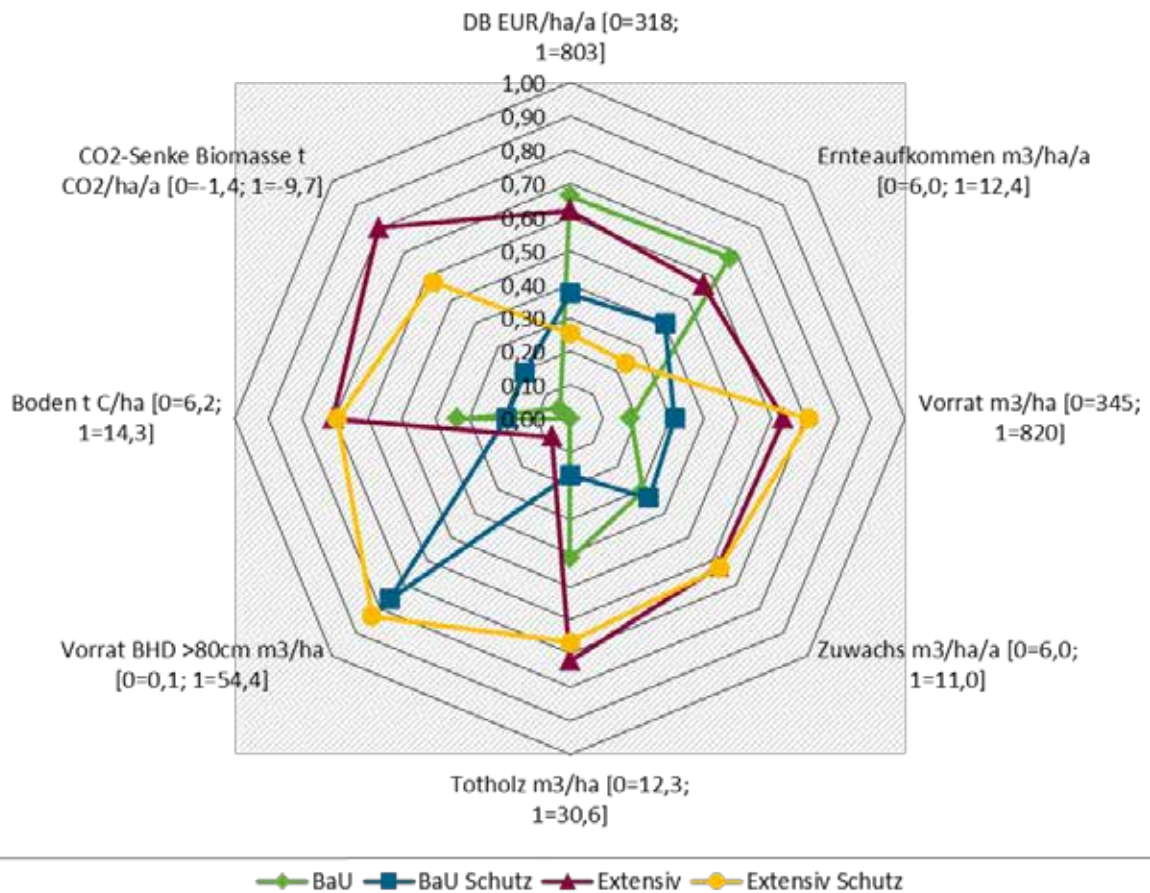
Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 7-7: Beispiel 2 – Kiefernurnbau: Einfluss des Produktionssystems auf die Umweltindikatoren in verschiedenen Szenarien pro ha für den Zeitraum 2012-2112



Quelle: Eigene Berechnungen

Abbildung 7-8: Beispiel 3 – Buchennaturschutz: Einfluss des Produktionssystems auf die Umweltindikatoren in verschiedenen Szenarien pro ha für den Zeitraum 2012-2112



Quelle: Eigene Berechnungen

Extensivierung zieht in nahezu allen Szenarien eine Reduktion der Erntemengen bzw. des Deckungsbeitrags nach sich im Vergleich zur BaU-Szenario. Durch die Berechnung der nachhaltigen Ressourcenleistung, die das Produkt des skalierten Deckungsbeitrags mit den einzelnen Indikatoren bildet, wird der Deckungsbeitrag als Nutzen miteinbezogen und die damit ökonomische Produktivität der Szenarien. Abbildung 7-9 stellt die nachhaltige Ressourcenleistung der Indikatoren als Spinnendiagramm dar. Das Extensiv-Szenario erreicht die höchsten Werte bei fünf der sieben Indikatoren (ohne Deckungsbeitrag) mit großem Abstand zu den anderen Szenarien. Szenario BaU erreicht aber den höchsten Wert im Ernteaufkommen, dicht gefolgt vom Extensiv-Szenario.

Tabelle 7-6 stellt eine Zusammenfassung der Bewertung der nachhaltigen Ressourcenleistung für die Szenarien der untersuchten Beispiele forstwirtschaftlicher Produktionssysteme dar. Tabelle 7-7 fasst die Werte der Spinnenabbildungen als ungewichtete Mittelwerte zusammen und erlaubt damit eine Bewertung der Ressourcenleistung der Szenarien bezogen auf das gesamte Produktionssystem. Wie zuvor bei der Betrachtung der meisten einzelnen Indikatoren, stellen sich in allen drei Fällen die Extensiv-Szenarien als vorteilhafter gegenüber BaU-Szenarien dar. Das liegt daran, dass die sechs Umweltindikatoren die zwei Nutzenindikatoren überwiegen. Werden die Mittelwerte nicht gewichtet berechnet, entsteht somit eine Schieflage hin

zur größten Indikatorgruppe. Diese Schieflage muss bei der Interpretation der Mittelwerte berücksichtigt werden.

Im Fichtenumbaubeispiel erzielt das Extensiv-Szenario eine höhere Ressourcenleistung als es das BaU-Szenario erreicht. Der Waldumbau verringert diese wegen eines reduzierten Deckungsbeitrags. Extensivierung erhöht die Ressourcenleistung auch im Kiefernumbaubeispiel. Das Extensiv-Szenario im Fall des Buchennaturschutzbeispiels erwirtschaftet durch den höheren Stammholzanteil vor allem gegen Ende des Simulationszeitraums einen kaum niedrigeren Deckungsbeitrag als das BaU-Szenario. Die Ressourcenschonung, ausgedrückt durch die skalierten Umweltindikatoren, ist aber besonders hoch, weshalb diese Variante eine besonders hohe Ressourcenleistung für alle Umweltindikatoren und so auch im Mittelwert erzielt.

Mit Hilfe der skalierten Werte in den Spinnenabbildungen sowie der Berechnung der nachhaltigen Ressourcenleistung lassen sich die wesentlichen Unterschiede zwischen den Szenarien darstellen und diskutieren. Die hier vorgenommene Auswahl der Indikatoren hing u.a. von der Verfügbarkeit von Daten und der Integrierbarkeit ins Modell ab. Vor allem Modellvariablen, die bessere Aussagen zu Naturschutzbelangen zulassen, wie die Qualität von Totholz, das Vorkommen von Habitatbäumen oder auch der Grad der Naturnähe könnten eine noch differenziertere Betrachtung liefern.

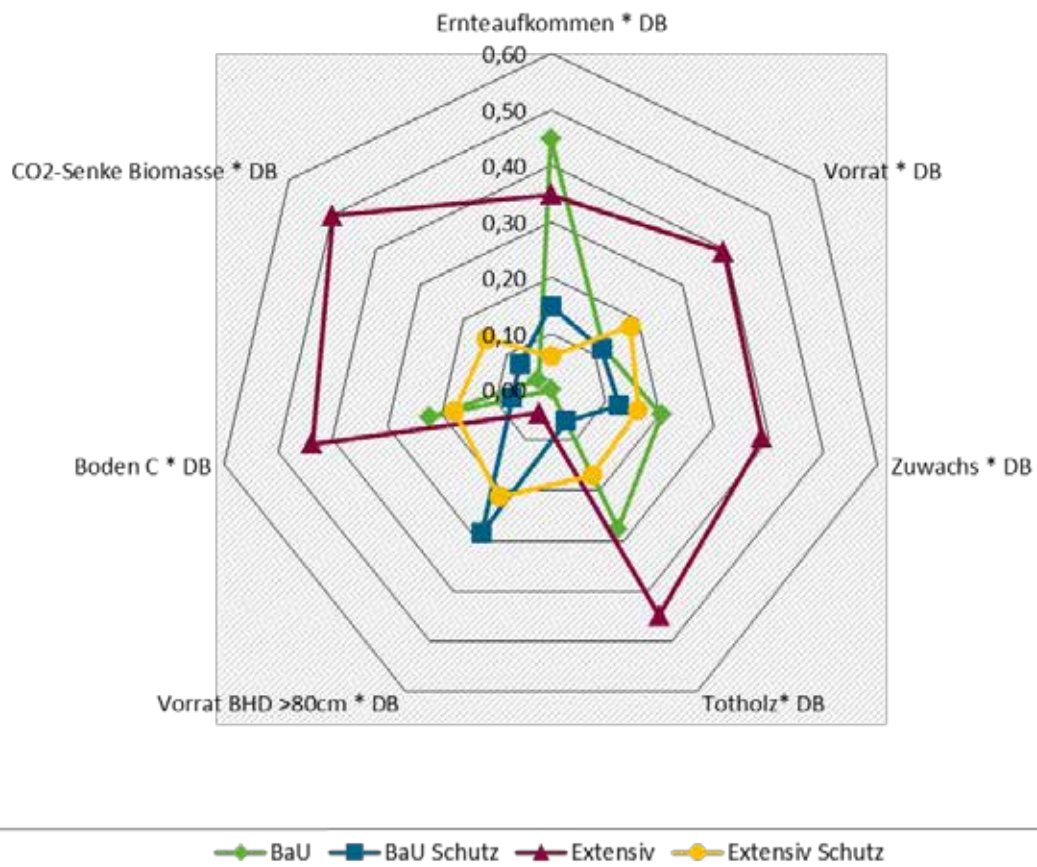
Tabelle 7-6: Zusammenfassung der Bewertung der nachhaltigen Ressourcenleistung (skalierter Umweltindikator \* skalierter Deckungsbeitrag) im Mittel 2012-2112 für die Beispiele und jeweiligen Szenarien

| Szenario                | Beispiel 1 - Fichtenumbau |         |          |              | Beispiel 2 - Kiefernumbau |         |          |              | Beispiel 3 - Buchennaturschutz |            |          |                 |
|-------------------------|---------------------------|---------|----------|--------------|---------------------------|---------|----------|--------------|--------------------------------|------------|----------|-----------------|
|                         | BaU                       | BaU WaU | Extensiv | Extensiv WaU | BaU                       | BaU WaU | Extensiv | Extensiv WaU | BaU                            | BaU Schutz | Extensiv | Extensiv Schutz |
| Ernteaufkommen * DB     | 0,52                      | 0,05    | 0,45     | 0,03         | 0,42                      | 0,08    | 0,25     | 0,14         | 0,45                           | 0,15       | 0,35     | 0,06            |
| Vorrat * DB             | 0,12                      | 0,11    | 0,30     | 0,12         | 0,16                      | 0,10    | 0,37     | 0,20         | 0,12                           | 0,12       | 0,39     | 0,18            |
| Zuwachs * DB            | 0,31                      | 0,07    | 0,41     | 0,10         | 0,27                      | 0,09    | 0,33     | 0,19         | 0,20                           | 0,12       | 0,39     | 0,16            |
| Totholz* DB             | 0,36                      | 0,03    | 0,50     | 0,04         | 0,11                      | 0,06    | 0,40     | 0,16         | 0,28                           | 0,06       | 0,45     | 0,17            |
| Vorrat BHD >80cm * DB   | 0,00                      | 0,15    | 0,00     | 0,14         | 0,00                      | 0,21    | 0,00     | 0,34         | 0,00                           | 0,28       | 0,05     | 0,21            |
| Boden C * DB            | 0,09                      | 0,14    | 0,28     | 0,12         | 0,09                      | 0,05    | 0,41     | 0,11         | 0,22                           | 0,07       | 0,44     | 0,18            |
| CO2-Senke Biomasse * DB | 0,04                      | 0,11    | 0,07     | 0,14         | 0,04                      | 0,14    | 0,32     | 0,35         | 0,03                           | 0,07       | 0,50     | 0,15            |

Quelle: Eigene Berechnungen



Abbildung 7-9: Beispiel 3 – Buchennaturschutz: nachhaltige Ressourcenleistung von Produktionssystemen in verschiedenen Szenarien für den Zeitraum 2012-2112



Quelle: Eigene Berechnungen



Tabelle 7-7: Mittelwerte der nachhaltigen Ressourcenleistung im Mittel 2012-2112 für jedes Beispiel in den verschiedenen Szenarien

| Szenarien                                                    | Beispiel 1 –<br>Fichtenumbau | Beispiel 2 –<br>Kiefernumbau | Beispiel 3 –<br>Buchennaturschutz |
|--------------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| <b>BaU-Szenario (BaU)</b>                                    | 0,21                         | 0,15                         | 0,19                              |
| <b>BaU-Szenario mit Waldumbau (BaU WaU)</b>                  | 0,10                         | 0,11                         | -                                 |
| <b>BaU-Szenario mit Schutzflächen (BaU Schutz)</b>           | -                            | -                            | 0,13                              |
| <b>Extensiv-Szenario (Extensiv)</b>                          | 0,29                         | 0,30                         | 0,37                              |
| <b>Extensiv-Szenario mit Waldumbau (Extensiv WaU)</b>        | 0,10                         | 0,21                         | -                                 |
| <b>Extensiv-Szenario mit Schutzflächen (Extensiv Schutz)</b> | -                            |                              | 0,16                              |

Quelle: Eigene Darstellung

## 8 Diskussion zur Bewertung des Ansatzes und seiner Anwendung

Ziel des Vorhabens war es, einen mehrdimensionalen Bewertungsansatz zu entwickeln, anhand dessen Ressourceneffizienz bei der Nutzung verschiedener natürlicher Ressourcen beschrieben und bewertet werden kann. Anhand der beispielhaft modellierten Produktionssysteme sollte der Bewertungsansatz getestet werden.

Der Bewertungsansatz setzt sich aus folgenden Aspekten zusammen:

- ▶ Darstellung skalierten Indikatoren zu Umweltaspekten, Deckungsbeitrag und Futter-Eigenanbau;
- ▶ Berechnung der nachhaltigen Ressourcenleistung zu Umweltindikatoren in Relation zum Deckungsbeitrag;
- ▶ Darstellung der Ergebnisse als Spinnendiagramm.

Die Anwendung des Bewertungsansatzes erfolgte anhand modellierter Datensätze für verschiedene Land- und Forstbetriebssysteme. Die Kalibrierung der eingesetzten Modelle und die in Kapitel 5 und 6 beschriebenen Schritte der Systemdefinition, der Bilanzierung und der Szenario Entwicklung waren hierfür entscheidende Vorarbeiten die im Rahmen des Vorhabens ebenfalls umgesetzt wurden. Diese aufwändigen Vorarbeiten waren notwendig, da es sich bei dem vorliegenden Vorhaben um Vorlaufforschung handelt, die nicht direkt der Anwendung dient, sondern v.a. dem Erkenntnisgewinn und die vorbereitende Funktion hat, beispielsweise um die Frühwarnsysteme des UBA auszubauen und um die Politik zu beraten (UBA 2014/Forschungsprogramm des UBA 2015-2017).

Das Modell und der verwendete Szenariodatensatz wurden im Vorhaben entwickelt und auf Robustheit und Plausibilität der Ergebnisse überprüft. Dennoch ist es notwendig bei der Betrachtung der Ergebnisse des Bewertungsverfahrens zu hinterfragen: Liefert die Bewertung schlüssige und belastbare Ergebnisse und lassen sich Beobachtungen auf den Bewertungsansatz, das Modell oder auf bestimmte Annahmen zurückführen?

### 8.1 Generelle Eignung des Bewertungsansatzes

#### 8.1.1 Konzept der nachhaltigen Ressourcenleistung

Im Rahmen des Vorhabens wurde für die Bewertung der Begriff der nachhaltigen Ressourcenleistung neu eingeführt und als mathematisches Produkt von skalierten Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen (Ressourcenschonung) und skaliertem Nutzen definiert.

Die Indikatoren für die Inanspruchnahme der Ressourcen wurden so skaliert, dass bei steigender Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen deren Wert immer kleiner wird, d.h. bei gleichem Nutzen verkleinert sich der Wert der nachhaltigen Ressourcenleistung. Dabei ist die Skalierung so gewählt, dass der beste Fall stets auf 1 und der schlechteste auf Null gesetzt wurden. Ein hoher Wert zeigt damit nicht die hohe Inanspruchnahme an, sondern eher das Gegenteil, nämlich die Ressourcenschonung.

Die nachhaltige Ressourcenleistung erlaubt eine Betrachtung der mehrdimensionalen Inanspruchnahme von natürlichen Ressourcen, bzw. der Ressourcenschonung, in dem die Dimensionen auf eine gemeinsame Werteskala gebracht werden. Theoretisch lässt sich auch der im Vorhaben betrachtete ökonomische Nutzen als Teil der Gleichung ausdehnen auf (monetär bewertete) andere Ökosystemleistungen. Die Ressourcenschutzstrategie stellt die klassische Ressourceneffizienz als einen Schlüsselindikator ins Zentrum. Das Konzept der nachhaltigen Ressourcenleistung kann direkt an das Konzept der Ressourceneffizienz anschließen und diesen erweitern. Die nachhaltige Ressourcenleistung verknüpft zudem die Begriffe Ressource und Ökosystemleistung zu einem neuen Begriff.

Das Vorhaben liefert damit einen nachvollziehbaren, transparenten und umfassenden Ansatz, welcher zur mehrdimensionalen Bewertung der nachhaltigen Ressourcenleistung bei der Biomassebereitstellung genutzt werden kann. In Zusammenhang mit den verwendeten land- und forstwirtschaftlichen Modellen wurde der Bewertungsansatz erfolgreich angewandt. Auch für andere Modellierungstools oder auch spezifische Datenerhebungen ist damit ein alternativer Baukasten verfügbar, der die Bewertung von Ressourceneffizienz in der Praxis ermöglicht. Bei Verknüpfung des Ansatzes mit einem geografischen Informationssystem, wären detaillierte räumliche Analysen und auch die Erweiterung der verwendeten Indikatoren möglich.

Gleichwohl legen die Ergebnisse (v.a. die Besserstellung des intensiveren Systems bei Einbezug des produzierten Nutzens) nahe, dass positive Effekte der Ökosystemleistung viel stärker in den Nutzen zu integrieren sind (z.B. bei extensiveren Produktionssystemen), um zu ausgewogeneren Ergebnissen für die nachhaltige Ressourcenleistung zu gelangen.

Aus Sicht der nachhaltigen Ressourcenleistung kommen die Vorteile des intensiven Produktionssystems mit der hohen Produktivität je Flächeneinheit nur zum Tragen, wenn Flächen eingespart würden, auf denen keine Nutzung stattfindet, und diese dann zentrale Umweltfunktionen übernehmen. Ein solches System würde eine gewisse Segregation darstellen, da Flächen somit arbeitsteilig die Funktion von intensiver Produktion und ökologischer Dienstleistung erfüllen würden. Aus dieser Betrachtung wird deutlich, wie wichtig die Einbeziehung des Flächenbezugs in einen um Umweltgrößen erweiterten Produktionsbegriff ist, wofür das Vorhaben eine Grundlage geliefert hat.

### 8.1.2 Erweiterung des Ansatzes

Wie in der klassischen Definition der Ressourceneffizienz bleibt der entwickelte Bewertungsansatz bei dem monetären Wert des Nutzens in Form des Erlöses für Biomasse. Die Reduktion des Nutzens auf die Herstellung der Biomasse und der damit verbundenen Erlöse zu beschränken, führt zu einer Besserstellung des Systems in dem der größte Erlös aus der Produktion gebildet wird. Ein solches System berücksichtigt keinen zusätzlichen Nutzen (i.S. einer Schonung der Ressourcen), wie z.B. höhere Preise für extensiver erzeugte Produkte, noch Lasten z.B. durch erhobene Ordnungsgelder, Sanktionierung durch Kürzung von Prämien und Beihilfen bei Wirtschaftsweisen, die die Umweltqualitätsziele in Gefahr bringen. Für eine Erweiterung gibt es verschiedene Optionen:

- ▶ Es könnte die Gewichtung der Indikatoren geändert werden um z.B. Biodiversitätsindikatoren höher zu gewichtet und somit zusätzliche Lasten und Inanspruchnahmen, die nicht quantifiziert werden können, zu berücksichtigen.
- ▶ Eine Erweiterung der Darstellung des Nutzens aus Ökosystemleistungen, die monetarisiert werden um externe Kosten zu internalisieren. Dafür könnten Lasten durch Ordnungsgelder, verringerte Prämien in die Nutzenermittlung einbezogen werden. Andere Methoden zur Ermittlung des Nutzens nicht-monetärer Ökosystemleistungen wurden in Kapitel 3.2.1 erläutert.
- ▶ Eine Veränderung der Skalierung des Nutzens könnte zusätzliche Aspekte berücksichtigen. Allerdings würde die Bewertung dadurch deutlich intransparenter.

Im Rahmen des Projektes war es nicht vorgesehen ein Rechenmodell für die Monetarisierung externer Kosten zu entwickeln. Damit spiegeln die Ergebnisse die heutigen Bedingungen wider, in denen es nicht wirtschaftlich ist, Erträge einzubüßen um Ressourcen zu schonen. Die Verwendung eines erweiterten Datensatzes der explizit Lasten und Ressourcenschonung berücksichtigt kann hier Abhilfe leisten.

## 8.2 Einflüsse der Modellierung und Berechnung auf das Ergebnis der Bewertung

Die Berechnung der nachhaltigen Ressourcenleistung wie auch aller anderen Bewertungsansätze reagiert sensibel auf alle Inputgrößen und Annahmen die sowohl für die Modellierung als auch für die Bewertung verwendet wurden. Welcher Schritt den größten Einfluss auf die Ergebnisse hat, lässt sich nur anhand aufwändiger Sensitivitätsanalysen ermitteln. Diese sind nicht immer möglich. Eine Plausibilitätsüberprüfung der verschiedenen Schritte ist vor der erstmaligen Anwendung daher unerlässlich. Die folgenden Leitfragen können zur Überprüfung des Bewertungsansatzes dienen.

- ▶ Ist die Szenarienausgestaltung differenziert genug, damit Unterschiede in den Produktionssystemen sichtbar werden?
- ▶ Spiegeln die Szenarien plausible Ergebnisse wider?
- ▶ Ist die funktionelle Einheit des Nutzens richtig gewählt, so dass sich Aussagen für die zu vergleichenden Systeme treffen lassen?
- ▶ Sind die ausgewählten Indikatoren ausreichend vollständig um die Inanspruchnahme von natürlichen Ressourcen zu beschreiben, sind sie messbar und modellierbar?
- ▶ Fließen alle wichtigen Parameter in die Berechnung der Indikatoren ein und werden folglich mit bewertet?
- ▶ Ist die Skalierung der Indikatoren sensitiv genug, so dass Unterschiede zwischen System in einer sinnvollen Relation stehen?
- ▶ Wurden tolerierbare Größenordnung oder Grenzwerte bei der Skalierung mitberücksichtigt?
- ▶ Sind die berücksichtigten Grenzwerte in der Skalierung wissenschaftlich oder gesellschafts-politisch akzeptiert?

Im Folgenden werden einige der Fragen in Bezug auf das Vorhaben kritisch diskutiert.

### 8.2.1 Vollständigkeit der Indikatoren zur Beschreibung der Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen

Die Frage nach der Vollständigkeit der Umweltindikatoren betrifft das gewählte Set an Indikatoren und die damit zusammenhängende Frage, ob alle relevanten Umweltproblemfelder erfasst sind, die für die Bewertung von Land- und Forstwirtschaftsweisen sinnvoll und notwendig sind. Die Relevanz der Indikatoren spiegelt auch immer die derzeitige gesellschaftliche Diskussion wider. Fehlte in einer Vielzahl der früheren Bewertungsansätze der Indikator Treibhausgasemissionen, so wurde er in den neueren Versionen der Bewertungsansätze ergänzt. In der Praxis ist die Auswahl der Indikatoren abhängig von verfügbaren Daten und der räumlichen Systemgrenze. Diese Hintergründe spielten auch bei der Auswahl der Indikatoren des hier entwickelten Bewertungsansatzes eine Rolle. Da keine Bewertung auf der Betriebsebene erfolgte, wurden managementabhängige Indikatoren wie z.B. Ammoniakemissionen nicht berücksichtigt. Ebenso wurden auf Grund der gewählten Systemgrenze energiebedingte CO<sub>2</sub> Emissionen bei der Berechnung des Indikators Treibhausgasemissionen nicht einbezogen.

Der Bewertungsansatz sollte über die Auswahl der Indikatoren und der Festlegung des Nutzens in der Lage sein, die Bedingungen im Produktionssystem ausreichend abzubilden. Mit fünf ausgewählten Umweltindikatoren (Treibhausgasemissionen, Biodiversität, N-Saldo, Humussaldo und Nährstoffbelastung Gewässer) sowie den beiden zusätzlichen Indikatoren Deckungsbeitrag und Futter-Eigenanbau in der Landwirtschaft sowie sechs Umweltindikatoren (Holzvorrat, Zuwachs, Totholzvorrat, CO<sub>2</sub>-Senke Biomasse, Bodenkohlenstoff und Bestandesstrukturen) neben Holzaufkommen und Deckungsbeitrag in der Forstwirtschaft konnte im Vorhaben bereits ein aussagekräftiges Bild der Produktionssysteme gezeichnet werden, bei einem überschaubaren Daten- und Modellierungsaufwand.

Die hier betrachteten Umweltindikatoren spiegeln außerdem direkt oder indirekt einen Großteil der Wirkungskategorien wider, die für Ökobilanzen zugrunde gelegt werden (Jolliet et al. 2004): Die Emission von reaktivem Stickstoff wirkt ein auf Klimaänderung, Versauerung, Eutrophierung. Flächeninanspruchnahme ist über den Ertrag aber auch über Ausgleichsflächen direkt adressiert. Die betrachteten Aspekte zur Biodiversität umfassen die Zerstreuung von Spezies und Organismen, biotische Ressourcenzerstörung sowie auch Ökotoxizität. Nicht betrachtet sind dagegen Humantoxizität, Unfälle, Lärm, Bildung von Photooxidantien, Ozonzerstörung und abiotische Ressourcenzerstörung. Grundsätzlich ist der Bewertungsansatz offen, um die Auswahl der Indikatoren zu erweitern (z.B. Ammoniak).

Der zweite Aspekt von Vollständigkeit betrifft die den Indikator steuernden Parameter. Im vorliegenden Bewertungsansatz ist dies u.a. für die Indikatoren Treibhausgasemissionen und Biodiversität relevant. Durch die Nichtberücksichtigung von CO<sub>2</sub> Emissionen z.B. aus der Vorkette der Düngemittelproduktion spiegeln sich nicht alle Vorteile von extensiveren Produktionssystemen mit geringeren Mineraldüngereinsätzen in dem Indikator THG wider. Bei der Bewertung der Biodiversität wurde die Berücksichtigung von Grünlandqualitäten außer Acht gelassen. Gerade zu den Wirkungen auf die Biodiversität gibt es durchaus Erweiterungsbedarf. Beispielsweise gibt die Zahl der Fruchtfolgeglieder zwar bereits einen Hinweis auf dessen Strukturvielfalt, doch eine differenziertere Darstellung bezogen auf die einzelnen Kulturpflanzen könnte hier weitere Aussagetiefe schaffen. Zusammen mit Aussagen zur Schlaggröße (nicht berücksichtigt) in Kombination mit Angaben zu Struktur- und Habitatflächen (bereits enthaltenen), könnte so eine Aussage zu Strukturarmut einer Agrarlandschaft gemacht werden. Allerdings muss bei der Auswahl der Parameter zur Beschreibung der entsprechenden Indikatoren (wie beispielsweise der Biodiversität) der wissenschaftliche Beleg vorhanden sein, dass dieser Parameter einen Einfluss auf den Umweltindikator hat. Ähnlich könnten in der Forstwirtschaft zusätzliche Modellvariablen berücksichtigt werden, die bessere Aussagen zu Naturschutzbelangen zulassen, wie die Qualität von Totholz, das Vorkommen von Habitatbäumen oder auch der Grad der Naturnähe und könnten so eine noch differenziertere Betrachtung liefern.

Bei Verknüpfung des Ansatzes mit einem geografischen Informationssystem wie die MAES Initiative<sup>16</sup> es auf europäischer Ebene anstrebt, wären detaillierte räumliche Analysen und auch die Erweiterung der Indikatoren möglich. Für geografisch explizite Analysen bedarf es entsprechender Indikatoren, die in Deutschland zu einem Großteil bereits zur Verfügung stehen (Albert et al. 2016).

### 8.2.2 Wahl des Referenzsystems auf das Bewertungsergebnis

Methodisch ausgearbeitete Bewertungssysteme sollen transparente und reproduzierbare Bewertungen liefern und ein möglichst hohes Maß an Objektivität erzeugen. Trotzdem erfolgt die Einordnung der Ergebnisse immer in Abhängigkeit von Wertevorstellungen und Bewertungszweck und Bewertungen sind damit per se nicht objektiv. Die Wertvorstellungen fließen an dem Punkt ein, wenn die Einzelergebnisse einer multikriteriellen Bewertung vergleichbar gemacht werden (Skalierung), z.B. wenn der Frage nachgegangen wird ob ein Produktionssystem in Bezug auf ein Umweltproblem einen besonders großen Beitrag hat. Bei der Skalierung werden die Größen mit verschiedensten Einheiten in dimensionslose Größen überführt. Das erfolgt über die die Einordnung der Ergebnisse jedes einzelnen Indikators in ein Referenzsystem bzw. in bestehende Grenz- und Zielwerte. Hier können beispielsweise die Umweltauswirkungen der Produktion bewertet werden, wobei dann die Frage im Vordergrund steht, wie langfristig die Qualität der Umwelt erhalten oder verbessert werden kann oder ob der Fokus auf dem Erhalt der Produktivität der Landwirtschaft liegt.

<sup>16</sup>MAES, Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services, <http://biodiversity.europa.eu/maes>

Wie groß der Einfluss des Bewertungszwecks ist, wird anhand des Beispiels für die Stickstoffüberschüsse deutlich. Für diesen Indikator sind abgesicherte Grenzwerte verfügbar, die verschieden interpretiert werden können: Liegt das gewählte Optimum für den Stickstoffüberschüsse im KSNL System zwischen 0 und 20 kg N/ha, während im DLG Nachhaltigkeitsbericht 2016 die Zielerreichung des Grenzwertes der Düngverordnung von 60 kg N/ha als Optimum genannt wird. Das KSNL System setzt das Optimum aus der Logik der Umweltbelastungen, wonach das Optimum für Stickstoffüberschüsse zwischen 0 und 20 kg N liegt. Gleichzeitig wird ein Toleranzbereich eingeführt, der als obere Grenze den Grenzwert der Stickstoffüberschüsse auf 50 kg N/ha als maximal tolerierbar festlegt. In der Praxis liegt der Stickstoffüberschuss in vielen Regionen allerdings weit über diesem Wert (z.B. in Regionen mit hohen Tierbestandsdichten oder mit einem hohen Anteil an Gartenbau). Das gewählte Optimum des Nachhaltigkeitsberichts spiegelt diese Tatsache wider, indem der Zielwert als 60 kg N/ha festgelegt wird und die derzeitigen Abweichungen in der Praxis im Zeitverlauf angezeigt werden. Trotz eindeutig festgelegter Grenzwerte in der Düngverordnung unterscheidet sich die verwendete Skalierung für Stickstoffüberschüsse erheblich zwischen den beiden Nachhaltigkeitsbewertungssystemen. Damit bleibt die Bewertung immer abhängig von der Sicht des Betrachters.

Eine ähnliche Problematik zeigt sich auch bei der Einordnung des Indikators Treibhausgasemissionen in ein Referenzsystem. Die bestehenden Zielwerte aus dem Klimaschutzplan 2050 (BMUB 2016b) legen eine notwendige Reduktion der THG aus der Landwirtschaft bis zum Jahr 2030 um ca. 20 % ggü. 2015 nahe. Die Bewertung des Indikators Treibhausgase im DLG Nachhaltigkeitsbericht erfolgt anhand des Indikators CO<sub>2</sub> Äquivalent pro produzierter Getreideeinheit. Damit wird die Effizienz der Produktion in Bezug auf die Treibhausgase angezeigt, allerdings steigen bei einer erhöhten Produktion von Getreideeinheiten auch die Gesamtemissionen des Landwirtschaftssektors, wodurch das Ziel des Klimaschutzplans verfehlt werden könnte. Damit ist die Ausgestaltung des Indikators ungeeignet, um die Erreichung der Klimaschutzziele im Landwirtschaftssektor zu messen. Für die Bewertung einer anderen Zielsetzung z.B. der CO<sub>2</sub> Intensität pro Produkt bewährt sich die Ausgestaltung des Indikators.

Bei der Skalierung ist darauf zu achten, dass auf der Skala 1 das Optimum für die Ressource dargestellt wird und die Einheit des Indikators flächenbezogen und nicht produktbezogen gewählt wird. Im anderen Fall wird durch die Auswahl der Umweltindikatoren schon implizit die Produktivität des Landwirtschaftssektors abgebildet. Bei der Bewertung der Inanspruchnahme der natürlichen Ressourcen sollte das Optimum immer als Bestfall für die Ressource definiert werden und keine Orientierung an den gängigen Praxiswerten erfolgen. Dies ist auch nicht notwendig, da durch den letzten Schritt, die Ausweisung der Ressourcenleistung, der Nutzen (hier als Deckungsbeitrag) der gängigen Betriebspraxis einbezogen und adäquat berücksichtigt wird.

Für die Anwendung des Bewertungsansatzes der nachhaltigen Ressourcenleistung müssen auch bei möglichen Erweiterungen alle verwendeten Indikatoren überprüft werden bzw. durch Expertengremien und Beteiligungsprozesse geschaffen oder zumindest abgesichert werden. Generell fehlt es an einer gesellschaftlich akzeptierten Normierung für einzelne Indikatoren. Daher sollte die Anwendung des Bewertungsansatzes und vor allem die Normierung der Indikatoren immer innerhalb eines Stakeholder Dialogs aufgesetzt werden.

### 8.2.3 Wahl der funktionellen Einheit des Nutzens

Die Festlegung der funktionellen Einheit hängt ebenso wie die des Referenzsystems vom Bewertungszweck ab. Das hier vorgestellte Verfahren kann sowohl auf physische Ausgangsgrößen wie Massen oder Getreideeinheiten bezogen werden, was als Ausgabegröße beispielsweise dem Gedanken der Versorgung nähersteht. Die zweite Möglichkeit sind ökonomische Größen, hier der Deckungsbeitrag, die wichtige betriebswirtschaftliche Anhaltspunkte liefern können. Der Deckungsbeitrag ist sehr variabel und volatil gegenüber dem Marktgeschehen. Eine Förderung von Biodiesel oder Biogas oder auch die Zuckerrübenquote kann zu



einer Veränderung der Aussage über die nachhaltige Ressourcenleistung führen, wenn als funktionelle Einheit des Nutzens der Deckungsbeitrag gewählt wird. Bei einem betriebswirtschaftlichen Fokus ist das Bewertungssystem also gegenüber Marktpreisveränderungen sehr sensibel, was aber angemessen ist, wenn das System beispielsweise angewendet werden sollte um Anhaltspunkte für Vermeidungskosten zu geben.

#### **8.2.4 Gewichtung der adressierten Umweltproblemfelder**

Objektivität geht in noch stärkerem Maße verloren, wenn die verschiedenen Kriterien am Ende zu einer Bewertungsgröße zusammengefasst werden. Hierbei findet immer auch eine Gewichtung der einzelnen Bewertungskriterien statt. Auch eine Gleichgewichtung stellt eine Gewichtung dar und ist somit nicht neutral. Im Rahmen der Bearbeitung wurde davon ausgegangen, dass die Umweltwirkungen, die die betrachteten Indikatoren repräsentieren, gleichermaßen wichtig sind. Daher sind sie bei der Ermittlung der Ressourcenleistung gleich gewichtet eingeflossen. Andere Gewichtungen wurden nicht getestet, obwohl es hierfür erprobte Methoden gibt (z.B. eine Bewertung durch Paarvergleiche von jeweils zwei Kriterien).

Eine andere Möglichkeit der Gewichtung der Umweltproblemfelder besteht in der Einbeziehung der Frage, welchen Anteil ein Sektor an der Entstehung eines Umweltproblems hat. Beispielsweise könnte vor diesem Hintergrund die Bedeutung der Eutrophierung und Versauerung (durch hohe Emissionen reaktiver Stickstoffverbindungen) oder des Biodiversitätsverlustes (durch den großen Flächenbezug) höher gewichtet werden als der Klimawandel. Dieser Ansatz wurde hier jedoch nicht verfolgt. Inwiefern so ein Vorgehen gewünscht wird, könnte ebenfalls im Rahmen eines Beteiligungsverfahrens ausgearbeitet werden.

#### **8.2.5 Realitätsnähe der Szenarienausgestaltung**

Für die Berechnungen der Szenarien wurde als räumliche Einheit der „natürliche Ressourcenraum“ betrachtet. Die Ausgestaltung der Szenarien basierte auf der Frage, was innerhalb dieses Ressourcenraums möglichst eigenständig produziert werden kann und wie sich das Produktionsniveau verändert wenn extensiviert wird. Diese Vorgaben führten im Beispiel der landwirtschaftlichen Produktionssysteme dazu, dass die Szenarien eine hohe Erzeugung an Marktfrüchten mit einer hohen pflanzlichen Biomasseproduktion abbildeten und gleichzeitig eine relativ geringe Tierbestandsdichte mit der eine hohe Eigenfuttermittellversorgung gewährleistet war. Dieser Ansatz wurde gewählt, um Veränderungen in der Produktion möglichst direkt im betrachteten Betrieb zu betrachten und nicht ausgelagert auf die Vorketten importierter Futtermittel. Es sollte damit gezeigt werden, dass der Bewertungsansatz auch in der Lage ist die Umweltfolgen von mittleren Bewirtschaftungsintensitäten abzubilden. Der Nachteil dieses Ansatz zeigte sich jedoch darin, dass nicht alle in der Realität vorkommenden landwirtschaftlichen Produktionssysteme dargestellt werden konnten. Die Umweltprobleme in den Regionen mit hohen Tierbestandsdichten wurden daher mit der Auswahl der Szenarien nicht abgebildet. Als Szenariovariante wurde in 6.1.2 allerdings ebenfalls der Einfluss von höheren Tierbestandsdichten auf die Indikatoren getestet.

Das Bewertungssystem muss über die Auswahl der Umweltindikatoren und der Festlegung des Nutzens in der Lage sein, die Variation der Parameter im Produktionssystem lückenlos abzubilden. Dazu müssen sowohl der Nutzen (bezüglich der Produktivität) als auch die Umweltindikatoren (die Dimensionen der Umweltbewertung) entsprechend auf Änderungen reagieren. Legen die Ergebnisse den Schluss nahe, dass die Umweltindikatoren weniger sensibel reagieren als die Produktion, erfordert dies eine Überprüfung der Reaktion der einzelnen Indikatoren. Das bedeutet, eine Reduktion des Nutzens durch eine geringere Produktion sollte zu einer adäquaten Verbesserung der Umweltindikatoren führen. Ist dies nicht der Fall, hat die Änderung der Produktion entweder keinen Umweltnutzen, oder die Bewertung muss überprüft werden.

Insgesamt haben Indikatoren und Nutzen diesbezüglich in den Szenarien plausibel reagiert und schlüssige Werte geliefert. Es ist lediglich eine Ausnahme beim Hackfrüchteanbau zu beobachten. Ein hoher Anteil von Hackfrüchten (Kartoffeln und Zuckerrübe) in der Fruchtfolge im Marktfruchtszenario verglichen mit einem

geringen Anteil von Hackfrüchten im stark-Extensiv-Szenario hat wesentliche Auswirkungen auf die bisher gewählte funktionelle Einheit des Nutzens, den Deckungsbeitrag. Damit wurde im Marktfruchtszenario ein doppelt so hoher Deckungsbeitrag erzielt wie in den beiden anderen Szenarien (siehe Tabelle 6-5). Werden im extensiven System keine Hackfrüchte mehr angebaut sinkt zwar der Nutzen, allerdings schlägt als einziger Indikator die Humusbilanz aus, während für alle anderen Indikatoren kein großer Einfluss zu sehen ist. Das die Umweltparameter so reagieren ist an sich plausibel, aber es muss die Frage gestellt werden, ob der Deckungsbeitrag die richtige funktionelle Einheit ist um den Nutzen des Systems abzubilden.

Weiterhin muss hinterfragt werden ob die in der Modellierung hinterlegten Informationen zum Deckungsbeitrag der Hackfrüchte schlüssig sind. Hackfrüchte liefern insbesondere auf Böden mit hohen Ertragsmesszahlen besonders hohe Erträge. Die hier betrachteten Szenarien sollten aber nicht explizit Börden-/Lössböden darstellen, da die übrigen Systemparameter nicht dazu passen. Das ist ein Hinweis darauf, dass die Kriterien für verschiedene Standorte differenziert betrachtet und bewertet werden müssen (standortangepasste Optimalzustände) wodurch regional differenziertere Ergebnisse entstehen würden. Eine entsprechende Weiterführung der Arbeiten ist wünschenswert um verschiedene Standorte vergleichen zu können und um Modell und Bewertungssystem weiter zu testen.

Im Fall der forstwirtschaftlichen Beispiele zur Erprobung des Bewertungsansatzes zeigte sich die Abhängigkeit der Ergebnisse von den angenommenen Start- und Transitionsbedingungen. Eine Extensivierung der Bewirtschaftung durch Erhöhung von Zieldurchmessern, wie sie dargestellt wurde, wirkt relativ stark und schnell in Beständen, die die Zielstärke des konventionellen Systems bereits erreicht haben. In jüngeren Beständen können die Auswirkungen dagegen um Jahrzehnte unsichtbar bleiben. Das erfordert sinnvolle Zeithorizonte für die Modellierung, die allerdings die Unsicherheiten der Modellierung begrenzen und die Aussagefähigkeit des Modells für diese Zeithorizonte gewährleisten müssen.

### 8.2.6 Ergebnisse und Darstellung

Eine Aufgabe des Vorhabens war es, die Zusammenhänge zwischen Effizienzsteigerungen in der Biomasseproduktion und Auswirkungen auf natürliche Ressourcen und Umweltlasten darzustellen. Mit Hilfe des Bewertungsansatzes kann die nachhaltige Ressourcenleistung eines zuvor definierten Raums beurteilt werden. Der Zusammenhang zwischen Effizienzsteigerungen in der Produktion und ihren Auswirkungen auf die natürlichen Ressourcen ist nachvollziehbar. Je höher der berechnete Wert der nachhaltigen Ressourcenleistung für das betrachtete Produktionssystem desto höher ist die Ressourcenschonung. Wird viel und intensiv produziert sinkt der Wert der Ressourcenleistung ebenso wie bei einer starken Extensivierung der Produktion, die nur geringe Deckungsbeiträge pro Hektar erwirtschaftet.

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt auf verschiedenen Ebenen. In einem ersten Schritt werden die Ergebnisse des Nutzens und der Umweltindikatoren für alle drei Szenarien mit dem Flächenbezug pro Hektar in einem Spinnendiagramm dargestellt. In einem zweiten Schritt wird die nachhaltige Ressourcenleistung für alle Umweltindikatoren berechnet und es erfolgt ebenfalls eine Darstellung der Ergebnisse in Form eines Spinnendiagramms. In einem dritten Schritt ist es möglich über die Bildung des Mittelwerts aller Umweltindikatoren und einer Multiplikation mit dem Deckungsbeitrag die nachhaltige Ressourcenleistung insgesamt zu berechnen.

Die Ergebnisse des ersten Schrittes sind transparent und zeigen klar die Auswirkungen einer extensiveren Produktionsweise auf die einzelnen Umweltindikatoren und die Produktivität im Vergleich zum intensiven Marktfruchtsystem. Wird im zweiten Schritt der Nutzen in Form des Deckungsbeitrages mit einbezogen überwiegen in der Darstellung des Spinnendiagramms klar die Vorteile der hohen Produktivität des intensiven Systems. Durch den doppelt so hohen Nutzen (Deckungsbeitrag) des intensiven Systems schneidet dieses System bei drei von fünf Umweltindikatoren besser ab, als die extensivierten Systeme (siehe Abbildung 7-2, Abbildung 7-4 und Abbildung 7-9).

Im dritten Schritt wird die nachhaltige Ressourcenleistung der drei Szenarien durch einzelne Werte dargestellt. Die Reduktion der nachhaltigen Ressourcenleistung auf nur einen Wert pro Produktionssystem entspringt dem Wunsch nach einem richtungssicheren Indikator der zum schnellen Vergleich von Produktionssystemen verwendet werden kann. Die Berechnung beruht allerdings auf der Bildung der Mittelwerte über alle Umweltindikatoren und ist daher umstritten. Wie die Ergebnisse aus Kapitel 7 aufzeigen führt dies vor allem zu einem Informationsverlust in Bezug auf die Aussagen zu den einzelnen Umweltindikatoren.

## 9 Schlussfolgerungen

Die nationale Ressourcenstrategie (ProgRess II) hat u.a. zum Ziel die Biomassenutzung auf nachhaltige Weise zu steigern. Dazu ist neben der Optimierung der Nutzungsseite (Effizienz, Kaskaden, Suffizienz) vor allem die Bereitstellung der Biomasse nachhaltig zu gestalten. Dabei übersteigt die Intensität heutiger Nutzung oftmals das Maß einer nachhaltigen bzw. naturverträglichen Wirtschaftsweise, da es belegt ist, dass die Landwirtschaft gravierende Beiträge zu einzelnen Umweltproblemen leistet. Die Intensität der Bewirtschaftung ist daher ressourceneffizient und -effektiv zu gestalten, im Sinne eines Optimums, da die Landnutzung nicht nur die Produktion von Biomasse verfolgt, sondern weitere, multifunktionale Aufgaben hat, insbesondere Habitat- und Speicher- und Filterfunktionen der Ökosysteme übernimmt. Dem widerspricht das bisherige Ergebnis der Bewertung, denn intensive Wirtschaftssysteme liefern in der Bewertung meist die größte Ressourceneffizienz.

Im Rahmen dieses Projektes wurde ein nachvollziehbarer, transparenter und umfassender Ansatz entwickelt, welcher zur mehrdimensionalen Bewertung der Ressourceneffizienz bei der Biomassebereitstellung genutzt werden kann. In Zusammenhang mit den verwendeten land- und forstwirtschaftlichen Modellen ist damit ein Baukasten verfügbar, der die Anwendung des Ansatzes in der Praxis generell ermöglicht.

Gleichwohl legen die Ergebnisse (v.a. die Besserstellung des intensiveren Marktfruchtsystems bei Einbezug des produzierten Nutzens) nahe, dass der Bewertungsansatz noch nicht vollständig den Nutzen von extensiven Produktionssystemen in Bezug auf die Ökosystemleistungen abbildet. Die allgemeinen Grenzen und möglichen Erweiterungen des Ansatzes wurden diskutiert.

## 10 Literaturverzeichnis

- Achat, D. L.; Deleuze, C.; Landmann, G.; Pousse, N.; Ranger, J.; Augusto, L. (2015a): Quantifying consequences of removing harvesting residues on forest soils and tree growth – A meta-analysis. In: *Forest Ecology and Management* 348, S. 124–141. DOI: 10.1016/j.foreco.2015.03.042.
- Achat, David L.; Fortin, Mathieu; Landmann, Guy; Ringeval, Bruno; Augusto, Laurent (2015b): Forest soil carbon is threatened by intensive biomass harvesting. In: *Scientific reports* 5, S. 15991. DOI: 10.1038/srep15991.
- Albert, Christian; Bonn, Aletta; Burkhard, Benjamin; Daube, Sabrina; Dietrich, Katharina; Engels, Barbara et al. (2016): Towards a national set of ecosystem service indicators: Insights from Germany. In: *Ecological Indicators* 61, S. 38–48. DOI: 10.1016/j.ecolind.2015.08.050.
- BMEL (2012): Ergebnisdatenbank der Bundeswaldinventur. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Online verfügbar unter <https://bwi.info/>, zuletzt geprüft am 31.08.2017.
- BMEL (2013): Nationale Politikstrategie Bioökonomie. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.bmbf.de/files/BioOekonomiestrategie.pdf>.
- BMELV (2012): Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz.
- BMU (2007): Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Berlin. Online verfügbar unter [https://www.bundesregierung.de/Webs/Breg/DE/Themen/Nachhaltigkeitsstrategie/1-die-nationale-nachhaltigkeitsstrategie/nachhaltigkeitsstrategie/\\_node.html](https://www.bundesregierung.de/Webs/Breg/DE/Themen/Nachhaltigkeitsstrategie/1-die-nationale-nachhaltigkeitsstrategie/nachhaltigkeitsstrategie/_node.html).
- BMU (2015): Indikatorenbericht 2014 zur Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt. Hg. v. BMU. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Berlin.
- BMUB (2012): Deutsches Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess) – Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Online verfügbar unter [http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Pools/Broschueren/progress\\_broschuere\\_de\\_bf.pdf](http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Pools/Broschueren/progress_broschuere_de_bf.pdf).
- BMUB (2014): Aktionsprogramm Klimaschutz 2020. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Berlin. Online verfügbar unter <http://www.bmub.bund.de/service/publikationen/downloads/details/artikel/aktionsprogramm-klimaschutz-2020/>.
- BMUB (2016a): Deutsches Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess II) – Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Online verfügbar unter [http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Pools/Broschueren/progress\\_ii\\_broschuere\\_bf.pdf](http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Pools/Broschueren/progress_ii_broschuere_bf.pdf).
- BMUB (2016b): Klimaschutzplan 2050. Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziel der Bundesregierung. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit.
- Bockstaller, C.; Gaillard, G.; Baumgartner, D.; Freiermuth Knuchel, R.; Reinsch, M.; Brauner, R.; Unterseher, E. (2006): Betriebliches Umweltmanagement in der Landwirtschaft: Vergleich der Methoden INDIGO, KUL/USL, REPRO und SCALA. ITADA Arbeitsprogramm III, Abschlussbericht zum Projekt 04 – „COMETE“ 2002 – 2005. ITADA, Colmar.
- Breitschuh, G.; H. Eckert; I. Matthes; J. Strümpfel; T. Breitschuh (2008): Kriteriensystem nachhaltige Landwirtschaft (KSNL). Darmstadt (KTBL-Schrift 466).
- Christen, O.; O'Halloran-Wietzholtz, Z. (2002): Indikatoren für eine nachhaltige Entwicklung der Landwirtschaft. Inst. f. Landwirtschaft u. Umwelt. Bonn (Heft 3).
- Costanza, R. (op. 2008): Ecological Economics 2. In: Sven Erick Jørgensen und Brian D. Fath (Hg.): *Encyclopedia of ecology*. [S.l.]: Elsevier, S. 1006–1011.

- Die Bundesregierung (2016): Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie - Neuauflage 2016. Online verfügbar unter [https://www.bundesregierung.de/Content/Infomaterial/BPA/Bestellservice/Deutsche\\_Nachhaltigkeitsstrategie\\_Neuauflage\\_2016.html?view=trackDownload](https://www.bundesregierung.de/Content/Infomaterial/BPA/Bestellservice/Deutsche_Nachhaltigkeitsstrategie_Neuauflage_2016.html?view=trackDownload).
- DLG (2016): Landwirtschaft in Deutschland. DLG-Nachhaltigkeitsbericht 2016. Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft. Frankfurt am Main.
- EC (2011): Roadmap to a Resource Efficient Europe - Analysis associated with the Roadmap to a Resource Efficient Europe. European Commission. Online verfügbar unter <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52011DC0571>.
- Fromm, Oliver; Brüggemann, Rainer (1999): Teil II. Verfahren zur Monetarisierung von Ökosystemleistungen. In: UWSF - Z Umweltchem Ökotox 11 (3), S. 177–179. DOI: 10.1007/BF03037710.
- Gleixner, Gerd; Tefs, Cindy; Jordan, Albrecht; Hammer, Matthias; Wirth, Christian; Nueske, Angela et al. (2009): Soil Carbon Accumulation in Old-Growth Forests. In: Christian Wirth, Gerd Gleixner und Martin Heimann (Hg.): Old-Growth Forests: Function, Fate and Value. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 231–266.
- Global Footprint Network (2016): Public Data Package. Online verfügbar unter [http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/public\\_data\\_package](http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/public_data_package), zuletzt geprüft am 30.05.2016.
- Grabowski, K.; Kubin, K.; Ernst, C.; Diehl, S.; Melsheimer, J. (2014): Entwicklung einer Methodik zur Aufstellung von Entwicklung einer Methodik zur Aufstellung von Energiekennzahlen zur Steigerung der Energieeffizienz in Unternehmen. ÖKOTEC Energiemanagement GmbH. Online verfügbar unter [http://www.oekotec.de/wp-content/uploads/downloads/2016/06/Kennzahlen\\_Methodik\\_2015.pdf](http://www.oekotec.de/wp-content/uploads/downloads/2016/06/Kennzahlen_Methodik_2015.pdf).
- Grießhammer, Rainer (2015): Tonnenschwere Fehlschlüsse. Eine Rezension von Rainer Grießhammer. Klimaretter.Info Das Magazin zur Klima- und Energiewende. Online verfügbar unter <http://www.klimaretter.info/forschung/hintergrund/18178-tonnenschwere-fehlschluesse>, zuletzt aktualisiert am 2015, zuletzt geprüft am 17.02.2016.
- Grießhammer, Rainer; Hochfeld, Christian (2009): Memorandum Product Carbon Footprint. Positionen zur Erfassung und Kommunikation des Product Carbon Footprint für die internationale Standardisierung und Harmonisierung. Langfassung. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU).
- HAFL (2017): Kurzbeschreibung RISE (Response-Inducing Sustainability Evaluation). Hochschule für Agrar-, Forst und Lebensmittelwissenschaften. Bern.
- Hansjürgens, Bernd; Lienhoop, Nele (2015): Was uns die Natur wert ist. Potenziale ökonomischer Bewertung. Marburg: Metropolis-Verlag (Ökologie und Wirtschaftsforschung, Band 96).
- Hennenberg, Klaus; Winter, Susanne; Reise, Judith; Winger, Christian (2016): Analyse und Diskussion naturschutzfachlich bedeutsamer Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur. BfN-Skript 427. Bundesamt für Naturschutz.
- IP Suisse (2015): Leitfaden für die Anwendung des Punktesystems. Biodiversität IP-SUISSE.
- IPCC (2006): 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). IGES, Japan. Online verfügbar unter <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>, zuletzt geprüft am 14.07.2015.
- Jandl, R.; Lindner, M.; Vesterdal, L.; Bauwens, B.; Baritz, R.; Hagedorn, F. et al. (2007): How strongly can forest management influence soil carbon sequestration? In: Geoderma 137 (3-4), S. 253–268. Online verfügbar unter <http://www.scopus.com/scopus/inward/record.url?eid=2-s2.0-33845884289&partnerID=40&rel=R5.6.0>.
- Jolliet, Olivier; Müller-Wenk, Ruedi; Bare, Jane; Brent, Alan; Goedkoop, Mark; Heijungs, Reinout et al. (2004): The LCIA midpoint-damage framework of the UNEP/SETAC life cycle initiative. In: Int J LCA 9 (6), S. 394–404. DOI: 10.1007/BF02979083.
- Knohl, A.; Schulze, E. D.; Kolle, O.; Buchmann, N. (2003): Large carbon uptake by an unmanaged 250-year-old deciduous forest in Central Germany. In: Agricultural and Forest Meteorology 118 (3-4), S. 151–167.



- Köhl, Michael; Neupane, Prem R.; Lotfiomran, Neda (2017): The impact of tree age on biomass growth and carbon accumulation capacity: A retrospective analysis using tree ring data of three tropical tree species grown in natural forests of Suriname. In: PLoS ONE 12 (8), e0181187. DOI: 10.1371/journal.pone.0181187.
- Krauß, M.; Kraatz, S.; Drastig, K.; Prochnow, A. (2015): The influence of dairy management strategies on water productivity in dairy farming. In: Agricultural Water Management (147).
- KTBL (2009): Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Betriebe. Online verfügbar unter [https://www.ktbl.de/fileadmin/user\\_upload/artikel/Management/Bewertungssysteme/Nachhaltigkeit-landwirtschaftlicher-Betriebe.pdf](https://www.ktbl.de/fileadmin/user_upload/artikel/Management/Bewertungssysteme/Nachhaltigkeit-landwirtschaftlicher-Betriebe.pdf).
- Lassauce, Aurore; Paillet, Yoan; Jactel, Hervé; Bouget, Christophe (2011): Deadwood as a surrogate for forest biodiversity: Meta-analysis of correlations between deadwood volume and species richness of saproxylic organisms. In: Ecological Indicators 11 (5), S. 1027–1039. DOI: 10.1016/j.ecolind.2011.02.004.
- Lexikon der Nachhaltigkeit (2015): Ökologischer Rucksack (MIPS-Konzept). Online verfügbar unter [https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/schmidt\\_bleek\\_mips\\_konzept\\_971.htm](https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/schmidt_bleek_mips_konzept_971.htm), zuletzt geprüft am 30.05.2016.
- Liski, Jari; Palosuo, Taru (2003): The simple dynamic soil carbon model Yasso (August), S. 1–40.
- Liski, Jari; Palosuo, Taru; Peltoniemi, Mikko; Sievänen, Risto; Sievanen, R. (2005): Carbon and decomposition model Yasso for forest soils. In: Ecological Modelling 189 (1-2), S. 168–182. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2005.03.005.
- Luyssaert, Sebastiaan; Schulze, E-Detlef Detlef; Börner, Annett; Knohl, Alexander; Hessenmöller, Dominik; Law, Beverly E. et al. (2008): Old-growth forests as global carbon sinks. In: Nature 455 (7210), S. 213–215. DOI: 10.1038/nature07276.
- Meadows, DH.; Meadows, DL.; Randers, J.; Behrens, W. W. (1972): The limits to growth. A report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind. New York: Universe Books.
- Meyerhoff, Jürgen; Angeli, Daija; Hartje, Volkmar (2012): Valuing the benefits of implementing a national strategy on biological diversity—The case of Germany. In: Environmental Science & Policy 23, S. 109–119. DOI: 10.1016/j.envsci.2012.07.020.
- Mund, Martina; Frischbier, Nico; Profft, Ingolf; Raacke, Jan; Richter, Fritz; Ammer, Christian (2014): Klimaschutzwirkung des Wald- und Holzsektors: Schutz- und Nutzungsszenarien für drei Modellregionen in Thüringen (BfN-Skripten 396), zuletzt geprüft am 20.01.2016.
- Naturkapital Deutschland – TEEB DE (2010): Der Wert der Natur für Wirtschaft und Gesellschaft – Eine Einführung. Online verfügbar unter [https://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/themen/oekonomie/teeb\\_de\\_einfuehrung\\_1seitig.pdf](https://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/themen/oekonomie/teeb_de_einfuehrung_1seitig.pdf).
- Neumann, Helge; Dierking, Uwe (2014): Biodiversitätswert landwirtschaftlicher Betriebe. In: Natur und Landschaft 46 (5), S. 145–152.
- O'Brien, M.; Wechsler, D.; Bringezu, S.; Arnold, K. (2015): Sachstandsbericht über vorhandene Grundlagen und Beiträge für ein Monitoring der Bioökonomie: Systemische Betrachtung und Modellierung der Bioökonomie. Wuppertal Institut. Wuppertal.
- OECD (2008): Handbook on constructing composite indicators: Methodology and User guide. Hg. v. OECD Publishing. European Commission JRC, Institute for Environment and Sustainability. Paris.
- OECD (2016): Policy Guidance on Resource Efficiency. DOI: 10.1787/9789264257344-en.
- Osterburg, Bernhard; Rüter, Sebastian; Freibauer, Annette; Witte, Thomas De; Elsasser, Peter; Kätsch, Stephanie et al. (2013): Thünen Report 11 - Handlungsoptionen für den Klimaschutz in der deutschen Agrar- und Forstwirtschaft. Online verfügbar unter [http://www.ti.bund.de/no\\_cache/de/startseite/thuenen-publikationen/thuenen-report/thuenen-report-detailseite/Bestellartikel/handlungsoptionen-fuer-den-klimaschutz-in-der-deutschen-agrar-und-forstwirtschaft.html](http://www.ti.bund.de/no_cache/de/startseite/thuenen-publikationen/thuenen-report/thuenen-report-detailseite/Bestellartikel/handlungsoptionen-fuer-den-klimaschutz-in-der-deutschen-agrar-und-forstwirtschaft.html).
- Pan, Yude; Birdsey, Richard a.; Fang, Jingyun; Houghton, Richard; Kauppi, Pekka E.; Kurz, Werner a. et al. (2011): A large and persistent carbon sink in the world's forests. In: Science (New York, N.Y.) 333 (6045), S. 988–993. DOI: 10.1126/science.1201609.
- Roesch, A.; Gaillard, G.; Isenring, J.; Jurt, C.; Keil, N.; Nemecek, T. et al. (2016): Umfassende Beurteilung der Nachhaltigkeit von Landwirtschaftsbetrieben. In: Agroscope Science (33).

Schulze, Ernst-Detlef; Hessenmoeller, Dominik; Knohl, Alexander; Luyssaert, Sebastiaan; Boerner, Annett; Grace, John (2009): Temperate and Boreal Old-Growth Forests: How do Their Growth Dynamics and Biodiversity Differ from Young Stands and Managed Forests? In: Christian Wirth, Gerd Gleixner und Martin Heimann (Hg.): Old-Growth Forests: Function, Fate and Value. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 343–366. Online verfügbar unter [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-92706-8\\_15](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-92706-8_15).

Spiekers, Hubert; Potthast, Volker (2004): Erfolgreiche Milchviehfütterung. 4. völlig neu überarb. Aufl. Frankfurt am Main: DLG Verlag.

Stephenson, N. L.; Das, A. J.; Condit, R.; Russo, S. E.; Baker, P. J.; Beckman, N. G. et al. (2014): Rate of tree carbon accumulation increases continuously with tree size. In: Nature 507 (7490), S. 90–93. DOI: 10.1038/nature12914.

Stern, N. (2006): Stern Review: the Economics of Climate Change. HM Treasury, Cambridge University Press, UK.

Thrän, D.; Arendt, O.; Ponitka, J.; Braun, J.; Millinger, M.; Wolf, V. et al. (2015): Meilensteine 2030 – Elemente und Meilensteine für die Entwicklung einer tragfähigen und nachhaltigen Bioenergiestrategie. Endbericht zu FKZ 03KB065 und FKZ 03MAP230. Deutsches Biomasseforschungszentrum (DBFZ). Leipzig.

UBA (2012a): Globale Landflächen und Biomasse nachhaltig und ressourcenschonend nutzen. UBA-Positionspapier. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/globale\\_landflaechen\\_und\\_biomasse\\_kurz\\_deutsch\\_bf.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/globale_landflaechen_und_biomasse_kurz_deutsch_bf.pdf).

UBA (2012b): Glossar zum Ressourcenschutz. Umweltbundesamt. Dessau. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/4242.pdf>.

UNDESA (2017): World Population Prospects 2017. United Nations Department of Economic and Social Affairs. Online verfügbar unter <https://esa.un.org/unpd/wpp/>.

UNEP (2017): Resource Efficiency: Potential and Economic Implications. A report of the International Resource Panel. Hg. v. P. Ekins, N. Hughes und et al., zuletzt geprüft am 06.09.2017.

WBCSD (2000): Eco-efficiency. Creating more values with less impact. World Business Council For Sustainable Development. Geneva. Online verfügbar unter [http://oldwww.wbcsd.org/web/publications/eco\\_efficiency\\_creating\\_more\\_value.pdf](http://oldwww.wbcsd.org/web/publications/eco_efficiency_creating_more_value.pdf), zuletzt geprüft am 31.05.2016.

Werland, Stefan; Klaus, Jacob (2016): Ressourcenpolitische Handlungsansätze: Analyse zentraler Begriffe der Ressourcenpolitik. Forschungszentrum für Umweltpolitik. Online verfügbar unter [http://edocs.fu-berlin.de/docs/servlets/MCRFileNodeServlet/FUDOCSS\\_derivate\\_000000008103/WerlandxJacobx2016xRExHandlungsansxtze\\_AnalysexzentralerxBegriffe\\_Debattenanalyse.pdf?hosts=](http://edocs.fu-berlin.de/docs/servlets/MCRFileNodeServlet/FUDOCSS_derivate_000000008103/WerlandxJacobx2016xRExHandlungsansxtze_AnalysexzentralerxBegriffe_Debattenanalyse.pdf?hosts=).

Wolf, Christian; Dressler, Daniela; Engelmann, Karsten; Klein, Daniel; Böswirth, Tobias; Bryzinski, Taras et al. (2016): ExpResBio – Methoden. Methoden zur Analyse und Bewertung ausgewählter ökologischer und ökonomischer Wirkungen von Produktsystemen aus land- und forstwirtschaftlichen Rohstoffen. Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe. Straubing (Berichte aus dem TFZ). Online verfügbar unter [http://www.tfz.bayern.de/mam/cms08/biokraftstoffe/dateien/tfz\\_bericht\\_45\\_expressbio.pdf](http://www.tfz.bayern.de/mam/cms08/biokraftstoffe/dateien/tfz_bericht_45_expressbio.pdf).

Wuppertal Institut (2014): Material intensity of materials, fuels, transport services, food.

## Anhang I – Glossar

|                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Funktionelle Einheit                   | Quantifiziert den Nutzen eines untersuchten Produkts und normiert alle Inputs und Outputs innerhalb der Systemgrenzen auf eine gemeinsame Einheit.                                                                                                                                      |
| Indikator                              | Bezeichnet eine Messgröße, die bestimmte Sachverhalte anzeigt, die nicht unmittelbar messbar sind.                                                                                                                                                                                      |
| Kriterium                              | Kennzeichnendes Merkmal relevant für eine Auswahl oder Entscheidung; Zustand eines Kriteriums oder einer Kenngröße.                                                                                                                                                                     |
| Landnutzung                            | Gesamtheit der menschlichen Aktivitäten und Investitionen, die in einem bestimmten Landbedeckungstyp vorgenommen werden (auch Zweck, für den Land bewirtschaftet wird (z.B. Weidewirtschaft, Holznutzung, Naturschutz)                                                                  |
| Mehrdimensionalität                    | Betrachtung verschiedener Umweltdimensionen, z.B. Wasser, Klima, Boden etc. in einem Ansatz.                                                                                                                                                                                            |
| Nachhaltige Ressourcenleistung         | Ein relatives Maß für die Ressourceneffektivität von Produktionssystemen ermittelt aus dem Produkt von skaliertem Nutzen und skalierte Inanspruchnahme von Ökosystemleistungen                                                                                                          |
| Natürliche Ressource                   | Ressource, die Bestandteil der Natur ist. Hierzu zählen erneuerbare und nicht erneuerbare Primärrohstoffe, physischer Raum (Fläche), Umweltmedien (Wasser, Boden, Luft), strömende Ressourcen (z.B. Erdwärme, Wind-, Gezeiten- und Sonnenenergie) sowie Ökosystemleistungen.            |
| Ökobilanz (Life cycle assessment, LCA) | Zusammenstellung und Beurteilung der Input- und Outputflüsse und der potenziellen Umweltwirkungen eines Produkts, bzw. eines Produktionssystems im Verlauf seines Lebensweges.                                                                                                          |
| Ökosystemleistung                      | Direkte und indirekte Beiträge von Ökosystemen zum menschlichen Wohlergehen, das heißt Leistungen und Güter, die dem Menschen einen direkten oder indirekten wirtschaftlichen, materiellen, gesundheitlichen oder psychischen Nutzen bringen.                                           |
| Ökosystemleistung:                     | Direkte und indirekte Beiträge von Ökosystemen zum menschlichen Wohlergehen, das heißt Leistungen und Güter, die dem Menschen einen direkten oder indirekten wirtschaftlichen, materiellen, gesundheitlichen oder psychischen Nutzen bringen (Naturkapital Deutschland – TEEB DE 2012). |
| Parameter                              | Kenngröße oder Hilfsvariable mit einer bestimmten Eigenschaft zur Beschreibung eines Systems.                                                                                                                                                                                           |
| Produktionssystem                      | Satz von in Wechselbeziehung oder Wechselwirkung stehenden Tätigkeiten, der Eingaben (Input) in Ergebnisse (Output) umwandelt.                                                                                                                                                          |
| Produktsystem                          | Gesamtheit der mit einem Produkt über seinen gesamten Lebensweg in Verbindung stehenden Prozesse sowie der zugehörigen stofflichen und energetischen Flüsse.                                                                                                                            |
| Referenzszenario                       | Die Beschreibung eines Bezugssystems, das erforderlich ist, um das Verhalten bestimmter Indikatoren eindeutig und vollständig zu beschreiben. Für die Feststellung von Änderungen von Indikatoren im zeitlichen Verlauf ist ein Referenzwert oder Referenzszenario notwendig.           |
| Ressource                              | Mittel, das in einem Prozess genutzt wird oder genutzt werden kann. Eine Ressource kann materieller oder immaterieller Art sein. Wird im umweltwissenschaftlichen Kontext der Begriff „Ressource“ verwendet, ist damit eine „natürliche Res-                                            |

source“ gemeint. Anders als hier wird der Ressourcenbegriff oft auch sehr eng gefasst im Sinne von Rohstoffen verwendet.

- |                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ressource, natürliche  | Ressource, die Bestandteil der Natur ist. Hierzu zählen erneuerbare und nicht erneuerbare Primärrohstoffe, physischer Raum (Fläche), Umweltmedien (Wasser, Boden, Luft), strömende Ressourcen (z.B. Erdwärme, Wind-, Gezeiten- und Sonnenenergie) sowie Ökosystemleistungen. Es ist hierbei unwesentlich, ob die Ressourcen als Quellen für die Herstellung von Produkten oder als Senken zur Aufnahme von Emissionen (Wasser, Boden, Luft) dienen. |
| Ressourceneffektivität | Effektivität ist das Maß, in welchem Umfang ein Ziel erreicht wird. In diesem Vorhaben wird Ressourceneffektivität als Maß verstanden, in welchem Umfang ein Ziel zum Einsatz von Ressourcen erreicht wird.                                                                                                                                                                                                                                         |
| Ressourceneffizienz    | Verhältnis von eingesetzten Ressourcen zu einem bestimmten Nutzen oder Ergebnis Im umweltwissenschaftlichen Sprachgebrauch ist mit Ressourceneinsatz der Einsatz von natürlichen Ressourcen gemeint.                                                                                                                                                                                                                                                |

## Anhang II - Liste bestehender Bewertungsansätze

Tabelle A-8: Auswahl bestehender Bewertungsansätze

| Name                                                                   | Typ              | Methode                          | Bezugsgröße           | Umweltgüter  |
|------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------------------------|-----------------------|--------------|
| <b>Abiotic Depletion Potential (ADP)</b>                               | Indikator        | Ökologische Effizienz-bewertung  | Produkt               | Rohstoffe    |
| <b>Anthropogenic Stock Extended Abiotic Depletion Potential (AADP)</b> | Indikator        | Ökologische Effizienz-bewertung  | Produkt               | Rohstoffe    |
| <b>Cumulative Overall Resource Efficiency Assessment (COREA)</b>       | Indikator        | Ökologische Effizienz-bewertung  | Produkt               |              |
| <b>Direct Material Input (DMI)</b>                                     | Indikator        | Ökonomische Effizienz-bewertung  | National              | Rohstoffe    |
| <b>Domestic Extraction used (DEU)</b>                                  | Indikator        | Stoffstromanalyse                |                       | Rohstoffe    |
| <b>Domestic Material Consumption (DMC)</b>                             | Indikator        | Ökonomische Effizienz-bewertung  | National              | Rohstoffe    |
| <b>Domestic Processed Output (DPO)</b>                                 | Indikator        | Ökologische Effizienz-bewertung  | National              | Rohstoffe    |
| <b>Economic Resource Scarcity Potential (ESP)</b>                      | Indikator        | Ökonomische Effizienz-bewertung  | Produkt               | Rohstoffe    |
| <b>Energy return on Energy Input/Invested (EROEI / EROI)</b>           | Indikator        | Ökonomische Effizienz-bewertung  | Produkt               | Rohstoffe    |
| <b>Flächen-Input pro Serviceeinheit (FIPS)</b>                         | Bewertungsansatz | Ökologische Effizienz-bewertung  | Produkt               | Rohstoffe    |
| <b>Human Appropriation of Net Primary Productivity (HANPP)</b>         | Bewertungsansatz | Ökologische Effizienz-bewertung  | Andere                | Verschiedene |
| <b>Kumulierter Energieaufwand (KEA)</b>                                | Indikator        | Energetische Effizienz-bewertung | Produkt               | Rohstoffe    |
| <b>Kumulierter Energieverbrauch (KEV)</b>                              | Indikator        | Energetische Effizienz-bewertung | Produkt               | Rohstoffe    |
| <b>Kumulierter Rohstoffaufwand (KRA)</b>                               | Indikator        | Stoffstromanalyse                | Produkt               | Rohstoffe    |
| <b>Kriteriensystem nachhaltige Landwirtschaft (KSNL)</b>               | Bewertungsansatz | Integrierte Effizienzbe-wertung  | Unternehmen (Betrieb) | Verschiedene |
| <b>Materialeffizienz</b>                                               | Indikator        | Stoffstromanalyse                | Andere                | Rohstoffe    |
| <b>Material-Input pro Serviceeinheit (MIPS)</b>                        | Bewertungsansatz | Ökologische Effizienz-bewertung  | Produkt               | Rohstoffe    |
| <b>Materialintensität</b>                                              | Indikator        | Stoffstromanalyse                | Andere                | Rohstoffe    |
| <b>Net additions to stock (NAS)</b>                                    | Indikator        | Stoffstromanalyse                | National              | Rohstoffe    |

|                                                                 |                  |                                |                       |              |
|-----------------------------------------------------------------|------------------|--------------------------------|-----------------------|--------------|
| <b>Ökoeffizienz</b>                                             | Bewertungsansatz | Ökologische Effizienzbewertung | Produkt               | Verschiedene |
| <b>Ökologischer Fußabdruck</b>                                  | Bewertungsansatz | Ökologische Effizienzbewertung | Andere                | Fläche       |
| <b>Ökologischer Rucksack</b>                                    | Bewertungsansatz | Ökologische Effizienzbewertung | Produkt               | Verschiedene |
| <b>Ökobelastungspunkte</b>                                      | Bewertungsansatz | Ökologische Effizienzbewertung | Produkt               | Verschiedene |
| <b>Physical Trade Balance including indirect flows (PTBIF)</b>  | Indikator        | Stoffstromanalyse              | National              |              |
| <b>Product Carbon Footprint</b>                                 | Bewertungsansatz | Ökologische Effizienzbewertung | Produkt               | Atmosphäre   |
| <b>Raw Material Consumption (RMC)</b>                           | Indikator        | Stoffstromanalyse              | National              | Rohstoffe    |
| <b>Raw Material Input (RMI)</b>                                 | Indikator        | Stoffstromanalyse              | National              | Rohstoffe    |
| <b>Response-Inducing Sustainability Evaluation (RISE)</b>       | Bewertungsansatz | Integrierte Effizienzbewertung | Unternehmen (Betrieb) | Verschiedene |
| <b>Rohstoffäquivalent, Raw Material Equivalents (RME)</b>       | Indikator        | Stoffstromanalyse              | Produkt               | Rohstoffe    |
| <b>Sustainability Monitoring and Assessment RouTine (SMART)</b> | Bewertungsansatz | Ökologische Effizienzbewertung | Unternehmen (Betrieb) | Verschiedene |
| <b>Total Domestic Output (TDO)</b>                              | Indikator        | Stoffstromanalyse              | National              | Rohstoffe    |
| <b>Total Material Consumption (TMC)</b>                         | Indikator        | Stoffstromanalyse              | National              | Rohstoffe    |
| <b>Total Material Requirement (TMR)</b>                         | Indikator        | Stoffstromanalyse              | National              | Rohstoffe    |
| <b>Verwertungsquote</b>                                         | Indikator        | Stoffstromanalyse              | National              | Rohstoffe    |
| <b>Virtuelles Wasser</b>                                        | Bewertungsansatz | Ökologische Effizienzbewertung | Produkt               | Wasser       |
| <b>Water Footprint</b>                                          | Bewertungsansatz | Ökologische Effizienzbewertung | Produkt               | Wasser       |

Quelle: Eigene Darstellung